

## ASSE VIARIO MARCHE-UMBRIA E QUADRILATERO DI PENETRAZIONE INTERNA MAXI LOTTO 2

LAVORI DI COMPLETAMENTO DELLA DIRETTRICE PERUGIA ANCONA:  
SS. 318 DI "VALFABBRICA", TRATTO PIANELLO -VALFABBRICA  
SS. 76 "VAL D'ESINO", TRATTI FOSSATO VICO - CANCELLI E ALBACINA - SERRA SAN QUIRICO  
"PEDEMONTANA DELLE MARCHE", TRATTO FABRIANO-MUCCIA-SFERCIA.

### PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

CONTRAENTE GENERALE:	Il Responsabile del Contraente Generale:
 <p><b>DIRPA 2</b> s.c.a.r.l.</p>	

PROGETTAZIONE:	ASSISTENZA ALLA PROGETTAZIONE:
<p><b>Partecipazioni Italia S.p.A.</b></p> <p>IL PROGETTISTA: Dott. Ing. Salvatore Lieto Ordine degli Ingegneri Prov. di Mantova n.1147</p>	 <p><b>TECNOSTRUTTURE S.r.l.</b> SEDE LEGALE: Piazza Regina Margherita n.27 - 00198 ROMA SEDE OPERATIVA: Via delle Querciole n. 13 - 00037 Segni (RM)</p> <p>IL PROGETTISTA: Dott. Ing. Antonio Tosiani</p>

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:	IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI ESECUZIONE:	IL DIRETTORE DEI LAVORI:
Ing. Iginio Farotti	Ing. Vincenzo Pardo	Ing. Peppino Marascio

<p><b>2.1.3 - PEDEMONTANA DELLE MARCHE</b></p> <p>3° Stralcio funzionale - Castelraimondo Nord - Castelraimondo Sud 4° Stralcio funzionale - Castelraimondo Sud - Innesto SS77 a Muccia</p> <p><b>OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA</b> Sottovia Pianello al Km 9+697,08 Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco</p>	<p>SCALA: ---</p> <p>DATA: Novembre 2021</p>
--	--

Codice Unico di Progetto (CUP) F12C03000050021 (assegnato CIPE 20.04.2015)

CODICE ELABORATO:	Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	n° progr	Rev.
	L O 7 0 3	2 1 3	E	1 6	O M 0 0 0 6	R E L	0 2	A

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
A	Novem. 2021	Emissione Progetto di Dettaglio	Tecnosttrutture	A. Tosiani	S. Lieto

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 1 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	-------------------------

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	5
1.2 UNITÀ DI MISURA .....	10
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>11</b>
<b>3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</b>	<b>12</b>
3.1 CALCESTRUZZO PER FONDAZIONE .....	12
3.2 COPRIFERRI .....	13
3.3 BIBLIOGRAFIA .....	14
<b>4. INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....</b>	<b>15</b>
4.1 MODELLO GEOTECNICO .....	16
<b>5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA .....</b>	<b>19</b>
<b>6. SOFTWARE DI CALCOLO .....</b>	<b>21</b>
6.1 IL PROGRAMMA DI CALCOLO PARATIE PLUS .....	21
6.2 IL PROGRAMMA DI CALCOLO MICROSTABL .....	22
<b>7. CRITERI E IPOTESI DI CALCOLO .....</b>	<b>25</b>
7.1 STATI LIMITE DI PROGETTO E COEFFICIENTI PARZIALI .....	25
7.2 AZIONE SISMICA DI PROGETTO .....	26
<b>8. MODELLO DI CALCOLO DELLA PARATIA .....</b>	<b>29</b>
8.1 SEZIONE DI CALCOLO .....	29
8.2 PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO .....	29
8.3 LIVELLO DELLA FALDA .....	30
8.4 STEP DI CALCOLO .....	30
<b>9. VERIFICHE STRUTTURALI – CRITERI GENERALI .....</b>	<b>32</b>
9.1 VERIFICA SLE .....	32
9.1.1 Verifiche delle tensioni .....	32
9.1.2 Verifiche a fessurazione .....	33
9.1.3 Verifiche allo SLU .....	34
9.1.3.1 Pressoflessione .....	34
9.1.3.2 Taglio .....	35
<b>10. CRITERI GENERALI DI ANALISI E VERIFICA .....</b>	<b>38</b>
10.1 ANALISI DEI CARICHI .....	38
10.1.1 Peso proprio .....	38
10.1.2 Permanenti .....	38
10.1.3 Spinta del terreno .....	38
10.1.4 Spinta in presenza di falda .....	38

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 2 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	-------------------------

10.1.5	Azioni variabili da traffico (Q1) .....	38
10.1.6	Azione longitudinale di frenamento (Q3) .....	38
10.1.7	Azioni Sismiche.....	39
10.2	COMBINAZIONI DI CARICO.....	39
<b>11.</b>	<b>ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO .....</b>	<b>42</b>
11.1	DICHIARAZIONI SECONDO N.T.C. 2008 (PUNTO 10.2) .....	42
<b>12.</b>	<b>RISULTATI DEI CALCOLI .....</b>	<b>45</b>
12.1	CALCOLO PARATIA CON HSCAVO =5.00 M – L = 13.00 M (DAL KM 128.54 AL KM 147.44) .....	45
12.2	CALCOLO PARATIA CON HSCAVO =7.30 M – L = 18.00 M.....	48
12.3	CALCOLO PARATIA CON HSCAVO = 7.50 M – L = 18.00 M.....	50
12.4	CALCOLO PARATIA CON HSCAVO = 6.00 M – L = 15.00 M.....	53
12.5	CALCOLO PARATIA CON HSCAVO = 5.00 M – L = 14.00 M.....	55
12.6	CALCOLO PARATIA CON HSCAVO = 3.50 M – L = 9.00 M.....	58
<b>13.</b>	<b>VERIFICHE DI RESISTENZA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI.....</b>	<b>61</b>
13.1	PALI .....	61
13.1.1	Verifica agli Stati Limite Ultimi (SLU) .....	61
13.1.1.1	Sollecitazioni sui Pali delle paratie .....	61
13.1.1.1	Verifica strutturali .....	63
<b>14.</b>	<b>VERIFICHE DI STABILITÀ.....</b>	<b>65</b>
14.1	VERIFICA DELLA PROFONDITÀ D'INFISSIONE .....	65
14.1.2	Verifiche GEO delle spinte a valle della paratia .....	66
14.2	VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE DELLA PARATIA .....	72
14.2.1	Stabilità globale - modello geotecnico.....	72
14.2.2	Stati limite di progetto .....	74
14.2.2.1	Ipotesi di calcolo .....	74
14.2.3	Risultati delle analisi .....	74
14.2.3.1	Sezione con doppia paratia .....	75
14.2.3.2	Sezione con altezza di scavo massima .....	76
<b>15.</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>77</b>

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 3 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	-------------------------

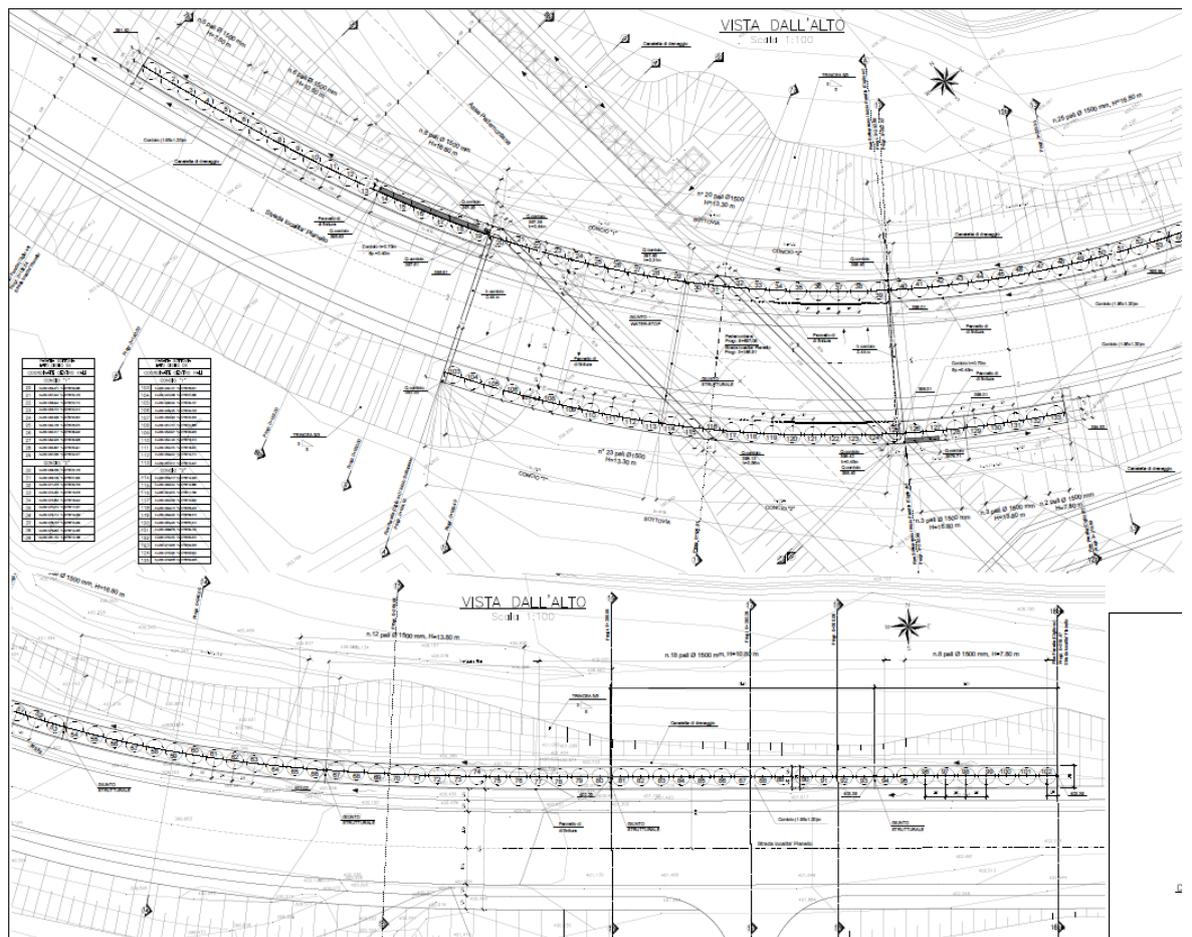
## 1. PREMESSA

Il presente documento rientra nell'ambito della redazione degli Elaborati tecnici di Progetto di Dettaglio della strada Pedemontana Marchigiana, che costituisce l'elemento di completamento tra le due direttrici "S.S.76" Valnerina e "S.S.77" Val di Chienti, relativamente agli stralci funzionali n°3 (Svincolo di Castelraimondo nord – Svincolo di Castelraimondo sud) e n°4 (Svincolo di Castelraimondo sud - innesto con la S.S. 77 a Muccia)

Oggetto della trattazione nel seguito esposta è in particolare il dimensionamento strutturale e geotecnico delle paratie di pali  $\phi$  1500 da realizzare in calcestruzzo armato, allo scopo di garantire la continuità delle sedi stradali intercettate al di sotto del tracciato di progetto.

Oltre alle due paratie di pali viene realizzato anche un sottovia per la cui verifiche si rimanda alla relazione di calcolo specifica.

Si riporta uno stralcio piano altimetrico dell'opera (Figura 1):



### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

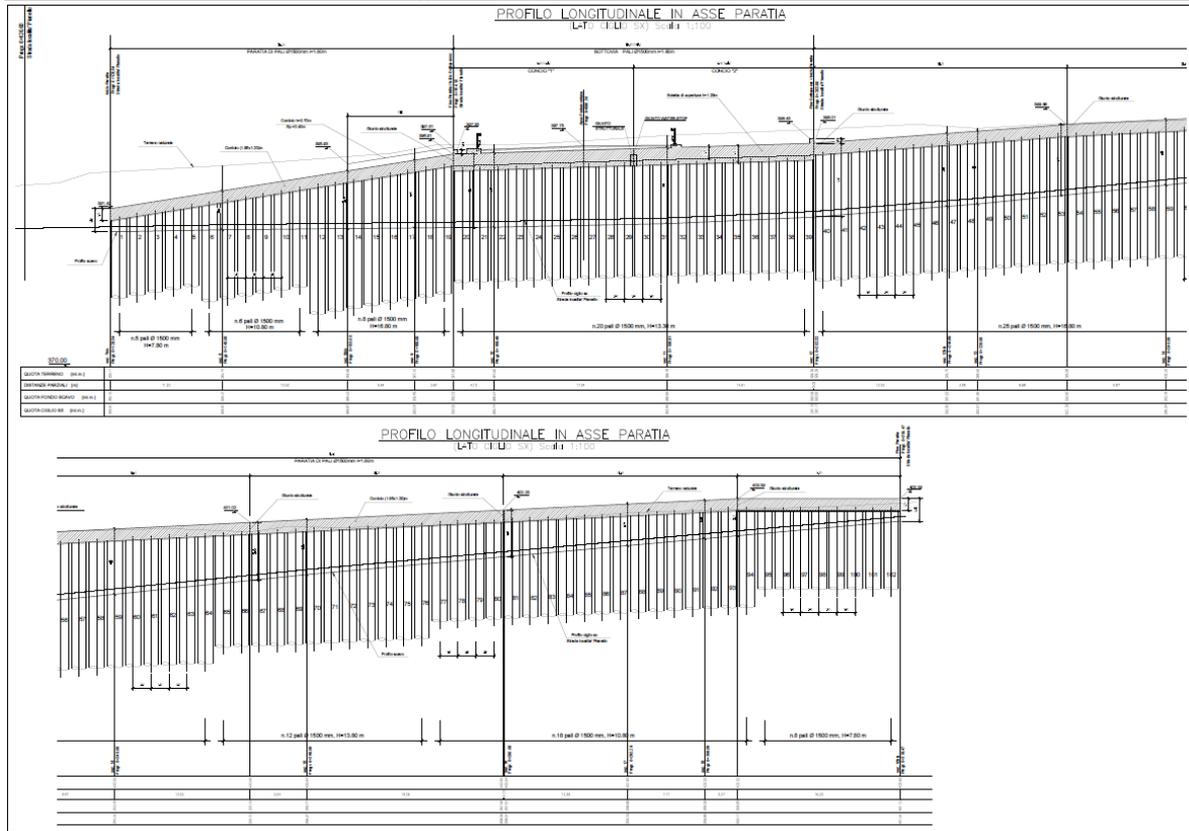
OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 4 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	-------------------------

**Figura 1a – Stralcio Planimetrico**



### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 5 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	-------------------------

PROFILO LONGITUDINALE IN ASSE PARATIA  
(LATO CIGLIO DX) Scala 1:100

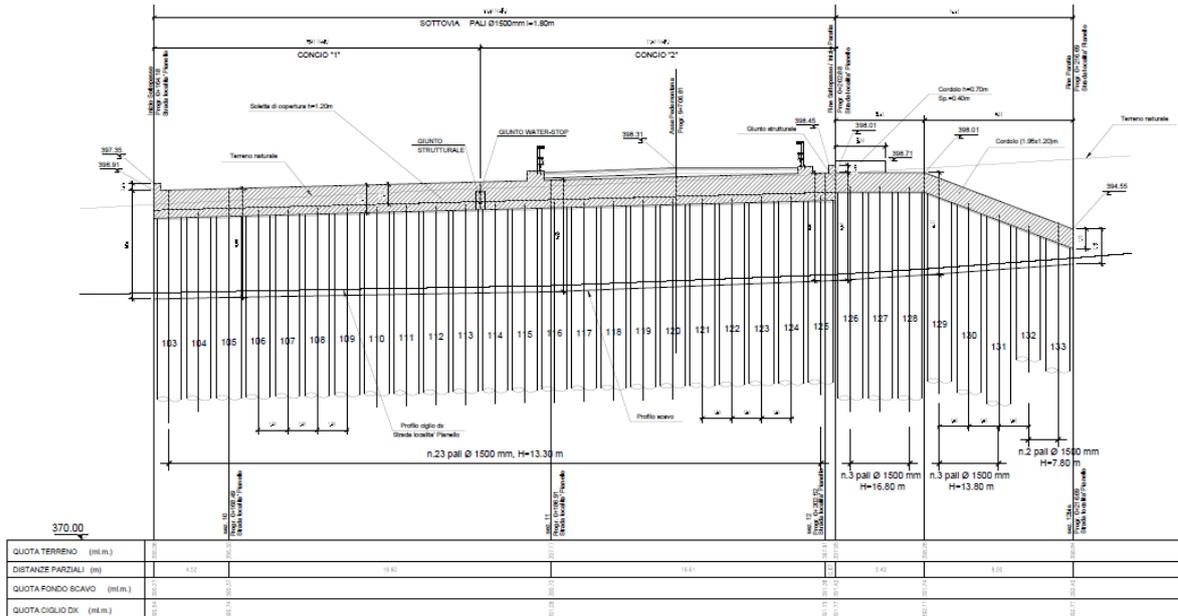


Figura 2b – Stralcio Altimetrico

## 1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Le due paratie di pali vengono realizzate con pali  $\phi$  1500 posti ad interasse di 1.80 m, i pali sono uniti in testa da un coedolo in c.a. di dimensioni pari a 1.95x120 m.

La lunghezza dei pali è stata studiata in funzione delle altezze di scavo e più precisamente sono state studiate le seguenti tipologie di paratie:

- $H_{\text{scavo}} = 7.50$  m con pali di lunghezza pari a 18.00 m;
- $H_{\text{scavo}} = 7.30$  m con pali di lunghezza pari a 18.00 m, questa tipologia si differenzia dalla precedente per la presenza a monte della pedemontana;
- $H_{\text{scavo}} = 6.00$  m con pali di lunghezza pari a 15.00 m;
- $H_{\text{scavo}} = 5.00$  m con pali di lunghezza pari a 12.00 m;
- $H_{\text{scavo}} = 5.00$  m con pali di lunghezza pari a 12.00 m, questa tipologia si differenzia dalla precedente per la presenza a monte della pedemontana;
- $H_{\text{scavo}} = 3.50$  m con pali di lunghezza pari a 9.00 m;











### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 10 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

Le fasi di realizzazione dell'opera prevedono:

Fase n.	Lavorazioni previste
Step 1	Esecuzione delle paratie di pali e prescavo per la realizzazione dei cordoli
Step 2	Realizzazione dei cordoli
Step 3	Sistemazione finale del terreno
Step 5	Pavimentazione stradale

Nel seguito, dopo una breve descrizione delle opere cui si riferiscono i calcoli sviluppati, si riportano tutti i criteri generali adottati per le analisi e verifiche.

## 1.2 UNITÀ DI MISURA

Nel seguito si adotteranno le seguenti unità di misura:

- per le lunghezze ⇒ m, cm,
- per i carichi ⇒ kN, kN/m<sup>2</sup>, kN/m<sup>3</sup>
- per le azioni di calcolo ⇒ kN, kNm
- per le tensioni ⇒ kPa, Mpa

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 11 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per la redazione del progetto strutturale e geotecnico esposto nel presente documento, si è fatto riferimento alle seguenti normative e specifiche nazionali e comunitarie:

- **D.M. 14/01/2008.**  
Norme tecniche per le costruzioni.
- **Circolare del 02/02/2009.**  
Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. del 14/01/2008.
- **UNI EN 206-1-2001:** Calcestruzzo. "Specificazione, prestazione, produzione e conformità".
- **UNI 11104-2004:** Specificazione, prestazione, produzione e conformità: Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1
- **Linee Guida sul calcestruzzo strutturale** - Servizio Tecnico Centrale dei Lavori Pubblici – dicembre 1996 (L.G.S.T.C.)

