

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 – SFERZIA

PERIZIA DI VARIANTE

<p>CONTRAENTE GENERALE</p> 	<p>IL RESPONSABILE DEL CONTRAENTE GENERALE</p>	
<p>PROGETTAZIONE</p> <p>Partecipazioni Italia S.p.A.</p> <p>IL PROGETTISTA Dott. Ing. Salvatore Lieto Ordine degli Ingegneri Prov. di Mantova n.1147</p> <p>IL GEOLOGO Geol. Amedeo Babbini Ordine dei Geologi Regione Toscana n.1032</p>	<p>ASSISTENZA ALLA PROGETTAZIONE</p>  <p>IL PROGETTISTA Ing. Valter Capata</p>	
<p>VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</p> <p>Ing. Iginio Farotti</p>	<p>IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI ESECUZIONE</p> <p>Ing. Vincenzo Pardo</p>	<p>IL DIRETTORE DEI LAVORI</p> <p>Ing. Peppino Marascio</p>

<p>2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE</p> <p>3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud</p> <p>4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – Innesto S.S. 77 a Muccia</p> <p>OPERE D’ARTE MINORI</p> <p>Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006</p> <p>Relazione tecnica e di calcolo</p>	<p>SCALA:</p> <p>DATA:</p> <p>Luglio 2022</p>
---	---

Codice Unico di Progetto (CUP) F12C03000050021 (Assegnato CIPE 23-12-2015)

Codice Elaborato:	Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.
	L 0 7 0 3	2 1 3	E	1 6	M U 0 0 0 6	R E L	0 1	D

REV.	DATA	DESCRIZIONE	Redatto		Controllato	Approvato
A	Settembre 2020	Emissione PE	Progin	M. Tartaglia	S.Lieto	A.Grimaldi
B	Maggio 2021	Emissione PED	SGS	C.Agostini	V. Capata	S.Lieto
C	Gennaio 2022	Emissione a seguito istrutoria ANAS del 22.12.2021	SGS	C.Agostini	V. Capata	S.Lieto

	D	Luglio 2022	Emissione a seguito istruttoria ANAS del 18.07.2022	SGS	C.Agostini	V.Capata	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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.di Pag. 3 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

INDICE

1. GENERALITÀ	5
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
2.1 DOCUMENTI DI PROGETTO	6
2.2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO	6
2.3 SOFTWARE	6
3. DESCRIZIONE DELL' OPERA	7
4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	12
4.1 CALCESTRUZZO PER PALI E CORDOLO	12
4.2 CALCESTRUZZO PER MURI – PARAMENTO	12
4.3 ACCIAIO PER BARRE DI ARMATURA	13
4.4 TERRA RINFORZATA	13
5. MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO	15
5.1 LIVELLO DELLA FALDA	15
5.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	15
6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA	17
7. VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI	18
7.1 VERIFICHE GEOTECNICHE	18
7.1.1 STABILITA' GLOBALE	18
7.1.2 STABILITA' LOCALE	18
7.1.3 VERIFICA CAPACITA' PORTANTE PALI	18
7.2 VERIFICHE STRUTTURALI DELLE SEZIONI IN C.A.	20
7.2.1 STATO LIMITE ULTIMO	20
7.2.2 STATO LIMITE ESERCIZIO	21
7.3 VERIFICHE STRUTTURALI GEOGRIGLIE	21
8. STATI LIMITE E COMBINAZIONI DI CALCOLO	22
8.1 STATO LIMITE ULTIMO	22
8.2 STATO LIMITE ESERCIZIO	24
9. ANALISI DEI CARICHI	26
9.1 CARICHI PERMANENTI	26
9.2 CARICHI ACCIDENTALI	26
9.3 AZIONE SISMICA	26
10. ANALISI E VERIFICHE	30
10.1 SEZIONI DI CALCOLO	30
10.2 RISULTATI DELLE ANALISI: SEZIONE PARATIA	30
10.2.1 Sollecitazioni nella paratia	32
10.2.2 Verifica sulla spinta mobilitata al piede della paratia	33
10.2.3 Stima degli spostamenti della paratia	35
10.2.4 Stabilità globale	36