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 12 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

## 3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Nei paragrafi seguenti si riportano le caratteristiche dei materiali previsti per la realizzazione dell'opera.

### 3.1 CALCESTRUZZO PER FONDAZIONE

Si riportano qui di seguito le caratteristiche prestazionali dei materiali che saranno impiegati per la realizzazione delle opere definitive di sostegno, secondo la normativa in vigore (punti 4.1.2.1 e 11.2.10 del DM 14.01.08) e con riferimento al metodo di calcolo agli stati limite .

- **CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO PER IL CORDOLO TESTA PALI**

- Classe di resistenza: C32/40
- classe di consistenza: S4
- classe di esposizione: XA2
- dimensione massima dell'inerte:  $D_{max} = 32 \text{ mm}$
- copriferro minimo:  $C_{f,min} \geq 40 \text{ mm}$

- **CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO PER IL SOLETTONE DI COPERTURA**

- Classe di resistenza: C32/40
- classe di consistenza: S4
- classe di esposizione: XA2
- dimensione massima dell'inerte:  $D_{max} = 32 \text{ mm}$
- copriferro minimo:  $C_{f,min} \geq 40 \text{ mm}$

- **CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO PER PALI DI FONDAZIONE**

- Classe di resistenza: C32/40
- classe di consistenza: S4
- classe di esposizione: XA2
- dimensione massima dell'inerte:  $D_{max} = 32 \text{ mm}$
- copriferro minimo:  $C_{f,min} \geq 60 \text{ mm}$

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 13 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

- **ACCIAIO PER BARRE DI ARMATURA DA C.A.**

Barre ad aderenza migliorata, saldabile, tipo B450C dotato delle seguenti caratteristiche meccaniche:

- tensione caratteristica di rottura:  $f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
- tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
- allungamento caratteristico:  $\geq 7.5 \%$
- rapporto tensione di rottura/ tensione di snervamento:  $1.15 \leq f_{tk}/f_{yk} < 1.35$

### 3.2 COPRIFERRI

La scelta del copriferro minimo di progetto  $c_{min}$  inteso come lo spessore minimo del ricoprimento dello strato di calcestruzzo a protezione dei ferri d'armatura è stato determinato in base a quanto indicato nella circolare Esplicativa, tenendo conto della classe di esposizione ambientale e della classe del Calcestruzzo prevista.

Nello specifico, tenendo conto della classe di esposizione ambientale desunta dalle analisi specifiche condotte nei riguardi dell'attacco chimico, che hanno evidenziato una **Classe di Esposizione XA2** e pertanto **Condizioni Ambientali "Aggressive"** per il solettone di fondazione. Mentre per i piedritti e il solettone superiore si ha una **Classe di Esposizione XC2** e pertanto **Condizioni Ambientali "Ordinarie"**.

In relazione a quanto riportato in tabella 4.1.III del DM 14.01.08, per le classi di calcestruzzo previste è prescritto un copriferro minimo  $c_{min} \geq 35\text{mm}$  per il solettone di fondazione e  $c_{min} \geq 25\text{mm}$ .

In definitiva ai fini progettuali si è assunto  $c=40\text{mm}$  per i cordoli e il solettone e  $c=60\text{mm}$  per i pali così come riportato all'interno della tabella materiali opere minori (strutture a contatto con il terreno).

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

Tab 4.1.III – DM 14.01.08

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 14 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

**Tabella C4.1.IV Copriferrì minimi in mm**

C <sub>min</sub>	C <sub>o</sub>	ambiente	barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
			C ≥ C <sub>o</sub>	C <sub>min</sub> ≤ C < C <sub>o</sub>	C ≥ C <sub>o</sub>	C <sub>min</sub> ≤ C < C <sub>o</sub>	C ≥ C <sub>o</sub>	C <sub>min</sub> ≤ C < C <sub>o</sub>	C ≥ C <sub>o</sub>	C <sub>min</sub> ≤ C < C <sub>o</sub>
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C28/35	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

**Tab C4.1.IV – Circolare n° 617/09**

### 3.3 BIBLIOGRAFIA

- [1] Becci B., Nova R. (1987) "Un metodo di calcolo automatico per il progetto di paratie". Rivista Italiana di Geotecnica, 1.
- [2] Bustamante M., Doix B. (1985) "Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés". Bull. Liaison Labo. P.et Ch. 140, nov-dic 1985
- [3] Tanzini M. (2004): "Micropali e pali di piccolo diametro". Ed. Dario Flaccovio.
- [4] Hoek, E. and Brown, E.T. (1980) "Empirical strength criterion for rock masses". J. Geotech. Engng Div., ASCE 106(GT9), 1013-1035.
- [5] Hoek E. et al. (2002) "Hoek-Brown failure criterion-2002 edition". Proceedings of the 5th North American Rock Mechanics Symp., Toronto, Canada.

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 15 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

## 4. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Per la caratterizzazione geotecnica del terreno interagente con le fondazioni delle opere oggetto di dimensionamento nel presente documento, si è fatto riferimento a quanto dettagliatamente indicato nella Relazione Geotecnica, alla carta geologica tav. 3 di 4 doc. 02-GE000PLA03 e nel Profilo Geotecnico Generale di Progetto TAV. 6 DI 8 doc. 02-GE0001PRF06, da cui si evince che le formazioni più superficiali che interagiscono con le fondazioni degli scatolari, sono generalmente costituite dalle unità geotecniche **Salt** e **Sch**, di cui nel seguito si riepilogano i parametri fisico-meccanici attribuiti sulla scorta dei risultati delle indagini effettuate:

### Unità R - Terreno di riporto e coltre vegetale

$\gamma = 19.0 \div 20.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 27 \div 30^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E_0 = 200 \div 300 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

### Unità Ecla - Depositi eluvio colluviali limoso argillosi

$\gamma = 18.5 \div 20.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 23 \div 28^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 5 \div 15 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi_r' = 14^\circ \div 21^\circ$	angolo di resistenza al taglio residuo
$c_r' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata residua
$c_u = 50 \div 220 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$G_0 = 20 \div 160 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_0 = 60 \div 400 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

### Unità a – Coltri in frana

$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 22 \div 28^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi_r' = 18^\circ$	angolo di resistenza al taglio residuo
$c_r' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata residua
$c_u = 20 \div 120 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_0 = 60 \div 300 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

### Unità Salt – Substrato alterato argilloso limoso

$\gamma = 19.0 \div 21.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 23 \div 30^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 5 \div 15 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi_r' = 20 \div 22^\circ$	angolo di resistenza al taglio residuo
$c_r' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata residua
$c_u = 50 \div 300 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 16 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

$G_o = 80\div 350$  MPa

modulo di deformazione a taglio iniziale

$E_o = 400\div 900$  MPa

modulo di deformazione elastico iniziale

#### Unità Sch – Formazione dello Schlier

$\gamma = 22.0\div 24.0$  kN/m<sup>3</sup>

peso di volume naturale

$E'_{op} = 20+5.75\cdot z$  MPa per  $z < 40$  m

modulo di deformazione elastico operativo

$E'_{op} = 100+3.75\cdot z$  MPa per  $z > 40$  m

Z [m]	c' [kPa]	$\phi'$ [°]
20	55÷70	29÷33
30	70÷90	27÷31
50	90÷250	25÷30

## 4.1 MODELLO GEOTECNICO

Nei dimensionamenti delle opere si è considerata dunque la seguente stratigrafia:

- Tratto dal km 0+128 al km 0+285 circa

LITOTIPO		POTENZA	$\gamma$	c'	$\phi'$	$E_{vc}$	$E_{ur}$
		m	kN/m <sup>3</sup>	kPa	°	MPa	MPa
Unità Salt – Substrato alterato argilloso limoso	Salt	5.50÷11.00	20	10	25	35	55
Unità Sch – Formazione dello Schlier	Sch	-	22	55	27	130	210

La falda è posta 391.35 m sl.m.

I moduli elastici sopra riportati sono da considerare validi rispettivamente nel campo di compressione vergine ( $E_{vc}$ ) e di scarico-ricarico. Il valore del modulo di deformabilità è stato assunto costante con la profondità.

I parametri di resistenza sopra riportati sono da intendersi in termini di tensioni efficaci, in quanto il calcolo è stato sviluppato in condizioni drenate.

Dall'analisi congiunta del profilo geologico, della relazione geologica e delle sezioni geologiche interpretative, è possibile sintetizzare alcune considerazioni sulle condizioni idrogeologiche della zona, ai fini della progettazione delle opere di sostegno in esame.

La formazione presenta una permeabilità molto alta e, vista l'elevata permeabilità intrinseca della

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

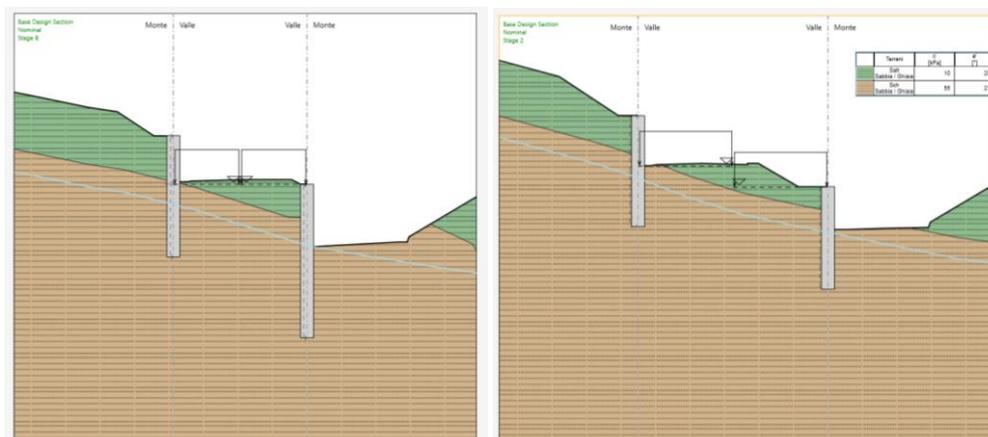
Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 17 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

tipologia dell'opera di sostegno adottata (paratia di pali), ai fini del calcolo strutturale dell'opera sono state del tutto trascurate le spinte dell'acqua a monte della paratia.

In base alle considerazioni sopra riportate, le analisi di stabilità sono state condotte nell'ipotesi di falda posizionata a circa fondo scavo (vedi alcuni dei modelli di calcolo di paratia plus).



Di seguito si riporta uno stralcio planimetrico con indicati i diversi tratti di paratia studiati in funzione della lunghezza dei pali:

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

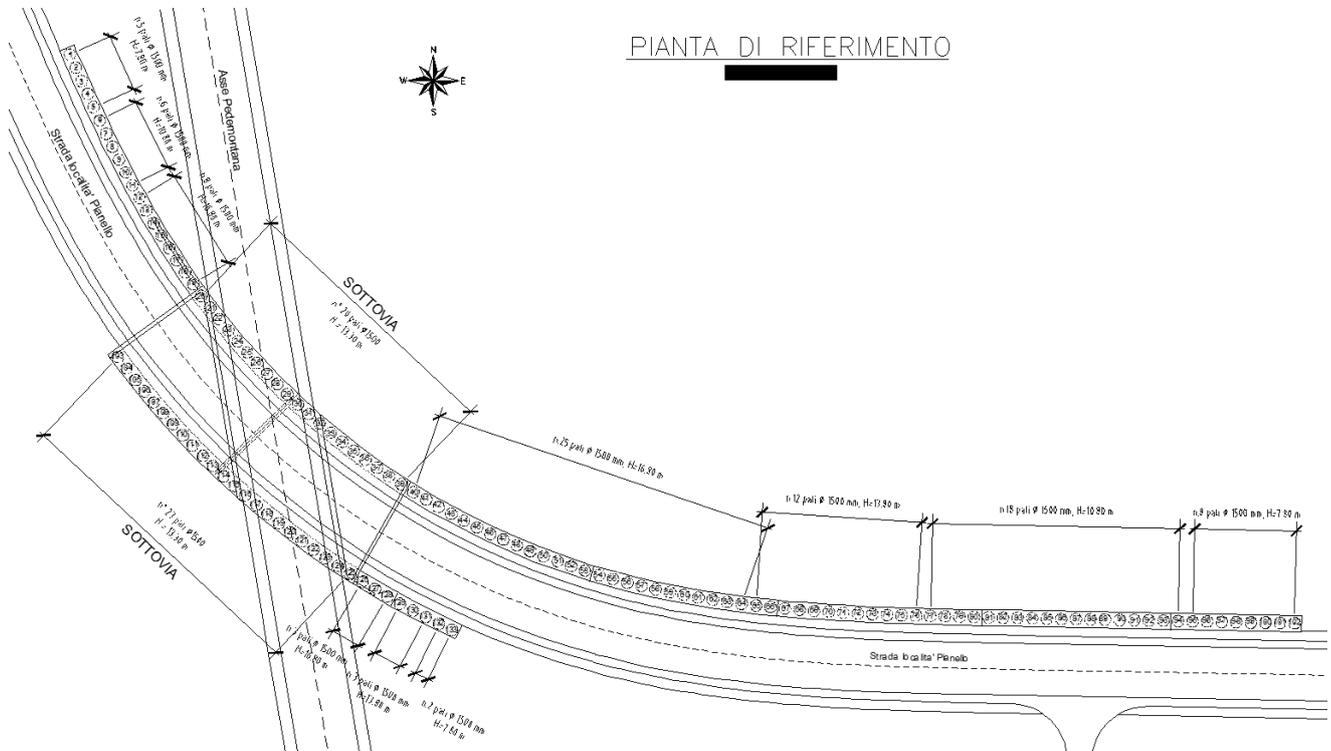
OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 18 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

PIANTA DI RIFERIMENTO



### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 19 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

## 5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Le opere in progetto rientrano nell'ambito dei Lavori di Realizzazione dell'Infrastruttura "Pedemontana delle Marche" progettato per una vita nominale  $V_N$  pari a **50** anni, ed una classe d'uso **III** (Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e retiferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.") ai sensi del D. Min. 17/01/2018, da cui scaturisce un coefficiente d'uso  **$C_u = 1.5$**

L'azione sismica di progetto è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base del sito su cui l'opera insiste, descritta in termini geografici e temporali:

- attraverso i valori di accelerazione orizzontale di picco  $a_g$  (attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale) e le espressioni che definiscono le ordinate del relativo spettro di risposta elastico in accelerazione  $S_e(T)$ ;
- in corrispondenza del punto del reticolo che individua la posizione geografica dell'opera;
- con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR.

In particolare, la forma spettrale prevista dalla normativa è definita, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di 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.

I suddetti parametri sono calcolati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il punto caratterizzante la posizione dell'opera, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

In particolare, si può notare come  $F_0$  descriva la pericolosità sismica locale del sito (Comune di Camerino) su cui l'opera insiste. Infatti, da quest'ultimo, attraverso le espressioni fornite dalla normativa, sono valutati i valori d'amplificazione stratigrafica e topografica.

Di seguito sono riassunti i valori dei parametri assunti per l'opera in oggetto.

- Vita nominale  $V_N$  = 50 anni;
- Classe d'uso = III;
- Coefficiente d'uso  $C_u$  = 1.5;
- Periodo di riferimento  $V_R$  = 75 anni;
- $T_{R,SLV}$  = 712 anni;

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

**Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697**

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 20 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

A partire dai dati di cui in precedenza, si determinano i valori dei parametri di pericolosità sismica riferiti ai diversi stati limite di verifica previsti dalla Normativa nei riguardi delle azioni sismiche:

$V_R$ [anni]	Stato Limite	$PV_R$ -	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
75	SLO	81%	45	0.0073	2.450	0.286
	SLD	63%	75	0.097	2.433	0.295
	<b>SLV</b>	10%	<b>712</b>	0.220	2.544	0.333
	SLC	5%	1462	0.262	2.555	0.339

Tabella di riepilogo Parametri di pericolosità di Progetto

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 21 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

## 6. SOFTWARE DI CALCOLO

Per il calcolo strutturale delle paratie si è utilizzato il codice di calcolo PARATIE PLUS 2021 per Window, sviluppato dalla Ce.A.S. s.r.l. di Milano.

Per le verifiche di stabilità dei versanti ci si è avvalsi del software di calcolo MICROSTABL, sviluppato dallo studio I.S.G. ingegneria strutturale e geotecnica. di Firenze.

### 6.1 IL PROGRAMMA DI CALCOLO PARATIE PLUS

Il progetto e la verifica delle sollecitazioni delle paratie, conseguenti all'interazione con il terreno, sono stati determinati con l'ausilio del codice di calcolo PARATIE PLUS 2021.

In tale codice la schematizzazione del fenomeno fisico di interazione avviene considerando il diaframma come una serie di elementi trave il cui comportamento è caratterizzato dalla rigidità flessionale EJ, mentre il terreno viene simulato attraverso elementi elastoplastici monodimensionali connessi ai nodi della paratia.

La differenza rispetto ai metodi tradizionali consiste essenzialmente nella legge costitutiva delle molle che anziché elastica o elastica – perfettamente plastica, è assunta essere elastoplastica incrudente, in migliore accordo con il comportamento meccanico del terreno.

Nel caso di paratie costituite da elementi discreti (paratia di micropali), nel modello viene introdotta una rigidità flessionale equivalente a quella di un diaframma continuo valutata tenendo conto della spaziatura fra i singoli elementi.

Il programma consente di seguire tutte le varie fasi di esecuzione degli scavi eseguendo un'analisi statica incrementale: ogni passo di carico (step), coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una certa quota di scavo, da una ben precisa disposizione dei carichi applicati e dalla situazione tensio-deformativa dei singoli elementi. Poiché il comportamento degli elementi finiti di terreno (elementi SOIL) è di tipo elastoplastico, ogni configurazione dipende dalle configurazioni precedenti: lo sviluppo di deformazioni plastiche ad un certo step di carico condiziona la risposta della struttura negli step successivi.

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo  $k_0$ , il coefficiente di spinta attiva  $k_a$  ed il coefficiente di spinta passiva  $k_p$ .

Il coefficiente di spinta a riposo fornisce lo stato tensionale presente in sito prima delle operazioni di

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 22 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

scavo. Esso sarà determinato sulla base di specifiche prove in sito, ovvero, in mancanza, tenendo conto della natura e storia geologica del deposito.

I coefficienti di spinta attiva e passiva possono essere valutati con le note espressioni di Rankine nel caso di pareti lisce oppure ricorrendo alle tabelle del NAVFAC (1971) o alle tabelle di Caquot e Kerisel (1948) se si vuole tenere conto dell'attrito terreno – paratia e/o della pendenza del terreno a monte ed entro la luce di scavo. Nella fattispecie si è fatto riferimento alle tabelle del NAVFAC.

Il valore limite della tensione orizzontale è dato da:

$$\sigma'_h = k_a \sigma'_v - 2c' \sqrt{k_a}$$

$$\sigma'_h = k_p \sigma'_v + 2c' \sqrt{k_p}$$

a seconda che il collasso avvenga in condizioni di spinta attiva o passiva rispettivamente.

Si è adottato un valore dell'angolo di attrito terreno paratia, ( $\delta$ ), pari a  $0.5 \phi'$ .

## 6.2 IL PROGRAMMA DI CALCOLO MICROSTABL

L'esame della condizione di stabilità è stato condotto utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite. Le analisi di stabilità sono state eseguite utilizzando il programma di calcolo MICROSTABL.

Il metodo valuta le condizioni di stabilità di un pendio naturale o di una scarpata artificiale ricercando per tentativi la superficie di scivolamento "critica" (ossia quella a cui compete il coefficiente di sicurezza  $F_S$  minimo).

Il metodo si basa sulla considerazione dell'equilibrio di un blocco (o "cuneo") rigido di terreno rappresentato in figura 10.

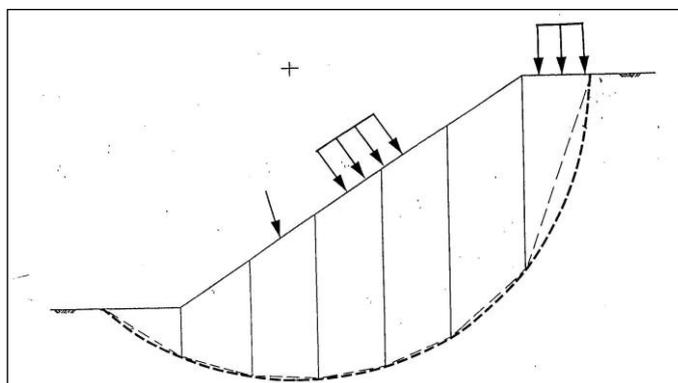


Figura 6.1 - Blocco di terreno instabile suddivisione in conci.

Il cuneo è soggetto sia all'azione del peso proprio sia a quella delle forze esterne di varia natura (sovraccarichi verticali, azioni dei tiranti, forze di inerzia sismiche, ecc.).

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 23 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

A questo scopo il blocco viene dapprima suddiviso in conci e l'equilibrio globale è analizzato come somma dell'equilibrio di ciascuno di essi facendo delle assunzioni semplificatrici sulle forze reciproche tra i conci (vedi figura 11).

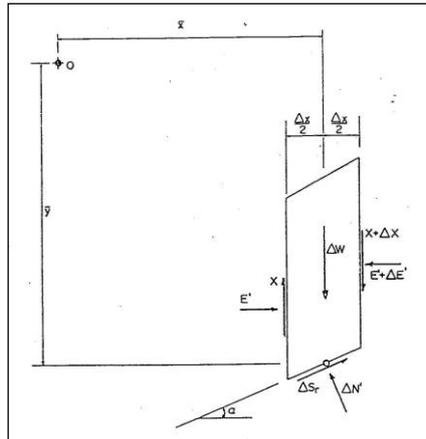


Figura 6.2 - Forze agenti sui conci.

Il metodo consente di valutare un valore del coefficiente di sicurezza medio della superficie di scivolamento definito come:

$$F_s = \frac{(\tau_{ult})_m}{\tau_m}$$

essendo:

$(\tau_{ult})_m$  = resistenza al taglio media del terreno lungo la superficie di scivolamento;

$\tau_m$  = tensione tangenziale media mobilitata lungo la superficie di scivolamento.

Il programma permette il calcolo dei coefficienti di sicurezza di superfici di potenziale scivolamento sia circolari sia di geometria qualsiasi. Nel caso di superfici circolari è possibile definire una griglia al cui interno sono situati i centri delle superfici di scivolamento per le quali si ricerca il coefficiente di sicurezza. In tale maniera è possibile individuare la superficie per la quale si ha il coefficiente di sicurezza minimo.

È inoltre possibile considerare una linea piezometrica di forma qualsiasi, schematizzare carichi esterni verticali o inclinati, distribuiti su una superficie o lineari lungo una retta. Il sistema viene schematizzato secondo il classico metodo "pseudostatico", applicando ad ogni elemento di volume di terreno una



### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

**Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697**

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 24 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

forza proporzionale al peso dell'elemento stesso sia in direzione orizzontale ( $k_h$ ) che in direzione verticale ( $1 \pm k_v$ , incremento verso l'alto o verso il basso).

Il programma consente infine, nello spirito del Metodo Semiprobabilistico agli Stati Limite, una versatile e accurata gestione dei coefficienti parziali  $\gamma$  (sulle azioni, sui sovraccarichi esterni, sui parametri di resistenza del terreno e su quelli degli elementi strutturali resistenti, ecc..).

	<b>2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE</b> <b>3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud</b> <b>4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia</b> OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA <b>Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697</b> - Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco							
	Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A

## 7. CRITERI E IPOTESI DI CALCOLO

### 7.1 STATI LIMITE DI PROGETTO E COEFFICIENTI PARZIALI

L'analisi mira a garantire la sicurezza e le prestazioni attese attraverso il conseguimento dei seguenti requisiti :

- sicurezza nei confronti degli Stati Limite di Esercizio.
- sicurezza nei confronti degli Stati Limite Ultimi

Tali verifiche sono state effettuate applicando il primo approccio progettuale (Approccio 1) che prevede le due seguenti combinazioni di coefficienti:

- Combinazione 1: A1+M1+R1 (STR)
- Combinazione 2: A2+M2+R1 (GEO)

Considerando i coefficienti parziali riportati nelle tab.6.2.I, 6.2.II e 6.5.I delle NTC 2008

Nelle condizioni di esercizio gli spostamenti dell'opera sono stati valutati per verificarne la compatibilità con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza delle opere adiacenti.

In particolare, sono stati verificati i seguenti stati limiti ultimi:

- ❖ Verifica della paratia
  - collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera;
  - raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.
- ❖ Verifica dei tiranti
  - sfilamento di uno o più ancoraggi;
  - raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi.

*In questo caso le verifiche dei tiranti vengono omesse trattandosi di una paratia a sbalzo priva di tiranti.*

I risultati delle analisi sono riportati di seguito.

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 26 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

## 7.2 AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Secondo la normativa tecnica in vigore, ai fini della zonazione sismica del territorio italiano l'area in oggetto ricade nel territorio del Comune di Camerino. Pertanto, per strutture di classe III, vita nominale di 50 anni e su suolo di categoria **C** (profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali) la parametrizzazione è la seguente:

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV	
$a_g$	0.220 g	Accelerazione massima al suolo
$F_o$	2.544	Fattore di amplificazione spettrale
$T_C^*$	0.333 s	Periodo iniziale a velocità costante dello spettro
$S_s$	1.364	Coefficiente stratigrafico
$C_c$	1.510	Coefficiente funzione della cat. sottosuolo
$S_T$	1.000	Coefficiente topografico
$q$	1.00	Fattore di struttura

Il D. Min. 14/01/2008 consente l'utilizzo di metodi pseudo-statici per il calcolo dell'incremento di spinta sull'opera dovuto al sisma. Il metodo applicato in sede di progettazione è quello di Mononobe-Okabe, basato sull'equilibrio limite globale di un cuneo di terreno soggetto alle forze indotte dal sisma, ipotizzando che l'opera possa subire movimenti tali da produrre nel terreno retrostante un regime di spinta attiva e che il terreno interno al cuneo di spinta si comporta come un corpo rigido.

Le componenti verticali ed orizzontali dell'azione sismica sono considerate costanti in tutti i punti della massa.

La spinta sismica (statica + dinamica) vale:

$$S_s = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot (1 \pm k_v) \cdot K'_a$$

dove, se  $\beta \leq \varphi - 9$ :

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 27 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

$$K'_a = \frac{\sin^2(\beta + \phi - \vartheta)}{\cos \vartheta \cdot \sin^2 \beta \cdot \sin(\beta - \delta - \vartheta) \cdot \left[ 1 + \left( \frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \varepsilon - \vartheta)}{\sin(\phi - \delta - \vartheta) \cdot \sin(\beta + \varepsilon)} \right)^{0.5} \right]^2}$$

altrimenti, se  $\beta > \phi - \vartheta$ :

$$K'_a = \frac{\sin^2(\beta + \phi - \vartheta)}{\cos \vartheta \cdot \sin^2 \beta \cdot \sin(\beta - \vartheta - \delta)}$$

Nelle relazioni sopra elencate, i simboli hanno i seguenti significati:

$\beta$  = angolo tra intradosso parete e la verticale;

$\vartheta$  = angolo definito come:

$$\tan(\vartheta) = \frac{k_h}{(1 \pm k_v)}$$

$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot \frac{a_{max}}{g}$ , coefficiente di intensità sismica orizzontale;

$k_v = 0.5 \cdot k_h$  = coefficiente di intensità sismica verticale;

$a_{max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  = accelerazione di gravità;

$\alpha \leq 1$  è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera;

$\beta \leq 1$  è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza.

L'accelerazione  $a_{max}$  è valutata mediante un'analisi di risposta sismica locale, ovvero come

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

Dove  $S$  è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ).

Le caratteristiche del sito (Comune di Camerino) su cui sarà realizzata l'opera in esame sono riassunte in seguito:

Parametri di pericolosità sismica (SLV;  $V_N \geq 50$  anni;  $C_U = 1.5$ )

$a_g = 0.220 g$ ;

Cat.di suolo di fondazione

C (per cui  $S = 1.364 \cdot 1.00$ );

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

**Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697**

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 28 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

Il valore del coefficiente  $\alpha$  può essere ricavato a partire dall'altezza H della paratia e della categoria del sottosuolo mediante il diagramma riportato in Fig. 7.11.2 del Testo Unico.

Per la valutazione della spinta nelle condizioni di equilibrio limite passivo deve porsi  $\alpha = 1$ .

Il valore del coefficiente  $\beta$  può essere ricavato dal diagramma di Figura 7.11.3 del Testo Unico, in funzione del massimo spostamento  $u_s$  che l'opera può tollerare senza riduzioni di resistenza.

Nel nostro caso si ha:

$$\alpha = 1$$

$$\beta = 0.4057 (u_s = 0.090) - H_{paratia} = 18.00 \text{ m}$$

$$\beta = 0.4305 (u_s = 0.075) - H_{paratia} = 15.00 \text{ m}$$

$$\beta = 0.4608 (u_s = 0.060) - H_{paratia} = 12.00 \text{ m}$$

$$\beta = 0.4998 (u_s = 0.045) - H_{paratia} = 9.00 \text{ m}$$

La normativa prescrive di applicare separatamente la spinta statica e dinamica, quest'ultima come incremento di spinta.

Per quanto concerne l'incremento di spinta, si calcola la differenza tra la spinta sismica totale e la spinta statica attiva. Si ricava un diagramma delle pressioni del terreno costante, per cui il punto di applicazione della spinta si trova in corrispondenza di  $1/2 H$  rispetto alla base della parete.

Il calcolo dell'incremento di spinta del terreno per effetto del sisma è stato eseguito considerando una parete verticale di altezza pari alla profondità massima di scavo.

Pertanto, si ha:

$$S_s = \gamma^* K_h h_s \quad \text{formula di Wood}$$

In cui.

$K_h$  coefficiente di intensità sismica orizzontale

$h_s$  quota testa cordolo-quota progetto (altezza finale)

L'azione sismica si applica all'ultimo step di calcolo, con la strada completata.

#### Forze d'inerzia

Possono essere trascurati gli effetti inerziali sulle masse che costituiscono la paratia.

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 29 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

## 8. MODELLO DI CALCOLO DELLA PARATIA

### 8.1 SEZIONE DI CALCOLO

Il calcolo della paratia è stato condotto attraverso il codice PARATIE PLUS 2021, considerando le diverse condizioni di carico cui è soggetta la struttura durante le successive fasi di scavo parziale e di esecuzione della soletta di copertura.

In particolare, sono state prese in considerazione come sezioni di calcolo significative quella corrispondente alla situazione più gravosa caratterizzata dalle diverse altezze di scavo ( $H_{\text{scavo}}=4.00\text{m}÷8.50\text{m}$ ) e dalla diversa stratigrafia che porta ad avere una diversa lunghezza dei pali a fronte di una identica altezza di scavo (vedi  $H_{\text{scavo}} = 5.00\text{m}$   $L_{\text{palo+cordolo}} = 14.00\text{m}$  con due strati di terreno "Salt+Sch" e  $L_{\text{palo+cordolo}} = 18.00\text{m}$  con tre strati di terreno "Ecla+Salt+Sch").

### 8.2 PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

I parametri geotecnici utilizzati nei calcoli sono basati su quelli riportati nel capitolo 4 (parametri caratteristici  $M_k$ ).

unità	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi$ [°]	$c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_d$ [MPa]
<b>Salt</b>	20	25	10	35
<b>Sch</b>	22	27	55	130

**Tabella 7.1** – Parametri geotecnici caratteristici ( $M_k$ )

Le azioni agenti sulla paratia in progetto sono quelle dovute alla spinta del terreno e alla spinta dell'acqua di falda sia a monte sia a valle per le paratie a sbalzo mentre per il sottovia realizzato con metodo Milano oltre alle spinte del terreno e della falda ci sono anche le spinte del sovraccarico a monte e del sovraccarico derivante dalla soletta di copertura.

Tali azioni sono calcolate automaticamente dal programma in funzione degli spostamenti orizzontali della parete e della legge d'interazione terreno-struttura implementata. Si trascurano il peso proprio della paratia e le azioni verticali al piede dell'opera.

I coefficienti di spinta ( $M1$ ) utilizzati dal codice di calcolo PARATIE PLUS 2021 sono riportati nella

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 30 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

seguinte tabella 7.2:

unità	$K_0$ [-]	$K_a$ [-]	$K_p$ [-]
<b>Salt</b>	0.577	0.359	3.222
<b>Sch</b>	0.546	0.339	3.601

**Tabella 7.2** – Coefficienti di spinta assunti nei calcoli

dove:

$K_0$  = coefficiente di spinta a riposo

$K_a$  = coefficiente di spinta attiva

$K_p$  = coefficiente di spinta passiva

Il coefficiente di spinta a riposo è stato valutato per mezzo della formula di Jaky:

$$K_0 = 1 - \tan \varphi$$

I coefficienti di spinta sono calcolati direttamente dal programma e derivano dalla formulazione di Coulomb assumendo l'inclinazione effettiva del pendio a monte ( $\beta$ ) e  $\delta = \phi/2$  per quella attiva e  $\beta=0$  e  $\delta = \phi/2$  per quella passiva.

### 8.3 LIVELLO DELLA FALDA

Sulla scorta delle considerazioni riportate nel par.7, le analisi sono state condotte nell'ipotesi di falda profonda rispetto al fondo dello scavo.

### 8.4 STEP DI CALCOLO

A partire da una condizione iniziale con il piano di campagna posto alla quota della testa della paratia (assunta pari a 0 m), il calcolo dell'opera di sostegno è stato elaborato secondo i seguenti step di calcolo:

#### PARATIE A SBALZO

##### Step 0 – Condizione geostatica e realizzazione della paratia

Rappresenta le condizioni geostatiche per il terreno (spinta a riposo a monte e a valle), in questo step è stata schematizzata la costruzione della paratia, introducendo nel terreno una parete continua con

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 31 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

la testa posta alla quota 0 m. e il piede a quota -18m/-15/-12/-9 m..

La struttura costituita dai pali è stata schematizzata come una parete di spessore costante, lo spessore equivalente viene calcolato in automatico dal programma in funzione delle caratteristiche geometriche e di rigidezza del palo e delle armature.

Al termine di questo step di calcolo gli spostamenti e le sollecitazioni nella paratia sono in buona sostanza nulli. Questa fase del calcolo è tuttavia molto importante per riprodurre al meglio le condizioni iniziali di partenza nelle molle elasto-plastiche che schematizzano il terreno.

Step 1 – Scavo fino ad intradosso fondazione stradale, per le paratie a sbalzo -7.50m/-7.3m/-6.00m/-5.00m/-3.50m;

Scavo fino ad intradosso fondazione stradale;

Step 2 – Realizzazione della fondazione stradale e relativo pacchetto stradale (circa 40 cm)

In questa fase viene realizzata la sovrastruttura stradale;

Step 3 – Sisma

In questo step di calcolo, viene simulata l'azione sismica, introducendo l'incremento di spinta sismica sul terreno.

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 32 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

## 9. VERIFICHE STRUTTURALI – CRITERI GENERALI

### 9.1 VERIFICA SLE

La verifica nei confronti degli Stati limite di esercizio, consiste nel controllare, con riferimento alle Combinazioni di Calcolo allo SLE, il tasso di Lavoro nei Materiali e l'ampiezza delle fessure nel calcestruzzo attesa, secondo quanto di seguito specificato:

#### 9.1.1 Verifiche delle tensioni

La verifica delle tensioni in esercizio consiste nel controllare il rispetto dei limiti tensionali previsti per il calcestruzzo e per l'acciaio per ciascuna delle combinazioni di carico caratteristiche "Rara" e "Quasi Permanente"; i valori tensionali nei materiali sono valutati secondo le note teorie di analisi delle sezioni in c.a. in campo elastico e con calcestruzzo "non reagente" adottando come limiti di riferimento, quelli di seguito indicati, in accordo alle prescrizioni della normativa vigente:

Per il caso in esame risulta in particolare:

#### CALCESTRUZZO C32/40

$$\sigma_{\text{cmax QP}} = (0,45 f_{\text{ck}}) = \mathbf{14.94} \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Quasi Permanente})$$

$$\sigma_{\text{cmax R}} = (0,60 f_{\text{ck}}) = \mathbf{19.92} \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Caratteristica - Rara})$$

#### ACCIAIO

$$\sigma_{\text{fmax}} = (0,80 f_{\text{yk}}) = \mathbf{360} \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Caratteristica (Rara)})$$

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 33 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

#### 9.1.2 Verifiche a fessurazione

La verifica di fessurazione consiste nel controllare l'ampiezza dell'apertura delle fessure sotto combinazione di carico frequente e combinazione quasi permanente. Essendo la struttura a contatto col terreno si considerano condizioni ambientali aggressive; le armature di acciaio ordinario sono ritenute poco sensibili [NTC – Tabella 4.1.IV]

In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è riportato nel prospetto seguente:

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	$\leq w_1$

Nel caso in esame si ha:

- Per i pali:

Condizioni Ambientali: aggressive

Armature: Poco Sensibili

Conseguentemente dovrà risultare:

Combinazione Quasi permanente:  $w \leq 0.2\text{mm}$

Combinazione Frequente:  $w \leq 0.3\text{mm}$

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

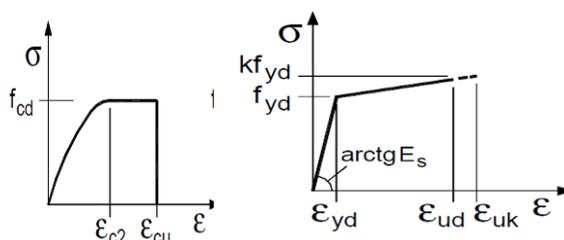
- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc. REL	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	213	E	16	OM0006	REL	02	A	34 di 77

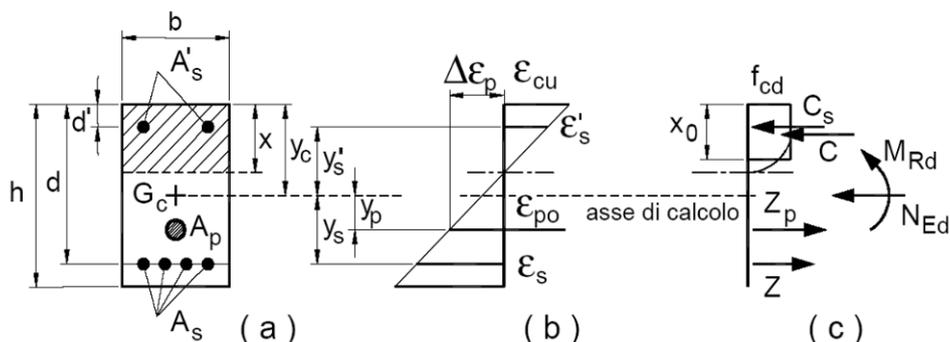
### 9.1.3 Verifiche allo SLU

#### 9.1.3.1 Pressoflessione

La determinazione della capacità resistente a flessione/pressoflessione della generica sezione, viene effettuata con i criteri di cui al punto 4.1.2.1.2.4 delle NTC08, secondo quanto riportato schematicamente nelle figure seguito, tenendo conto dei valori delle resistenze e deformazioni di calcolo riportate al paragrafo dedicato alle caratteristiche dei materiali:



Legami costitutivi Calcestruzzo ed Acciaio -



Schema di riferimento per la valutazione della capacità resistente a pressoflessione generica sezione -

La verifica consisterà nel controllare il soddisfacimento della seguente condizione:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

dove

$M_{Rd}$  è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a  $N_{Ed}$ ;

$N_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente assiale (sforzo normale) dell'azione;

$M_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione.