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	16	MU0006	REL	01	D	4 di 52

10.2.5	Verifica della capacità portante dei pali sottoposti alle azioni verticali.....	37
10.2.6	Verifiche strutturali.....	40
10.3	RISULTATI DELLE ANALISI: SEZIONE TERRA RINFORZATA	48
10.3.1	Stabilità locale.....	48
10.3.2	Verifiche strutturali geogriglie	48
10.3.3	Stabilità globale.....	49
11.	CONCLUSIONI.....	50
	APPENDICE A.....	51
	APPENDICE B.....	52

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.diPag. 5 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-----------------------

1. GENERALITÀ

Il presente documento costituisce la relazione di calcolo del Progetto Esecutivo di Dettaglio (PED) delle opere geotecniche di sostegno previste nell'ambito dei lavori di completamento dello stralcio funzionale 3° e 4° del tratto della Pedemontana delle Marche.

La redazione del Progetto Esecutivo di Dettaglio ha lo scopo di ottimizzare, laddove possibile, le opere geotecniche oggetto del Progetto Esecutivo. A tal fine, sono state prese a riferimento per la ottimizzazione le valutazioni e le caratterizzazioni idrogeologico, geotecniche e sismiche dei siti in esame presenti nel Progetto Esecutivo.

I calcoli e le verifiche di sicurezza sono stati effettuati in conformità alle norme NTC 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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.di Pag. 6 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Nella redazione del progetto esecutivo di dettaglio si è fatto riferimento ai seguenti documenti.

2.1 DOCUMENTI DI PROGETTO

- LO703213E02GE0000REL01C - Relazione geologica, geomorfologica e geoidrologica generale
- LO703213E02GE0001REL01D - Relazione geotecnica generale sulle opere all'aperto
- LO703212E04000000REL01C - Relazione sismica
- LO703213E02GE0000PRF02C – Profilo geologico
- LO703213E02GE0001PRF02D – Profilo geotecnico
- LO703213E16OS0000REL01B – Relazione tecnica e di calcolo opere di sostegno in terra rinforzata

2.2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Nella redazione del progetto esecutivo si è fatto riferimento ai seguenti documenti normativi.

- D.M. 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni" (NTC08).
- 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 EN1990 EUROCODICE 0 – Criteri generali di progettazione strutturale.
- UNI EN1991 EUROCODICE 1 – Azioni sulle strutture
- UNI EN1992-1-1 EUROCODICE 2, parte 1-1 Progettazione delle strutture in calcestruzzo. Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1997-1. EUROCODICE 7, parte 1. Progettazione geotecnica. Parte 1: Regole generali
- UNI EN 1998-5. EUROCODICE 8, parte 5. Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

2.3 SOFTWARE

GeoStru 2021 - www.geostru.eu

RC-Sec (GeoStru – 2021) - www.geostru.eu

PARATIE PLUS – versione 2021 – Harpaceas – www.harpaceas.it

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.diPag. 7 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-----------------------

3. DESCRIZIONE DELL' OPERA

Le analisi e verifiche nel seguito esposte fanno riferimento all' opera di sostegno MU06 situata in SX dell'asse stradale e funzionale al contenimento in valle (sottoscarpa) del rilevato stradale da realizzare, dal km 1+931 al km 2+006, per uno sviluppo totale di circa 75m.

Nell'ambito del Progetto Esecutivo di Dettaglio (PED), l'ottimizzazione dell'opera in oggetto prevede opere di sostegno in terra rinforzata e muri in c.a. fondati su pali $\phi 1500/2.0m$ di lunghezza 8m.

I tratti di applicazione dei due tipi di intervento dipendono dall'altezza di progetto riferita al piede del rilevato stradale e dal p.c. attuale.

In particolare:

- 1) Da pk 1+933 a pk 1+950 sono predisposte opere in terra rinforzata a sostegno di un'altezza di contenimento al piede rilevato variabile tra 2.0m e 3.0m massimo;
- 2) Da pk 1+950 a pk 1+990.3 è previsto il muro in c.a. fondato su paratia di pali $\phi 1500/2.0m$ e lunghezza 8m strutturalmente connessi attraverso un cordolo in c.a. di testa

Alla progressiva km 1+980, sarà realizzato un collettore per il deflusso delle acque meteoriche che fungerà da bypass tra monte e valle. A tal fine è prevista un'asola sul muro per consentirne l'attraversamento.