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 35 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

#### 9.1.3.2 Taglio

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  della membratura priva di armatura specifica risulta pari a:

$$V_{Rd} = \left\{ 0.18 \cdot k \cdot \frac{(100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \cdot b_w \cdot d$$

Dove:

- $v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$ ;
- $k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$ ;
- $\rho_1 = A_{sw}/(b_w \cdot d)$
- $d$  = altezza utile per piedritti soletta superiore ed inferiore;
- $b_w = 1000$  mm larghezza utile della sezione ai fini del taglio.

In presenza di armatura, invece, la resistenza a taglio  $V_{Rd}$  è il minimo tra la resistenza a taglio trazione  $V_{Rsd}$  e la resistenza a taglio compressione  $V_{Rcd}$ :

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg} \alpha + \text{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \frac{(\text{ctg} \alpha + \text{ctg} \theta)}{(1 + \text{ctg}^2 \theta)}$$

Essendo:

$$1 \leq \text{ctg} \theta \leq 2,5$$

Per quanto riguarda in particolare le verifiche a taglio per elementi armati a taglio, si è fatto riferimento al metodo del traliccio ad inclinazione variabile, in accordo a quanto prescritto al punto 4.1.2.3.5.2 delle NTC18, considerando ai fini delle verifiche, un angolo  $\theta$  di inclinazione delle bielle compresse del traliccio resistente tale da rispettare la condizione.

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

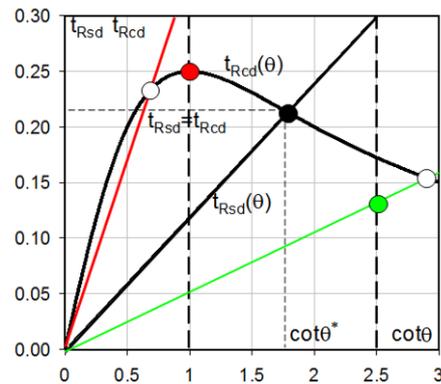
Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 36 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

$$1 \leq \cot \theta \leq 2,5$$

$$45^\circ \geq \theta \geq 21.8^\circ$$



L'angolo effettivo di inclinazione delle bielle ( $\theta$ ) assunto nelle verifiche è stato in particolare valutato, nell'ambito di un problema di verifica, tenendo conto di quanto di seguito indicato:

$$\cot \theta^* = \sqrt{\frac{v \cdot \alpha_c}{\omega_{sw}} - 1}$$

( $\theta^*$  angolo di inclinazione delle bielle cui corrisponde la crisi contemporanea di bielle compresse ed armature)

dove

$$v = f'_{cd} / f_{cd} = 0.5$$

$f'_{cd}$  = resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima

$f_{cd}$  = resistenza a compressione di calcolo del calcestruzzo d'anima

$\alpha_c$  coefficiente maggiorativo pari a 1 per membrature non compresse

$$1 + \sigma_{cp} / f_{cd} \quad \text{per } 0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$$

$$1,25 \quad \text{per } 0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$$

$$2,5 (1 - \sigma_{cp} / f_{cd}) \quad \text{per } 0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$$

$\omega_{sw}$ : Percentuale meccanica di armatura trasversale.



### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 37 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

$$\omega_{sw} = \frac{A_{sw} f_{yd}}{b s f_{cd}}$$

- Se la  $\cot\theta^*$  è compresa nell'intervallo (1,0-2,5) è possibile valutare il taglio resistente  $V_{Rd}(=V_{Rcd}=V_{Rsd})$
- Se la  $\cot\theta^*$  è maggiore di 2,5 la crisi è da attribuirsi all'armatura trasversale e il taglio resistente  $V_{Rd}(=V_{Rsd})$  coincide con il massimo taglio sopportato dalle armature trasversali valutabile per una  $\cot\theta = 2,5$ .
- Se la  $\cot\theta^*$  è minore di 1,0 la crisi è da attribuirsi alle bielle compresse e il taglio resistente  $V_{Rd}(=V_{Rcd})$  coincide con il massimo taglio sopportato dalle bielle di calcestruzzo valutabile per una  $\cot\theta = 1,0$ .

**2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 38 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

## 10. CRITERI GENERALI DI ANALISI E VERIFICA

Nell'ambito del presente paragrafo, si descrivono i criteri generali adottati per l'analisi e relative verifiche strutturali e geotecniche delle opere oggetto di dimensionamento

### 10.1 ANALISI DEI CARICHI

#### 10.1.1 Peso proprio

Il peso proprio della struttura ha un peso dell'unità di volume del c.a. pari a  $\gamma_{cls} = 25 \text{ KN/m}^3$ .

#### 10.1.2 Permanenti

Per la valutazione del carico permanente in copertura si ha:

$$P_c = 1.95 \cdot 1.20 \cdot 25 = 58.5 \text{ kN/m} \quad \text{- Peso del cordolo di testa della paratia}$$

#### 10.1.3 Spinta del terreno

La valutazione delle Spinte del terreno sui pali viene effettuata automaticamente dal codice di calcolo Paratia Plus.

#### 10.1.4 Spinta in presenza di falda

La valutazione delle Spinte della falda sui pali viene effettuata automaticamente dal codice di calcolo Paratia Plus.

#### 10.1.5 Azioni variabili da traffico (Q1)

Per alcuni tratti a monte della paratia di pali in oggetto è presente la sede stradale della pedemontana, in questi tratti è stato assunto un sovraccarico stradale pari a  $20 \text{ kN/m}^2$  distribuito su tutta la la sede stradale.

#### 10.1.6 Azione longitudinale di frenamento (Q3)

L'azione di frenamento, agente parallelamente alla paratia di pali non viene presa in esame.

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 39 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

#### 10.1.7 Azioni Sismiche

Per il calcolo dell'azione sismica si è utilizzato il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico  $k$ .

Queste azioni vengono calcolate in automatico dal codice di calcolo Paratie Plus.

### 10.2 COMBINAZIONI DI CARICO

Per la combinazione dei diversi carichi previsti sulla struttura di cui al precedente paragrafo 7, si è fatto riferimento a quanto specificato in merito al par. 2.5.3 del DM 14.01.18, secondo cui le combinazioni di carico da considerare nei riguardi dei diversi stati limite di verifica SLU, SLE e sisma sono le seguenti:

Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, utilizzata nella verifica a Fessurazione:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

dove:

$$E = \pm 1.00 \times E_Y \pm 0.3 \times E_Z$$

avendo indicato con  $E_Y$  e  $E_Z$  rispettivamente le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica.

I coefficienti di amplificazione dei carichi  $\gamma$  e i coefficienti di combinazione  $\psi$  sono riportati nelle tabelle seguenti.

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 40 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 <sup>(5)</sup>	0,20 <sup>(5)</sup>
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(6)</sup>	1,00 <sup>(7)</sup>	1,00	1,00	1,00

**Tabella 5.2.V** – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, eccezionali e sismica (da DM 14/01/2008)

- (1) Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
- (2) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
- (3) Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.
- (4) Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2. IV.
- (5) Aliquota di carico da traffico da considerare.
- (6) 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
- (7) 1,20 per effetti locali

**Tab. 5.1.VI** - Coefficienti  $\psi$  per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente $\psi_0$ di combi- nazione	Coefficiente $\psi_1$ (valori frequent)	Coefficiente $\psi_2$ (valori quasi permanent)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	--	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

**Tabella 5.1.VI**- Coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni (da DM 14/01/2008)



### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

**Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697**

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 41 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

In definitiva, con riferimento ai carichi di tipo variabile previsti nel caso in esame, sono stati assunti i seguenti coefficienti di partecipazione  $\Psi$ :

Carichi stradali (Variabili da traffico)

$$\Psi_0 = 0.75 \quad \Psi_1 = 0.75 \quad \Psi_2 = 0.00$$

Si sottolinea che, stante la simmetria e la bidimensionalità del problema il numero di combinazioni analizzate è stato significativamente ridotto, considerando il sisma e la forza di frenamento agenti in un'unica direzione e verso.



## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 42 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

## 11. ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

### 11.1 DICHIARAZIONI SECONDO N.T.C. 2008 (PUNTO 10.2)

Nell'ambito del presente paragrafo si riporta una descrizione delle caratteristiche dei Software utilizzati per l'effettuazione delle Analisi e Verifiche strutturali e geotecniche esposte nel presente documento.

#### Denominazione ed Estremi di Licenza del Software

Titolo	Paratia Plus
Versione	21
Produttore	INTERFACING MANUAL – CEAS - viale Giustiniano 10, 20129 Milano
Utente	TECNOSTRUTTURE S.R.L.
Licenza	71538

#### Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo

Il sottoscritto, in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

#### Tipo di analisi svolta

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio del codice di calcolo automatico PARATIE PLUS 2021 - un programma non lineare ad elementi finiti per l'analisi di strutture di sostegno flessibili. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

L'analisi fornisce i risultati in termini di sollecitazioni nelle sezioni più significative.

Il calcolo viene eseguito secondo le fasi costruttive dell'opera:

L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 14/01/2008.

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

#### Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni



### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 43 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

teoriche.

#### Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

#### Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

#### Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software ed inoltre il produttore del software medesimo ha fornito i certificati di "Affidabilità del codice di calcolo ParatiePlus" di cui si riporta di seguito:



**2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**  
**3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud**  
**4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia**  
 OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA  
**Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697**  
 - Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 44 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

CEAS

MILANO, 2 MAGGIO 2019  
 PROT.  
 N.PG/FOGLI 1

OGGETTO  
 DICHIARAZIONE AFFIDABILITÀ PARATIEPLUS

PG 1

**Affidabilità del codice di calcolo ParatiePlus**

Facendo seguito a quanto previsto nel paragrafo "Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo" delle "Norme tecniche per le Costruzioni", si precisa che la documentazione a corredo del software richiesta dalla norma citata è contenuta nei seguenti documenti in formato PDF compresi nell'installazione di PARATE PLUS:

Guida Utente	Contiene una descrizione delle basi teoriche generali e delle procedure di progetto generali implementate, con particolare riferimento alle varie Normative tecniche adottate. Inoltre, contiene una serie di esempi tipici, per i quali vengono descritte, in modo dettagliato, le diverse fasi operative ed relativi comandi del programmi. Sono contenuti inoltre commenti sui criteri di modellazione che si rendono via via necessari; infine sono discussi i risultati. Tutti i file di input dei casi risolti sono compresi nell'installazione del programma.
Teoria - Paratie Plus	Descrive in modo approfondito gli algoritmi numerici alla base della simulazione di un'opera di sostegno tramite il metodo delle molle non lineari.
advanced-modelling	Per tutti gli algoritmi e le diverse opzioni di modellazione implementate, sono riportati casi prova commentati con il confronto tra i risultati forniti dal programma ed i valori di riferimento, disponibili in genere da esempi teorici risolvibili con altri metodi o tramite il confronto con valori in letteratura. Tutti i file di input dei casi prova sono compresi nell'installazione del programma.
Stima Parametri	Contiene una guida per la determinazione dei principali parametri geomeccanici di input, alla luce delle tecnologie sperimentali più diffuse, e secondo raccomandazioni accreditate in letteratura e da standard internazionali
Verifiche strutturali	Descrive le assunzioni ingegneristiche alla base delle procedure di verifica degli elementi strutturali, quali pareti, tiranti, puntoni, elementi di ripartizione ecc.
Interfaccia con DXF	Descrive le ipotesi alla base dell'importazione della geometria a partire da un modello cad.
Relazione di Calcolo	

CEAS SRL

Ing. Bruno Becci

CEAS S.R.L. | VIALE GIUSTINIANO 10 - 20129 MILANO  
 TEL. +39 02 2020221 | CEAS.SRL@PEG.IT | WWW.CEAS.IT  
 C.F. - P.IVA - C.C.I.A.A. IN REG. IMPRESE SEZ. ORD. 05961600157  
 R.E.A. 1052750 | CAP. SOC. EURO 50.000,00

SISTEMA DI GESTIONE | UNI EN ISO 9001 : 2015  
 CERTIFICATO K031 | CERTIFICATO RILASCIATO DA:  
 QUASER CERTIFICAZIONI S.R.L.  
 ACCREDIA - L'ENTE ITALIANO DI ACCREDITAMENTO

Inoltre, sempre dalla documentazione del produttore è possibile esaminare ed analizzare una serie di esempi semplificati per il controllo dei risultati.

In base a quanto sopra, si asserisce che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 45 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

## 12. RISULTATI DEI CALCOLI

I principali risultati dei calcoli svolti sono riportati qui di seguito, in forma di grafici rappresentativi dell'output di calcolo.

Le unità di misura adottate e riportate negli output di calcolo sono:

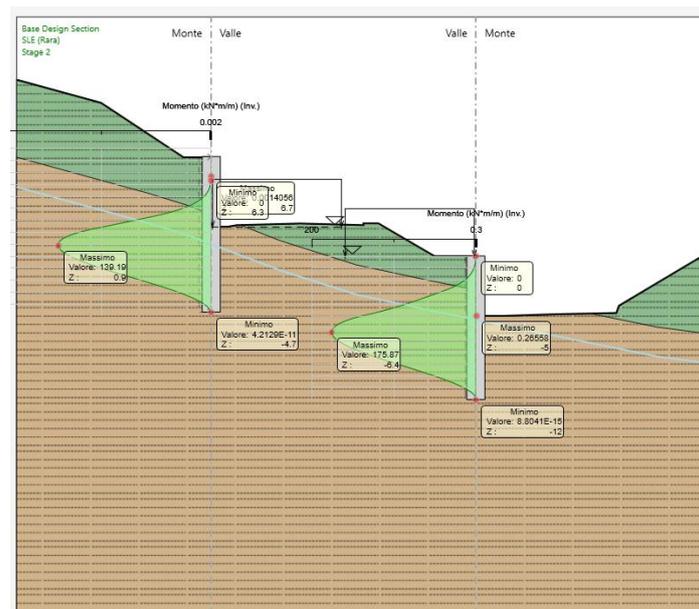
- kN per le forze;
- m per le lunghezze.

Sono riportati, gli involuppi (SLE, STR, GEO, SISMA-STR; SISMA-GEO), per le diverse sezioni di calcolo, in forma grafica relativi a:

- ❖ il diagramma del momento flettente e taglio (per unità di lunghezza);
- ❖ lo sforzo nei tiranti (per unità di lunghezza);

Sono riportate, anche le deformate (SLE), per le diverse sezioni di calcolo, in forma grafica.

### 12.1 CALCOLO PARATIA CON HSCAVO =5.00 M – L = 13.00 m (dal km 128.54 al km 147.44)



**Figura 9.1** – Diagramma del momento flettente (involuppo allo SLE)

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 46 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

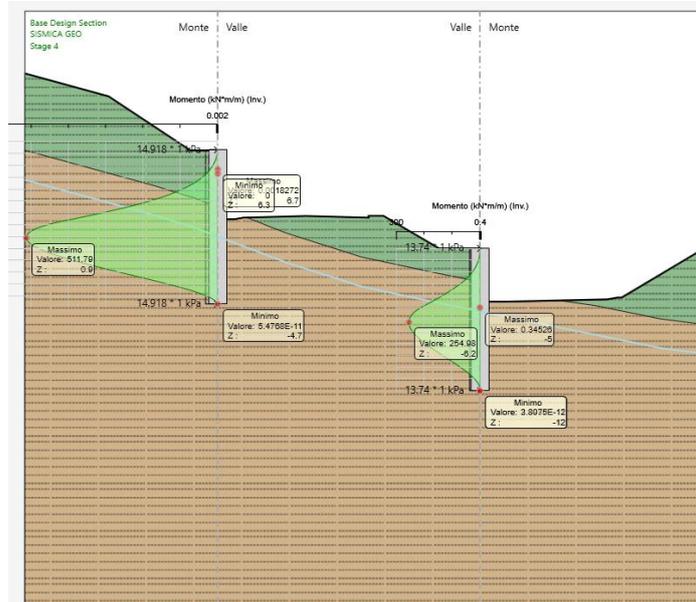


Figura 9.2 – Diagramma del momento flettente (involuppo allo SLU/SISMICA)

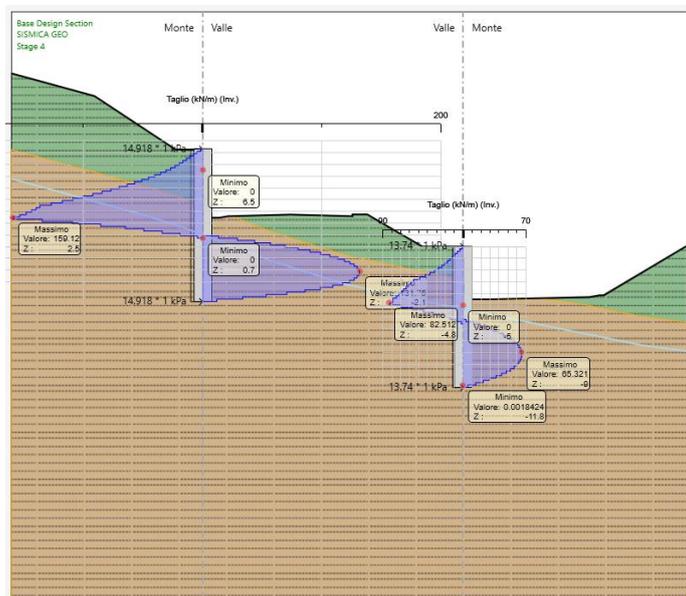


Figura 9.3 – Diagramma del taglio (involuppo allo SLU/SISMICA)

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 47 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

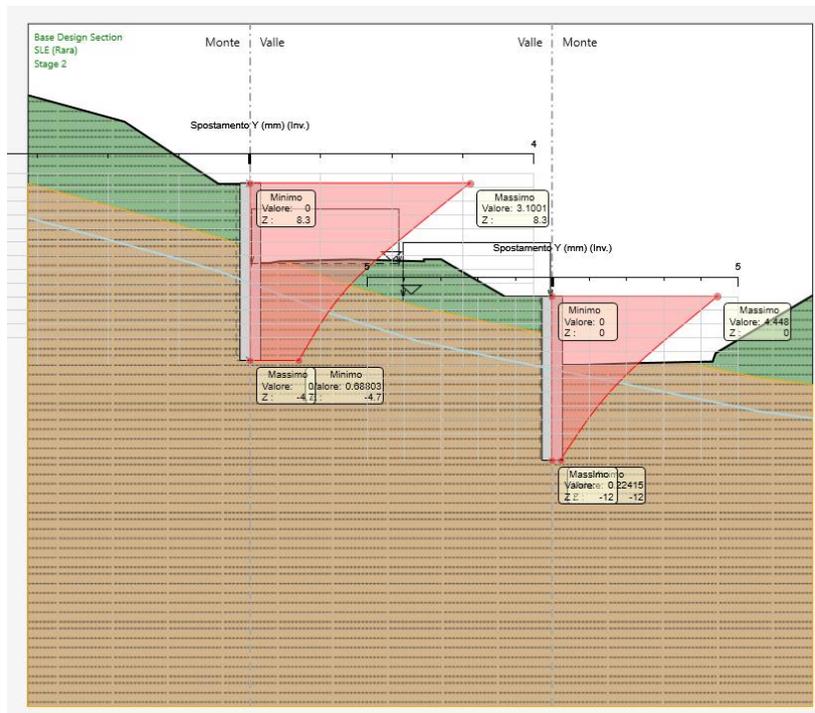


Figura 9.4 – Diagramma delle deformate (SLE)

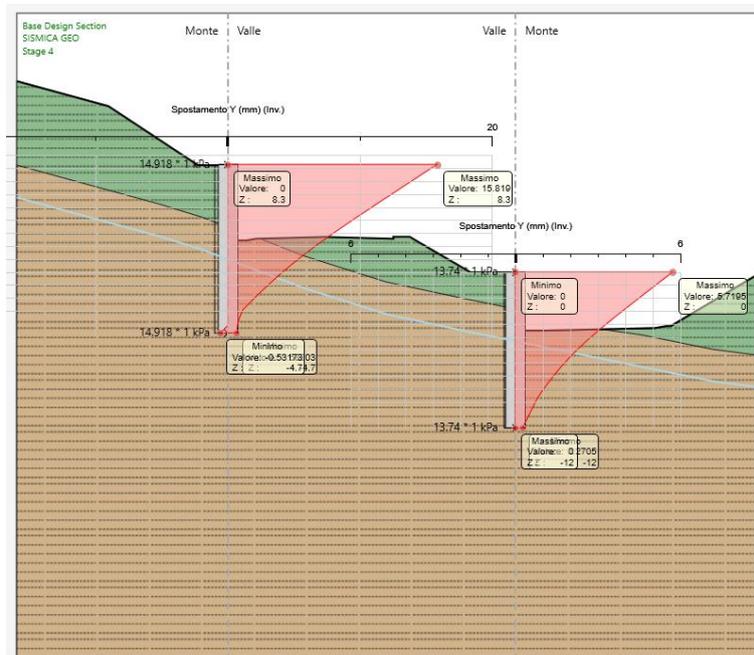


Figura 9.4 – Diagramma delle deformate (SISMICA)

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud  
 4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia  
 OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA  
 Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697  
 - Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 48 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

## 12.2 CALCOLO PARATIA CON HSCAVO = 7.30 M – L = 18.00 M

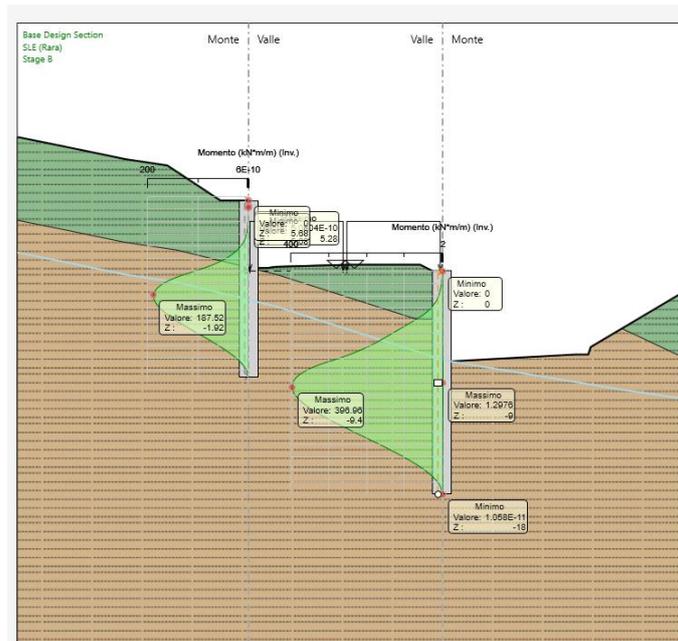


Figura 9.1 – Diagramma del momento flettente (involuppo allo SLE)

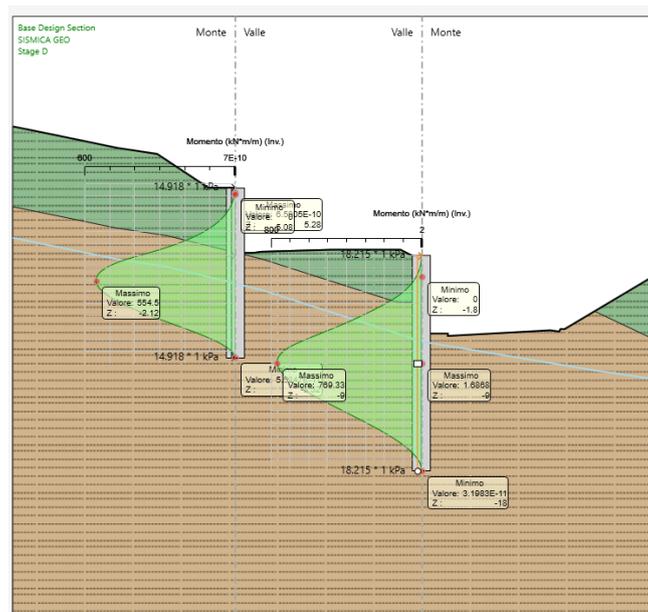


Figura 9.2 – Diagramma del momento flettente (involuppo allo SLU/SISMICA)



### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 50 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

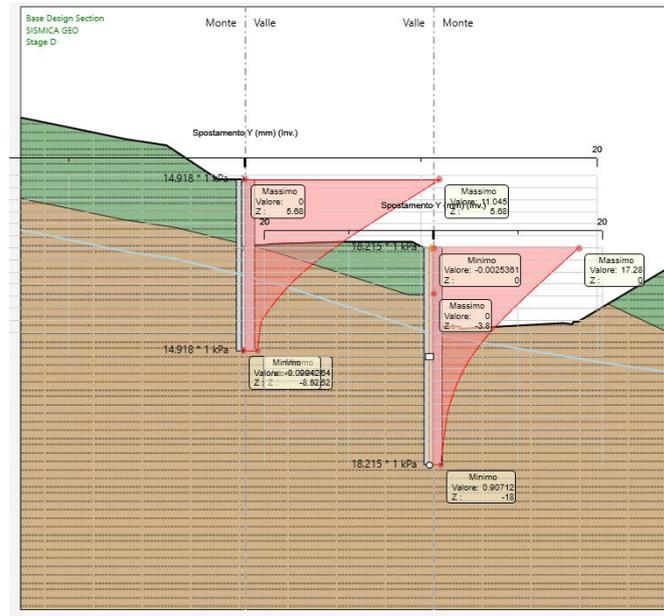


Figura 9.4 – Diagramma delle deformate (SISMICA)

### 12.3 CALCOLO PARATIA CON HSCAVO = 7.50 M – L = 18.00 M

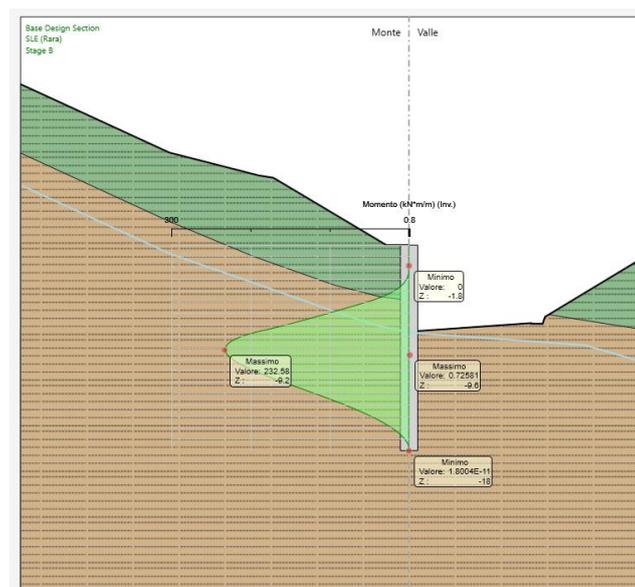


Figura 9.1 – Diagramma del momento flettente (involuppo allo SLE)

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 51 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

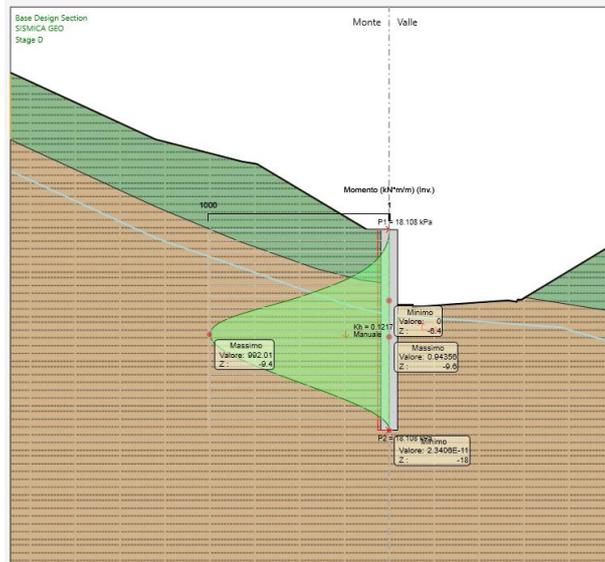


Figura 9.2 – Diagramma del momento flettente (involuppo allo SLU/SISMICA)

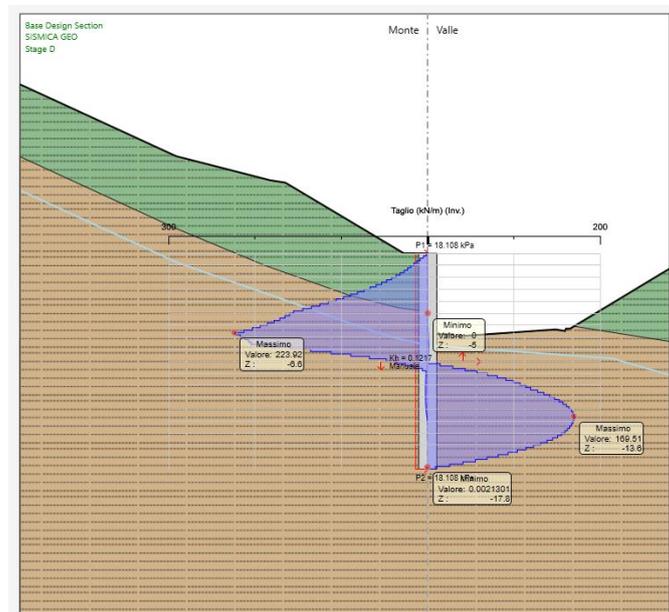


Figura 9.3 – Diagramma del taglio (involuppo allo SLU/SISMICA)

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 52 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

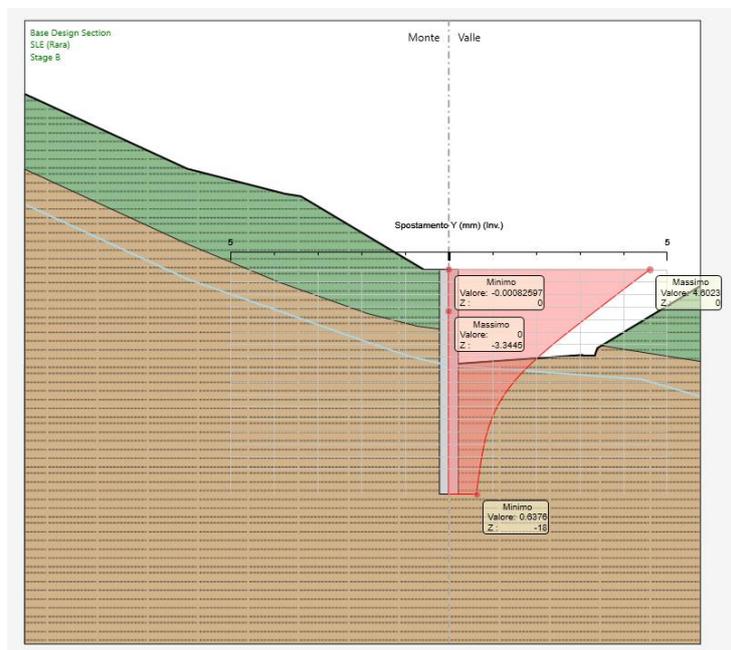


Figura 9.4 – Diagramma delle deformate (SLE)

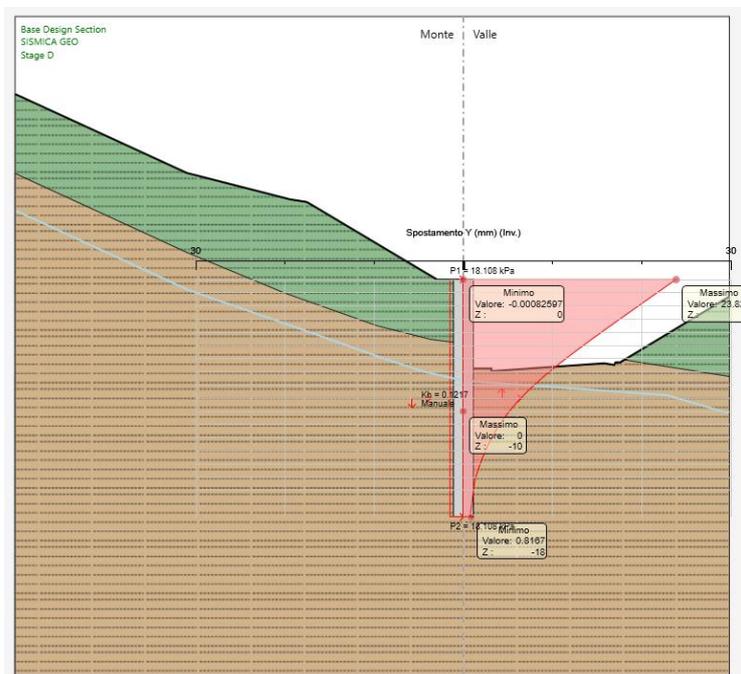


Figura 9.4 – Diagramma delle deformate (SISMICA)

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 53 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

### 12.4 CALCOLO PARATIA CON HSCAVO = 6.00 M – L = 15.00 M

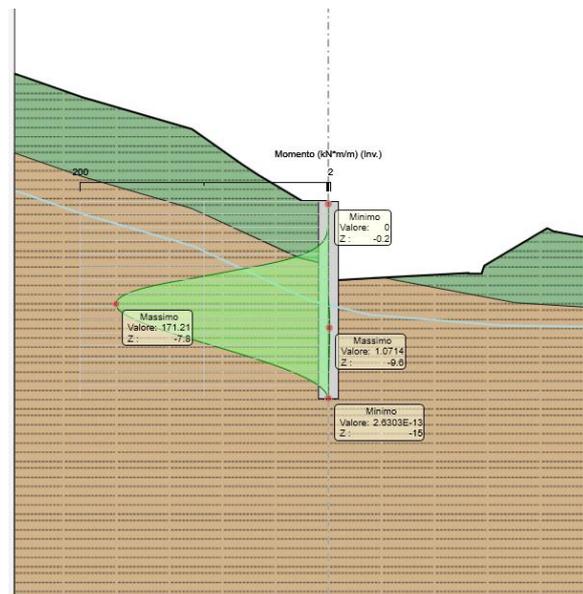


Figura 9.1 – Diagramma del momento flettente (involuppo allo SLE)

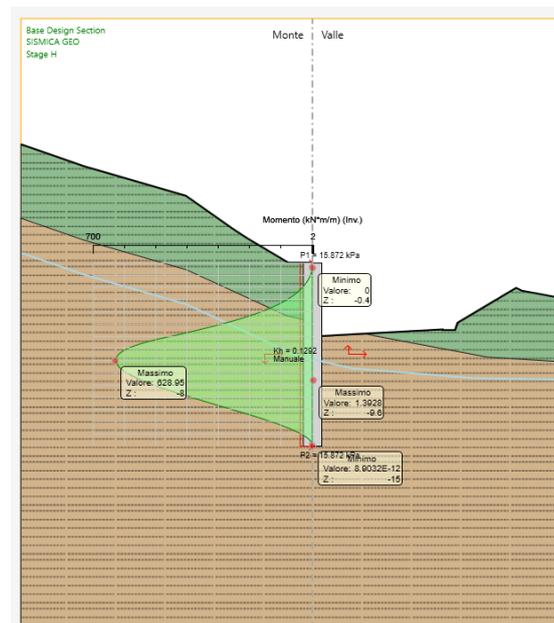


Figura 9.2 – Diagramma del momento flettente (involuppo allo SLU/SISMICA)

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud  
 4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia  
 OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA  
 Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697  
 - Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 54 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

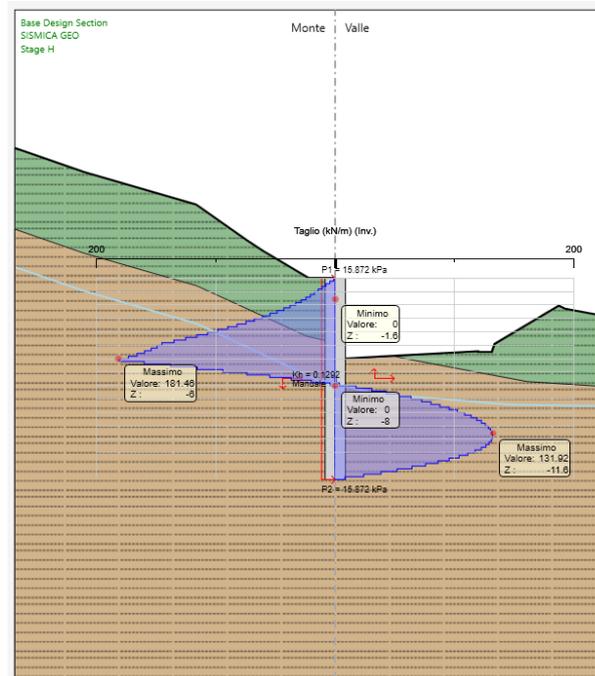


Figura 9.3 – Diagramma del taglio (involuppo allo SLU/SISMICA)

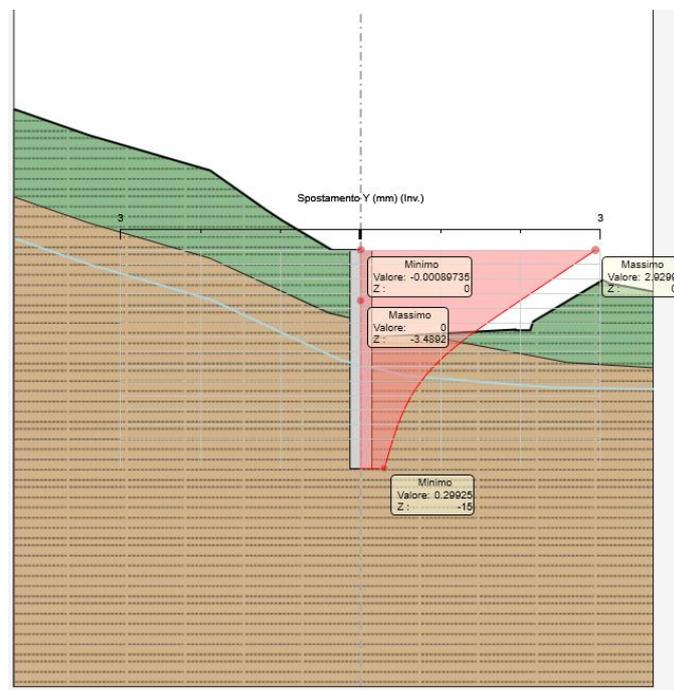


Figura 9.4 – Diagramma delle deformate (SLE)

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 55 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

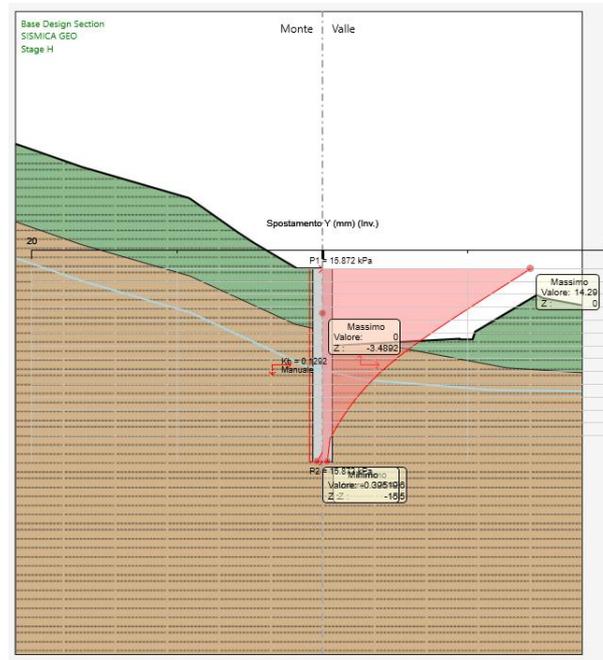


Figura 9.4 – Diagramma delle deformate (SISMICA)

### 12.5 CALCOLO PARATIA CON HSCAVO = 5.00 M – L = 14.00 M

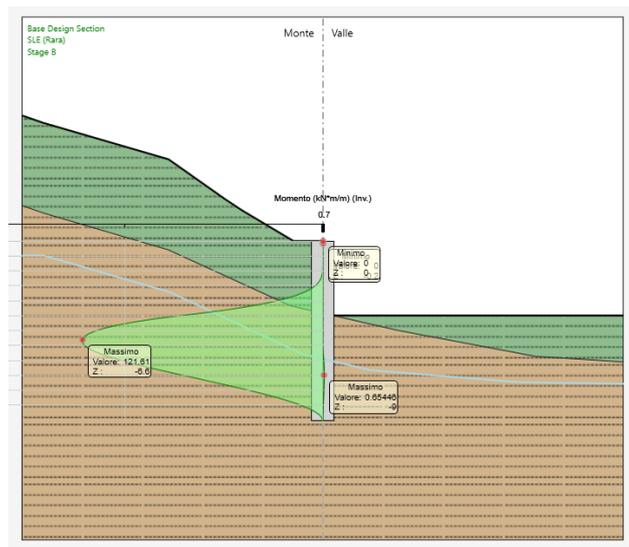


Figura 9.1 – Diagramma del momento flettente (involuppo allo SLE)

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 56 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

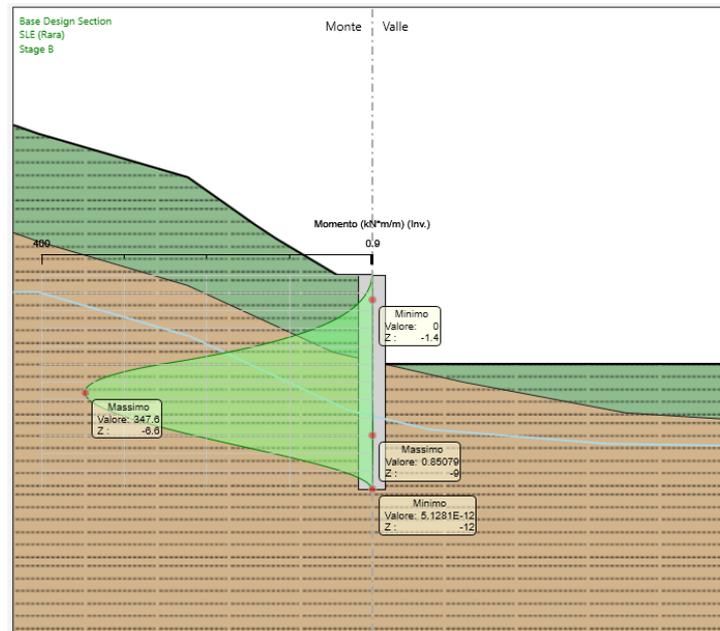


Figura 9.2 – Diagramma del momento flettente (involuppo allo SLU/SISMICA)

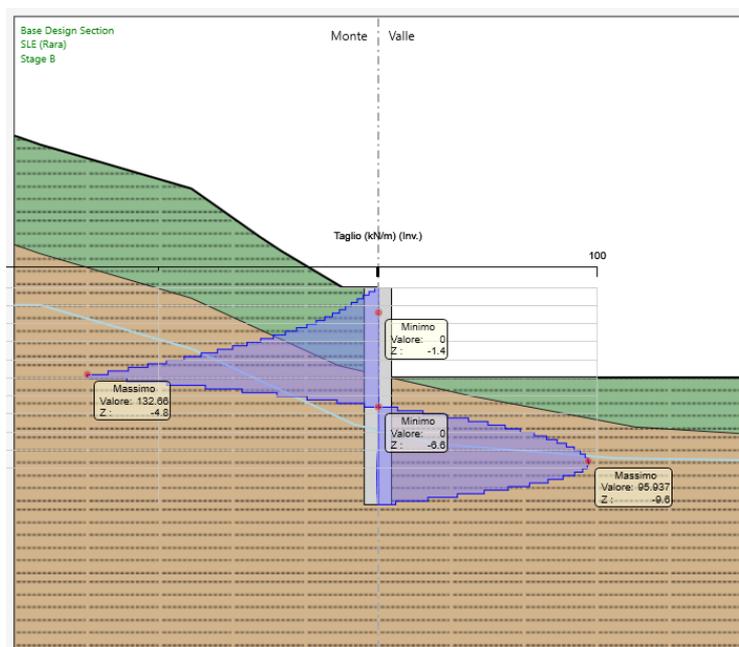


Figura 9.3 – Diagramma del taglio (involuppo allo SLU/SISMICA)

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 57 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

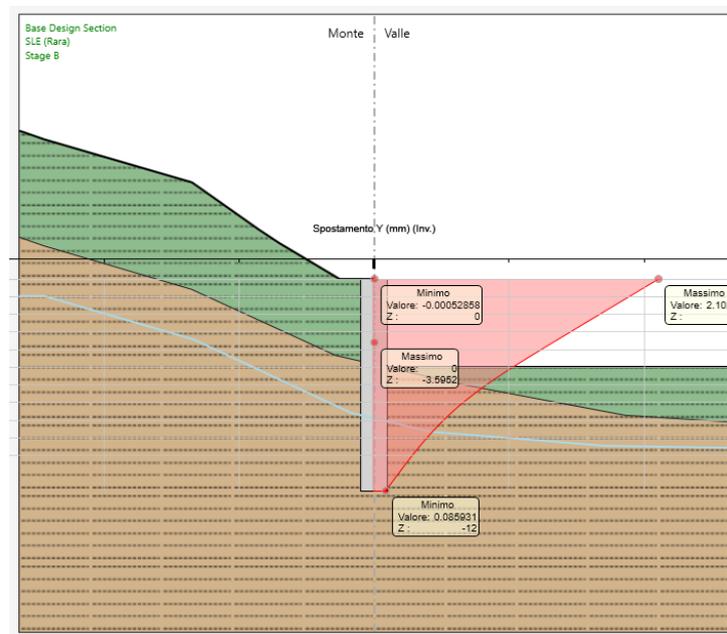


Figura 9.4 – Diagramma delle deformate (SLE)

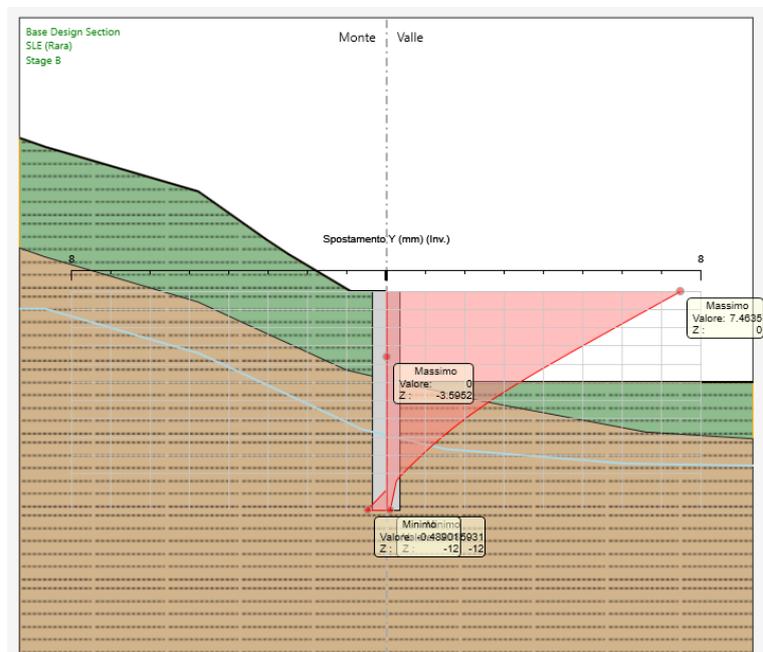
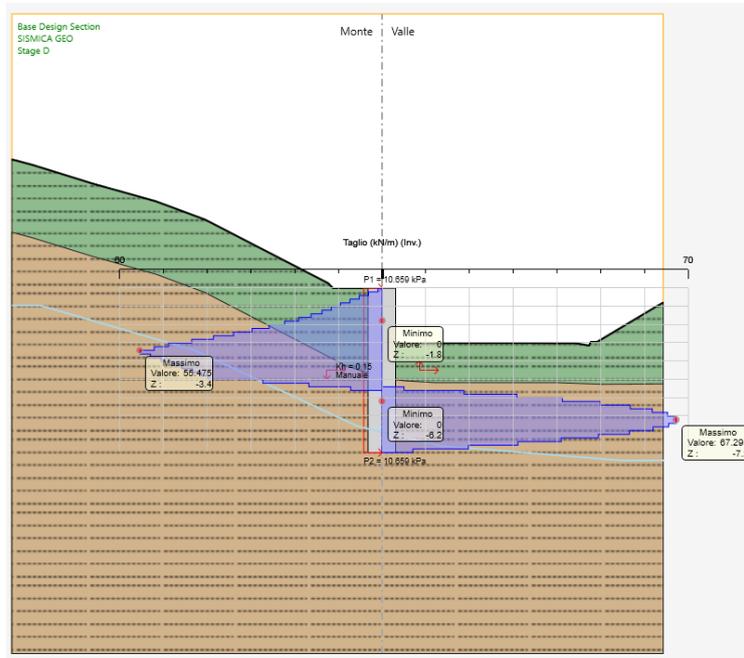


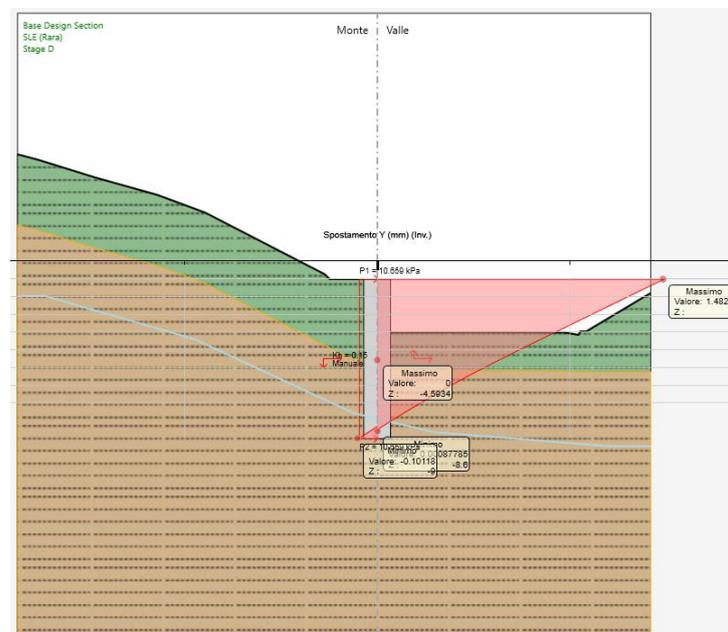
Figura 9.4 – Diagramma delle deformate (SISMICA)



Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 59 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------



**Figura 9.3** – Diagramma del taglio (involuppo allo SLU/SISMICA)



**Figura 9.4** – Diagramma delle deformate (SLE)

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

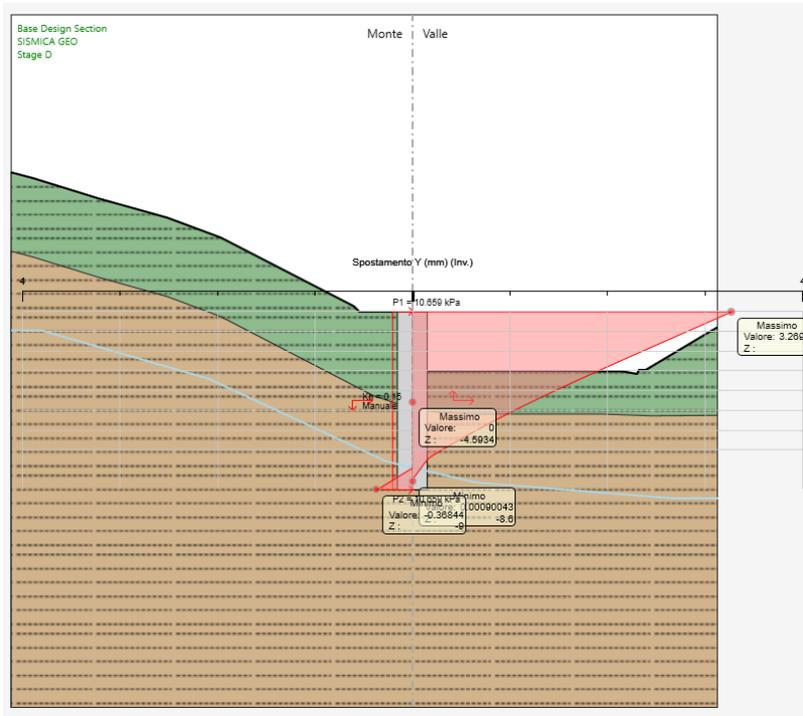
4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 60 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------



**Figura 9.4** – Diagramma delle deformate (SISMICA)

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 61 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

## 13. VERIFICHE DI RESISTENZA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

In questo capitolo si riportano le verifiche di resistenza agli SLU degli elementi strutturali che costituiscono l'opera in progetto (pali, cordoli di ripartizione).

Le verifiche di resistenza delle strutture sono state eseguite attraverso il metodo semiprobabilistico degli stati limite, sulla base delle sollecitazioni massime emerse dai risultati dei calcoli.

Le tensioni limite dei materiali cui si è fatto riferimento (tensioni di calcolo per gli SLU) sono riportate nel cap. 9.

### 13.1 PALI

#### 13.1.1 Verifica agli Stati Limite Ultimi (SLU)

Per la verifica agli SLU si valutano le sollecitazioni resistenti di progetto della sezione circolare in c.a.  $\phi 1500$  mm.

Di seguito si riportano le sollecitazioni massime agenti sul palo in funzione della profondità e della tipologia dei pali studiati:

##### 13.1.1.1 Sollecitazioni sui Pali delle paratie

#### Sollecitazione a metro lineare di paratia

SEZIONE	SLE (Sollecitazioni max sul palo)					SLU (Sollecitazioni max sul palo)				
	Lpalo (m)	$\delta_s$ max (mm)	Z (m)	M max (kNm/m)	Nmax (kN)	$\delta_s$ max (mm)	Z (m)	M max (kNm/m)	Nmax (kN)	T max (kN/m)
$H_{scavo}=7.30m$ $L_{palo}+H_{cord}=18.00m$	16.80	10.42	-9.40	396.96	309.98	17.28	-9.00	769.33	292.31	160.45
$H_{scavo}=7.50m$ $L_{palo}+H_{cord}=18.00m$	16.80	4.60	-9.20	232.58	301.14	23.82	-9.40	992.01	309.98	223.92
$H_{scavo}=6.00m$ $L_{palo}+H_{cord}=15.00m$	13.80	2.92	-7.80	171.21	239.29	14.29	-8.00	628.95	248.13	181.46
$H_{scavo}=5.00m$ $L_{palo}+H_{cord}=12.00m$	10.80	2.10	-6.60	121.61	186.28	7.46	-6.60	347.60	186.28	132.66
$H_{scavo}=5.00m$ $L_{palo}+H_{cord}=12.00m$	10.80	4.44	-6.40	175.87	177.44	5.71	-6.20	254.98	168.61	82.51
$H_{scavo}=3.50m$ $L_{palo}+H_{cord}=9.00m$	7.80	1.48	-5.60	61.77	142.10	3.27	-5.40	159.28	133.27	67.30

Il valore dello spostamento massimo in condizioni di esercizio è pari a 10.42mm ed è compatibile con la funzionalità dell'opera.

Mentre lo spostamento massimo " $u_s$ " in sismica deve comunque risultare:

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 62 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

$$u_s \leq 0.005 \cdot H$$

Con H altezza complessiva della paratia, dal confronto con gli spostamenti massimi in sismica riportati nelle tabelle precedenti si ha:

$$u_{s,cal} = 0.02382 \text{ m} \leq u_{s,max} = 0.090 \text{ m} \quad - H_{paratia} = 18.00 \text{ m}$$

$$u_{s,cal} = 0.01429 \text{ m} \leq u_{s,max} = 0.075 \text{ m} \quad - H_{paratia} = 15.00 \text{ m}$$

$$u_{s,cal} = 0.00746 \text{ m} \leq u_{s,max} = 0.060 \text{ m} \quad - H_{paratia} = 12.00 \text{ m}$$

$$u_{s,cal} = 0.00327 \text{ m} \leq u_{s,max} = 0.045 \text{ m} \quad - H_{paratia} = 9.00 \text{ m}$$

Di seguito si riportano le sollecitazioni sul singolo palo ottenute dalle sollecitazioni sui pali a metro lineare moltiplicate per l'interasse dei pali pari a 1.80 m, le azioni assiali riportati nelle tabelle precedente tengono già in conto l'interasse dei pali avendo considerato il peso del cordolo calcolato su 1.80m.

#### PARATIA DI PALI

##### **Sollecitazione sul singolo palo della paratia**

Sollecitazione sul singolo palo								
SEZIONE	COMB.	Interasse Pali	Momento sollecitante palo	Sforzo normale sollecitante palo	COMB.	Momento resistente palo (kNm)	Sforzo normale resistente palo (kN)	Taglio resistente palo (kN)
		(m)	(kNm)	(kN)		(kNm)	(kN)	(kN)
Hscavo=7.30m Lpalo+HCord=18.00m	SLE	1.80	714.53	309.98	SLU	1384.79	292.31	288.81
Hscavo=7.50m Lpalo+HCord=18.00m	SLE	1.80	418.64	301.14	SLU	1785.62	309.98	403.06
Hscavo=6.00m Lpalo+HCord=15.00m	SLE	1.80	308.18	239.29	SLU	1132.11	248.13	326.63
Hscavo=5.00m Lpalo+HCord=12.00m	SLE	1.80	218.90	186.28	SLU	625.68	186.28	238.79
Hscavo=5.00m Lpalo+HCord=12.00m	SLE	1.80	316.57	177.44	SLU	458.96	168.61	148.52
Hscavo=3.50m Lpalo+HCord=9.00m	SLE	1.80	111.19	142.10	SLU	286.70	133.27	121.14

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 63 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

#### 13.1.1.1 Verifica strutturali

Nel seguito vengono riportate le verifiche strutturali dei pali, per le verifiche geotecniche si rimanda al paragrafo specifico.

Di seguito si riportano le tabelle riepilogative delle armature previste e delle tensioni sui materiali.

Inoltre, per le verifiche dei pali di lunghezza pari a 18m e 9m si sono assunte le sollecitazioni massime, infatti per i pali innanzi detto sono stati studiati due modelli di calcolo, uno con la presenza della scarpata a monte e uno con la presenza della sede stradale, vedi i modelli di calcolo.

VERIFICA DEI PALI DELLA PARATIA					
Concio	Diametro Palo	Copriferro armatura a flessione (cm)	L gabbia (m)	Armature a flessione	Armatura a taglio
Hscavo=7.30m Lpalo+HCord=18.00m	φ 1500	8.5	12	28 φ 26 -1° strato	1 φ 12/20
Hscavo=6.00m Lpalo+HCord=15.00m	φ 1500	8.5	12	24 φ 20 -1° strato	1 φ 12/20
Hscavo=5.00m Lpalo+HCord=12.00m	φ 1500	8.5	12	24 φ 20 -1° strato	1 φ 12/20
Hscavo=3.50m Lpalo+HCord=9.00m	φ 1500	8.5	12	18 φ 20 -1° strato	1 φ 12/20

**Tabella riepilogativa delle armature dei Pali**

La seguente tabella riepiloga il massimo momento resistente della sezione calcolato.

Le verifiche di resistenza delle armature e le verifiche a taglio dei pali sono state effettuate col codice di calcolo automatico "RC-SEC ver. 2022 della GEOSTRU", per le verifiche a taglio della soletta e vordoli si è utilizzato un foglio di calcolo in EXCEL:

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 64 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

#### VERIFICHE ALLO STATO LIMITE UTLIMO

VERIFICA DEI PALI DELLA PARATIA							
RISULTATI PRINCIPALI SLU	Med (kNm)	Ned (kN)	Ted (kN)	MRd (kNm)	NRd (kN)	TRd (kN)	Fs
Hscavo=7.30m Lpalo+HCord=18.00m	1785.62	309.98	403.06	<b>3672</b>	309.98	<b>1302.13</b>	0.49
Hscavo=6.00m Lpalo+HCord=15.00m	1132.11	248.13	326.63	<b>2030.25</b>	248.13	<b>1365.9</b>	0.56
Hscavo=5.00m Lpalo+HCord=12.00m	625.68	186.28	238.79	<b>1995.08</b>	186.28	<b>1367.72</b>	0.31
Hscavo=3.50m Lpalo+HCord=9.00m	286.70	133.27	121.14	<b>1525.13</b>	133.27	<b>1395.73</b>	0.19

La seguente tabella riepiloga le massime tensioni e fessure calcolate:

VERIFICA DEI PALI DELLA PARATIA									
RISULTATI PRINCIPALI SLE	Med (kNm)	Ned (kN)	Armature	$\sigma_c$ [Mpa]		$\sigma_f$ [Mpa]		Wk [mm]	
Hscavo=7.30m Lpalo+HCord=18.00m	714.53	309.98	28 f 26 -1° strato --	3.34	<0.45*fck=14.94	93.8	<0.8*fyk=313.04	0.188	<0.20
Hscavo=6.00m Lpalo+HCord=15.00m	308.18	239.29	24 f 20 -1° strato --	1.91	<0.45*fck=14.94	58.35	<0.8*fyk=313.04	0.155	<0.20
Hscavo=5.00m Lpalo+HCord=12.00m	316.57	186.28	24 f 20 -1° strato --	2.03	<0.45*fck=14.94	69.75	<0.8*fyk=313.04	0.19	<0.20
Hscavo=3.50m Lpalo+HCord=9.00m	111.19	142.10	18 f 20 -1° strato --	0.7	<0.45*fck=14.94	17.03	<0.8*fyk=313.04	0.054	<0.20

Dalle tabelle sovrastante risulta che il tasso di sfruttamento dei momenti ( $M_{Sd} / M_{Rd}$ ) risulta sempre inferiore a 1.

Inoltre, essendo il tasso di sfruttamento dei tagli ( $V_{Sd} / V_{Rd}$ ) sempre inferiore a 0.5, si può trascurare l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione.

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

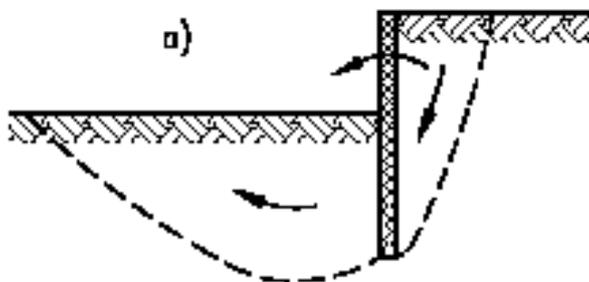
Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 65 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

## 14. VERIFICHE DI STABILITÀ

### 14.1 VERIFICA DELLA PROFONDITÀ D'INFISSIONE

La profondità d'infissione della paratia nel terreno è stata definita in modo da assicurare un idoneo incastro nei confronti delle spinte orizzontali.

Nel calcolo dell'opera effettuato agli Stati Limite Ultimi, l'avvenuta convergenza del calcolo all'ultimo step di calcolo già garantisce di per sé la stabilità dell'opera nei riguardi della deformazione rotazionale della paratia (v. fig 11.1):



**Figura 11.1:** Stato limite di rottura per rotazione di paratie

Si riporta qui di seguito il valore del rapporto:

Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva, in termini di percentuale con riferimento agli steps di calcolo più gravosi e alla combinazione A2+M2+R1 in statica e SISMA GEO in condizione dinamica:

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 66 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

#### 14.1.2 Verifiche GEO delle spinte a valle della paratia

##### a) CALCOLO PARATIA CON HSCAVO = 5.00 M – L = 12.00 M

#### Combinazione statica

Nella figura seguente è riportato il riepilogo delle spinte per entrambi i lati della paratia secondo Approccio 1 – Combinazione 2.

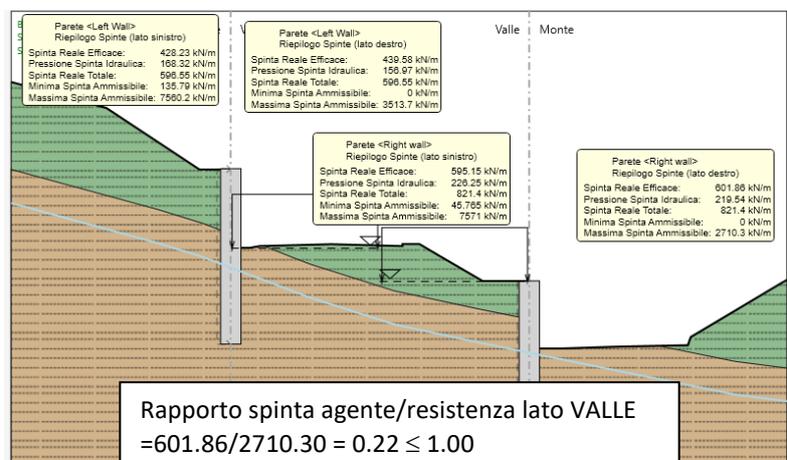


Figura.3: Spinta mobilitata ed ammissibile – Combinazione statica.

#### Combinazione sismica

Nella figura seguente è riportato il riepilogo delle spinte per entrambi i lati della paratia secondo Approccio 1 – Combinazione 2.

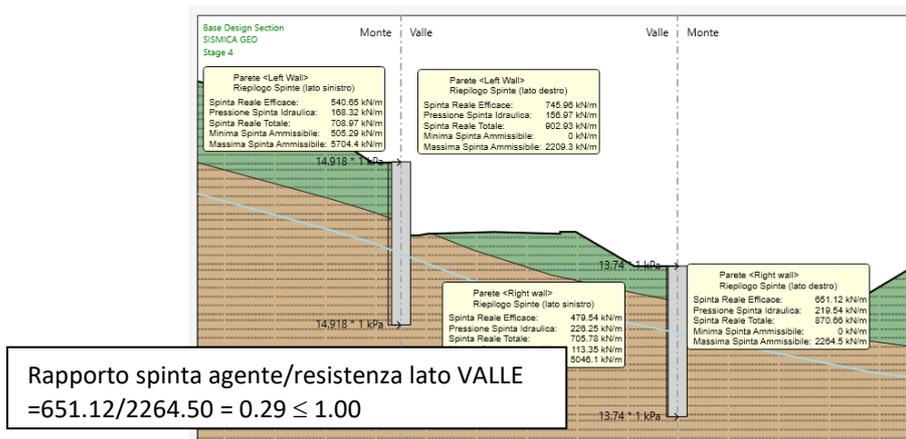


Figura.4: Spinta mobilitata ed ammissibile – Combinazione sismica.

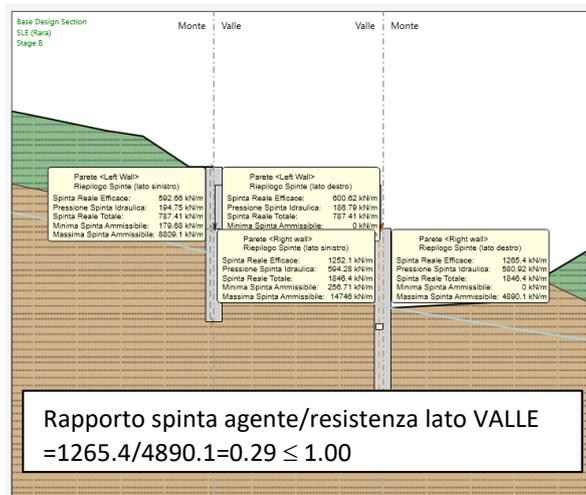
Il valore della percentuale è sempre inferiore o uguale a 100%, pertanto l'immorsamento della paratia scelto garantisce una idonea sicurezza nei confronti dello stato limite di rottura considerato.

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 67 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

**b) CALCOLO PARATIA CON HSCAVO = 7.30 M – L = 18.00 M**

**Combinazione statica**

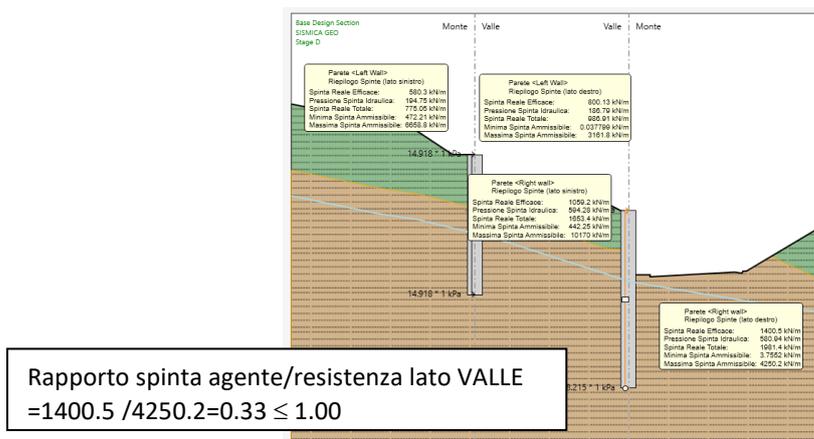
Nella figura seguente è riportato il riepilogo delle spinte per entrambi i lati della paratia secondo Approccio 1 – Combinazione 2.



**Figura.5: Spinta mobilitata ed ammissibile – Combinazione statica.**

**Combinazione sismica**

Nella figura seguente è riportato il riepilogo delle spinte per entrambi i lati della paratia secondo Approccio 1 – Combinazione 2.



**Figura.6: Spinta mobilitata ed ammissibile – Combinazione sismica.**

Il valore della percentuale è sempre inferiore o uguale a 100%, pertanto l'immorsamento della paratia scelto garantisce una idonea sicurezza nei confronti dello stato limite di rottura considerato.

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 68 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

#### c) CALCOLO PARATIA CON HSCAVO = 7.50 M – L = 18.00 M

#### Combinazione statica

Nella figura seguente è riportato il riepilogo delle spinte per entrambi i lati della paratia secondo Approccio 1 – Combinazione 2.

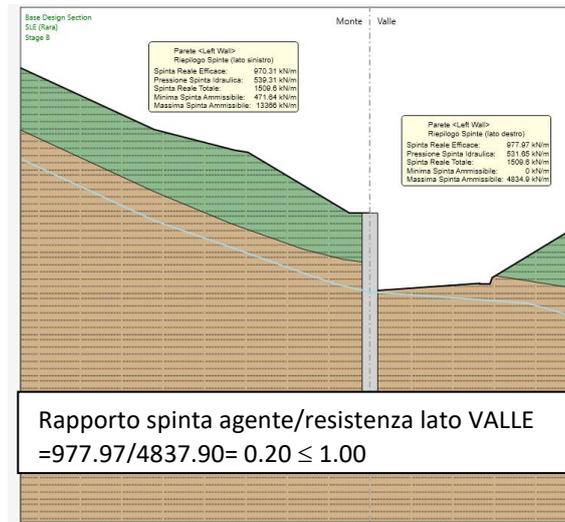


Figura.7: Spinta mobilitata ed ammissibile – Combinazione statica.

#### Combinazione sismica

Nella figura seguente è riportato il riepilogo delle spinte per entrambi i lati della paratia secondo Approccio 1 – Combinazione 2.

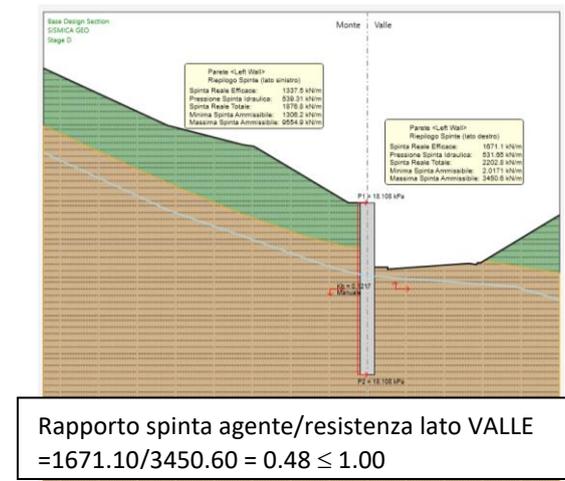


Figura.8: Spinta mobilitata ed ammissibile – Combinazione sismica.

Il valore della percentuale è sempre inferiore o uguale a 100%, pertanto l'immorsamento della paratia scelto garantisce una idonea sicurezza nei confronti dello stato limite di rottura considerato.

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 69 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

#### d) CALCOLO PARATIA CON HSCAVO = 6.00 M – L = 15.00 M

#### Combinazione statica

Nella figura seguente è riportato il riepilogo delle spinte per entrambi i lati della paratia secondo Approccio 1 – Combinazione 2.

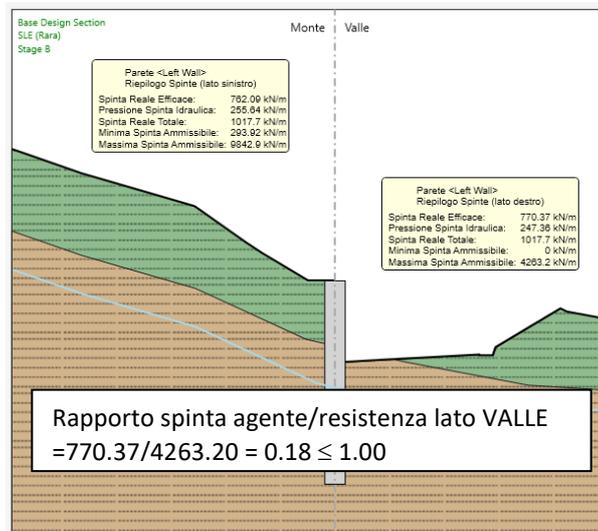


Figura.9: Spinta mobilitata ed ammissibile – Combinazione statica.

#### Combinazione sismica

Nella figura seguente è riportato il riepilogo delle spinte per entrambi i lati della paratia secondo Approccio 1 – Combinazione 2.

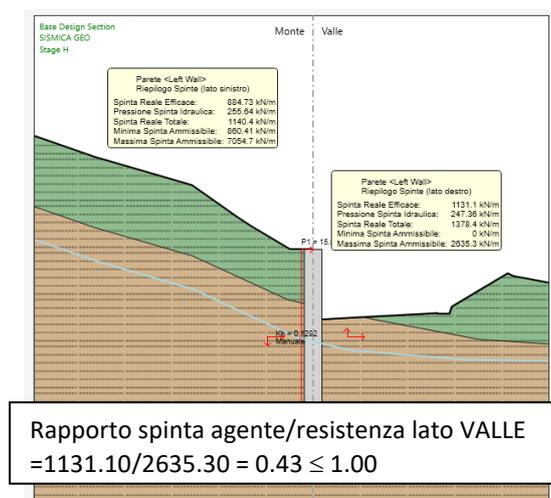


Figura.10: Spinta mobilitata ed ammissibile – Combinazione sismica.

Il valore della percentuale è sempre inferiore o uguale a 100%, pertanto l'immorsamento della paratia scelto garantisce una idonea sicurezza nei confronti dello stato limite di rottura considerato.

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 70 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

#### e) CALCOLO PARATIA CON HSCA VO = 5.00 M – L = 12.00 M

#### Combinazione statica

Nella figura seguente è riportato il riepilogo delle spinte per entrambi i lati della paratia secondo Approccio 1 – Combinazione 2.

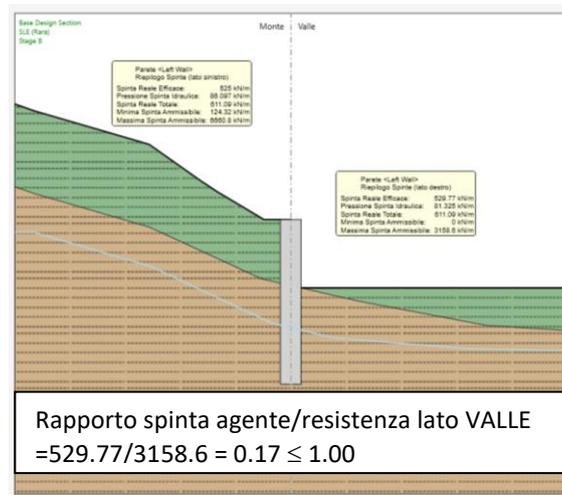


Figura.11: Spinta mobilitata ed ammissibile – Combinazione statica.

#### Combinazione sismica

Nella figura seguente è riportato il riepilogo delle spinte per entrambi i lati della paratia secondo Approccio 1 – Combinazione 2.

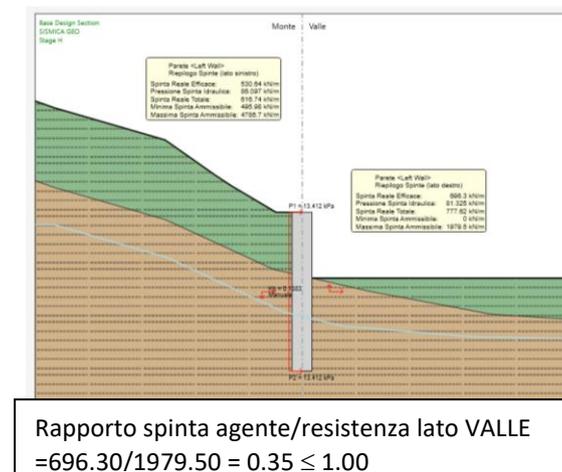


Figura.12: Spinta mobilitata ed ammissibile – Combinazione sismica.

Il valore della percentuale è sempre inferiore o uguale a 100%, pertanto l'immorsamento della paratia scelto garantisce una idonea sicurezza nei confronti dello stato limite di rottura considerato.

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 71 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

#### a) CALCOLO PARATIA CON HSCAVO = 3.50 M – L = 9.00 M

#### Combinazione statica

Nella figura seguente è riportato il riepilogo delle spinte per entrambi i lati della paratia secondo Approccio 1 – Combinazione 2.

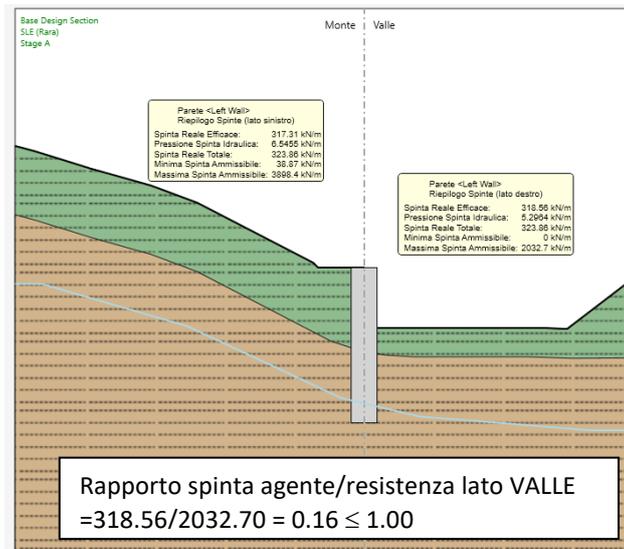


Figura.13: Spinta mobilitata ed ammissibile – Combinazione statica.

#### Combinazione sismica

Nella figura seguente è riportato il riepilogo delle spinte per entrambi i lati della paratia secondo Approccio 1 – Combinazione 2.

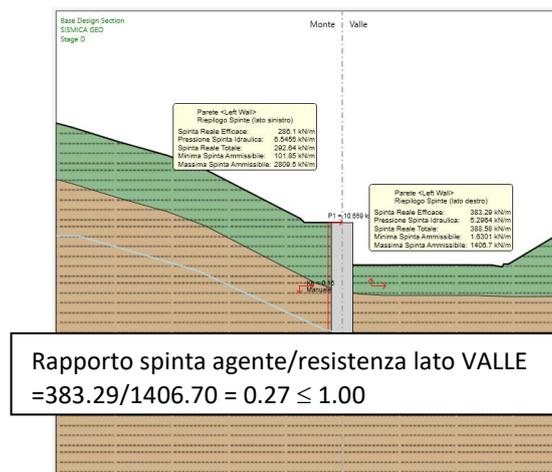


Figura.14: Spinta mobilitata ed ammissibile – Combinazione sismica.

Il valore della percentuale è sempre inferiore o uguale a 100%, pertanto l'immorsamento della paratia scelto garantisce una idonea sicurezza nei confronti dello stato limite di rottura considerato.

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 72 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

## 14.2 VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE DELLA PARATIA

Al fine di verificare l'adeguatezza dell'intervento progettato in relazione alle condizioni di stabilità generale del versante interessato dalla berlinese, sono state eseguite delle verifiche di stabilità globale del pendio e dello scavo a monte dell'opera in esame per mezzo del codice di calcolo automatico MICROSTABL.

Di seguito si riportano le analisi eseguite in corrispondenza della sezione più critica.

### 14.2.1 Stabilità globale - modello geotecnico

La sezione presa in esame (v. figura 11.2) è rappresentativa dell'intera paratia e rappresenta la sezione trasversale con la massima altezza di scavo.

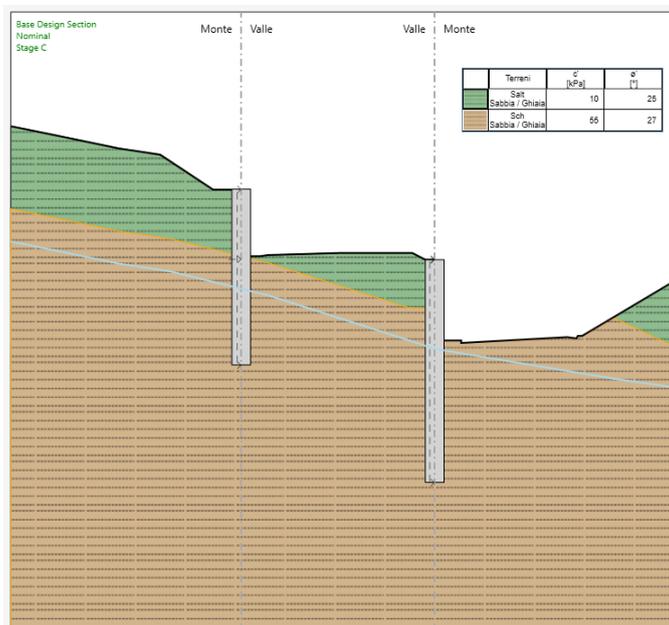


Figura 11.2 - Sezione 1 - Geometria del modello con doppia paratia.

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 73 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

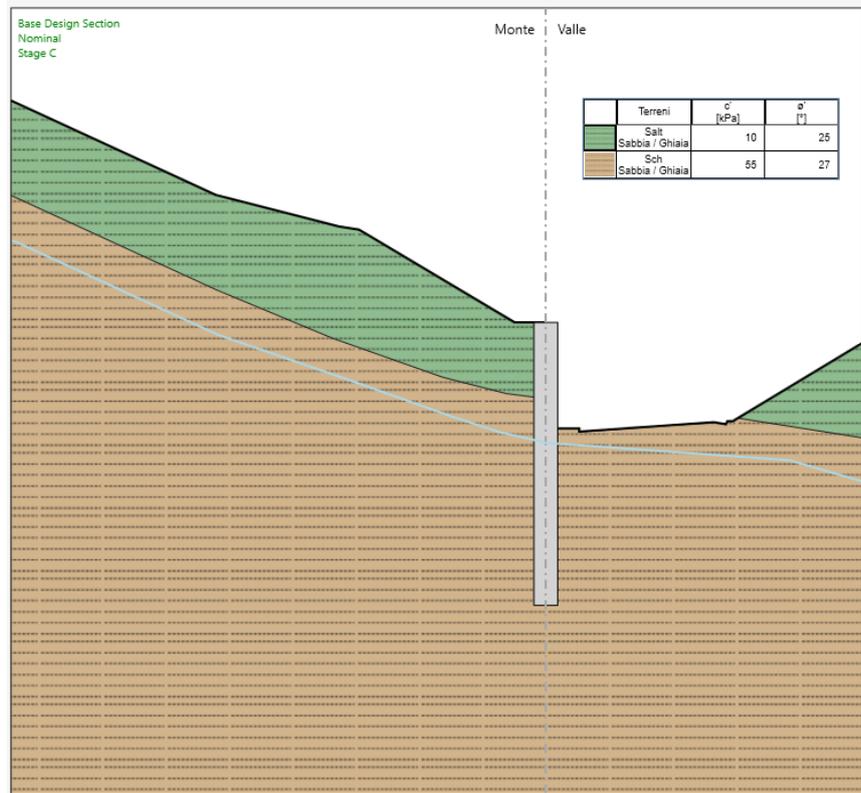


Figura 11.2 - Sezione 1 - Geometria del modello tipologico con altezza di scavo massima.

Per i parametri geotecnici adottati nei calcoli di stabilità si rimanda al capitolo 5.

La verifica di stabilità globale viene effettuata con la stratigrafia più critica e qui di seguito riportata:

LITOTIPO		POTENZA	$\gamma$	$c'$	$\phi'$	$E_{vc}$	$E_{ur}$
		m	kN/m <sup>3</sup>	kPa	°	MPa	MPa
Unità Salt – Substrato alterato argilloso limoso	Salt	2.50	20	10	25	35	55
Unità Scc – Scaglia cinerea	Scc	In poi	22	55	27	130	210

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 74 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

#### 14.2.2 Stati limite di progetto

In accordo con la normativa vigente, le verifiche di stabilità sia in condizioni statiche che sismiche sono state effettuate con l'Approccio 1- Combinazione 2: A2+M2+R2 tenendo conto dei vari coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I.

La condizione di verifica  $E_d \leq R_d$  equivale ad avere un coefficiente di sicurezza in corrispondenza della superficie di scorrimento critica  $F_{min} \geq \gamma R$ :  $F = R_d/E_d \geq 1.1$

Per i valori dei coefficienti parziali adottati si rimanda alle tabelle 7.4.

##### 14.2.2.1 Ipotesi di calcolo

Per le verifiche di stabilità riportate nel seguito sono state assunte le seguenti ipotesi:

- Si è utilizzato il metodo di Bishop semplificato, con superfici di rottura circolari.
- Si è considerato il criterio di rottura di Mohr-Coulomb classico.
- Sono stati analizzati i meccanismi di rottura con superfici di scivolamento passanti per il piede della berlinese.

Per le azioni sismiche si è fatto riferimento ai seguenti valori di  $k_h$  e di  $k_v$ :

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot S \cdot a_g/g = 1 \cdot 0.28 \cdot 1.364 \cdot 0.220 = 0.084$$

$$k_v = 0.5 \cdot k_h = 0.5 \cdot 0.084 = 0.042$$

#### 14.2.3 Risultati delle analisi

I risultati delle analisi di stabilità svolte, per le sezioni di calcolo descritte e gli stati limite di progetto illustrati nel paragrafo precedente, sono riassunti qui di seguito. Nelle figure seguenti sono riportati il valore del minimo coefficiente di sicurezza del pendio e la corrispondente superficie critica.

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

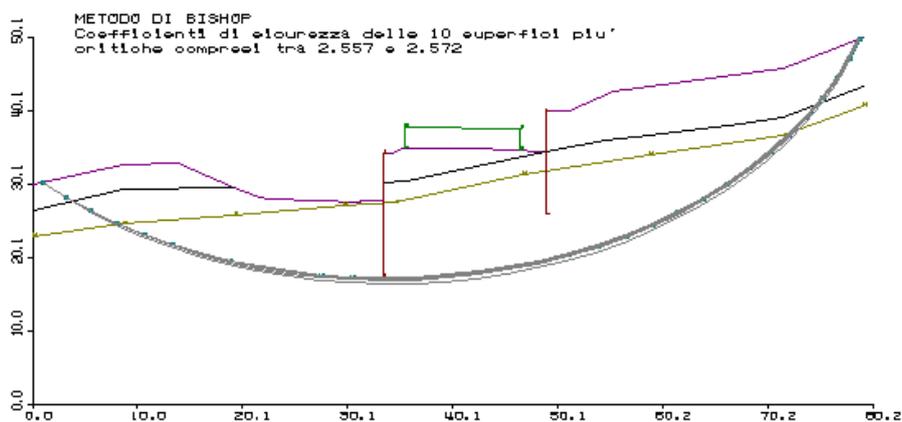
Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 75 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

#### 14.2.3.1 Sezione con doppia paratia

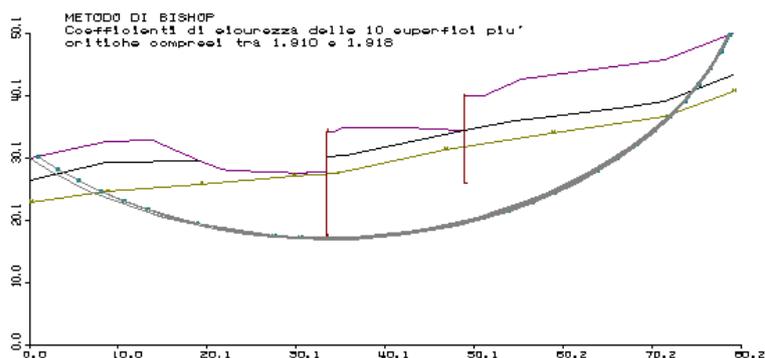
Per quanto riguarda lo stato limite ultimo ( $A_2+M_2+R_2$ ) si sono ottenuti i risultati illustrati in figura 11.3:



**Figura 11.3** - Sezione - Stato limite di progetto ( $A_2+M_2+R_2$ ) -  $FS_{min}=2.557$ .

Il coefficiente di sicurezza minimo è pari a 2.557.

Per quanto riguarda lo stato limite ultimo ( $SISMA_2+M_2+R_2$ ) si sono ottenuti i risultati illustrati in figura 11.4:



**Figura 11.4** - Sezione - Stato limite di progetto ( $SISMA_2+M_2+R_2$ ) -  $FS_{min}=1.910$ .

Il coefficiente di sicurezza minimo è pari a 1.910.

In tutti e due i casi analizzati il fattore di sicurezza nei confronti della stabilità globale del versante risulta soddisfacente.

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

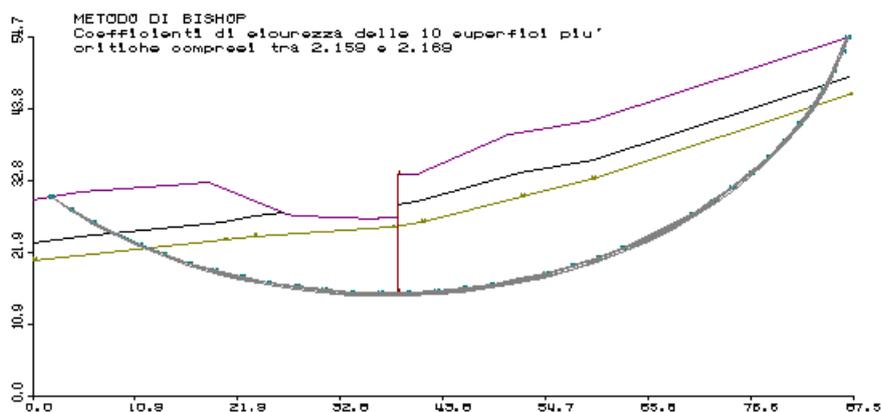
Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 76 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

#### 14.2.3.2 Sezione con altezza di scavo massima

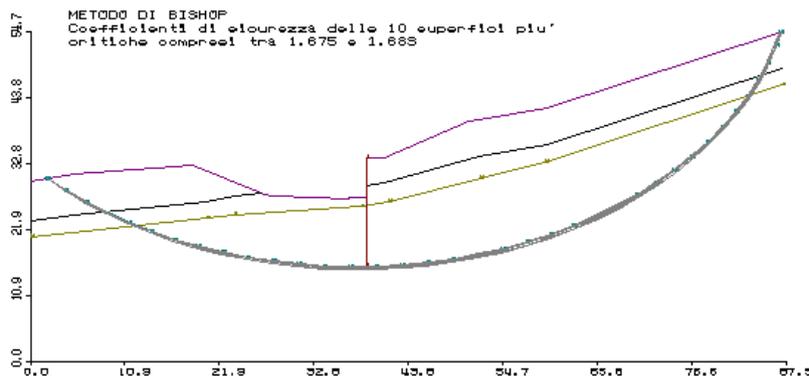
Per quanto riguarda lo stato limite ultimo ( $A_2+M_2+R_2$ ) si sono ottenuti i risultati illustrati in figura 11.3:



**Figura 11.3** - Sezione - Stato limite di progetto ( $A_2+M_2+R_2$ ) -  $FS_{min}=2.159$ .

Il coefficiente di sicurezza minimo è pari a 2.2.159.

Per quanto riguarda lo stato limite ultimo ( $SISMA_2+M_2+R_2$ ) si sono ottenuti i risultati illustrati in figura 11.4:



**Figura 11.4** - Sezione - Stato limite di progetto ( $SISMA_2+M_2+R_2$ ) -  $FS_{min}=1.675$ .

Il coefficiente di sicurezza minimo è pari a 1.675.

In tutti e due i casi analizzati il fattore di sicurezza nei confronti della stabilità globale del versante risulta soddisfacente.



### **2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

**3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud**

**4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia**

OPERE D'ARTE MINORI: SOTTOVIA

**Nuovo Sottovia "Deviazione strada località Pianello" al km 9+697**

- Relazione tecnica e di calcolo paratie di imbocco

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0006	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 77 di 77
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	-------------------	-----------	--------------------------

## **15. CONCLUSIONI**

Per le verifiche statiche della paratia sono state eseguite le necessarie verifiche strutturali e di stabilità, sia in condizioni statiche e sia in condizioni sismiche.

Le verifiche sono state svolte secondo i dettami del D.M. 14.01.2008: "Norme tecniche per le costruzioni".

Le verifiche strutturali e di stabilità hanno dimostrato l'adeguatezza dell'opera progettata, evidenziando risultati accettabili per quanto riguarda la stabilità globale dell'opera e le sollecitazioni negli elementi resistenti (micropali e tiranti), sia in condizioni statiche e sia in condizioni sismiche.