In Figura 2, Figura 3 e Figura 4 sono rappresentate pianta, profilo e sezioni tipo dell'opera rispettivamente.

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	16	MU0006	REL	01	D	8 di 52

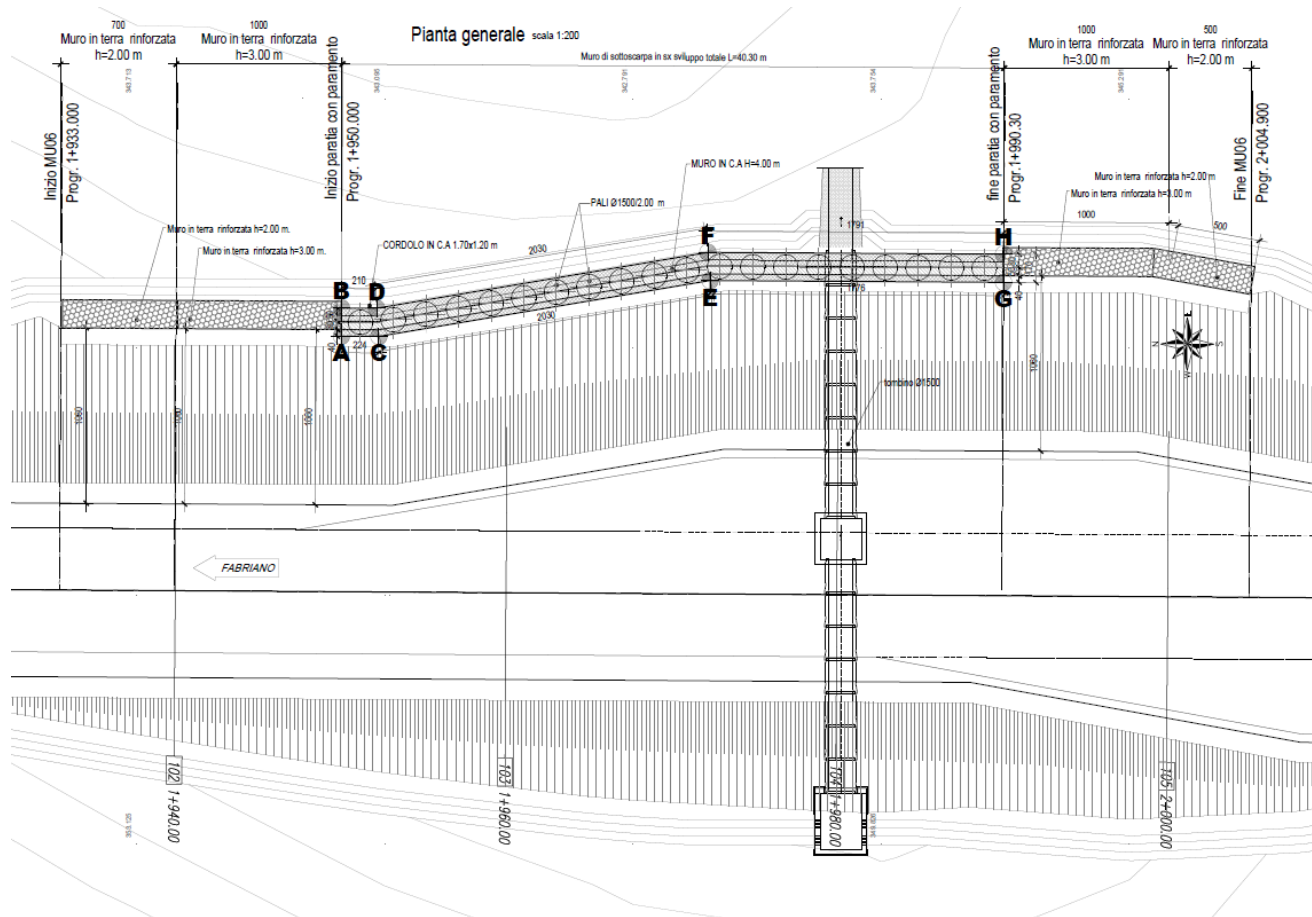


Figura 1 – Pianta della'opera di contenimento

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscampa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	16	MU0006	REL	01	D	9 di 52

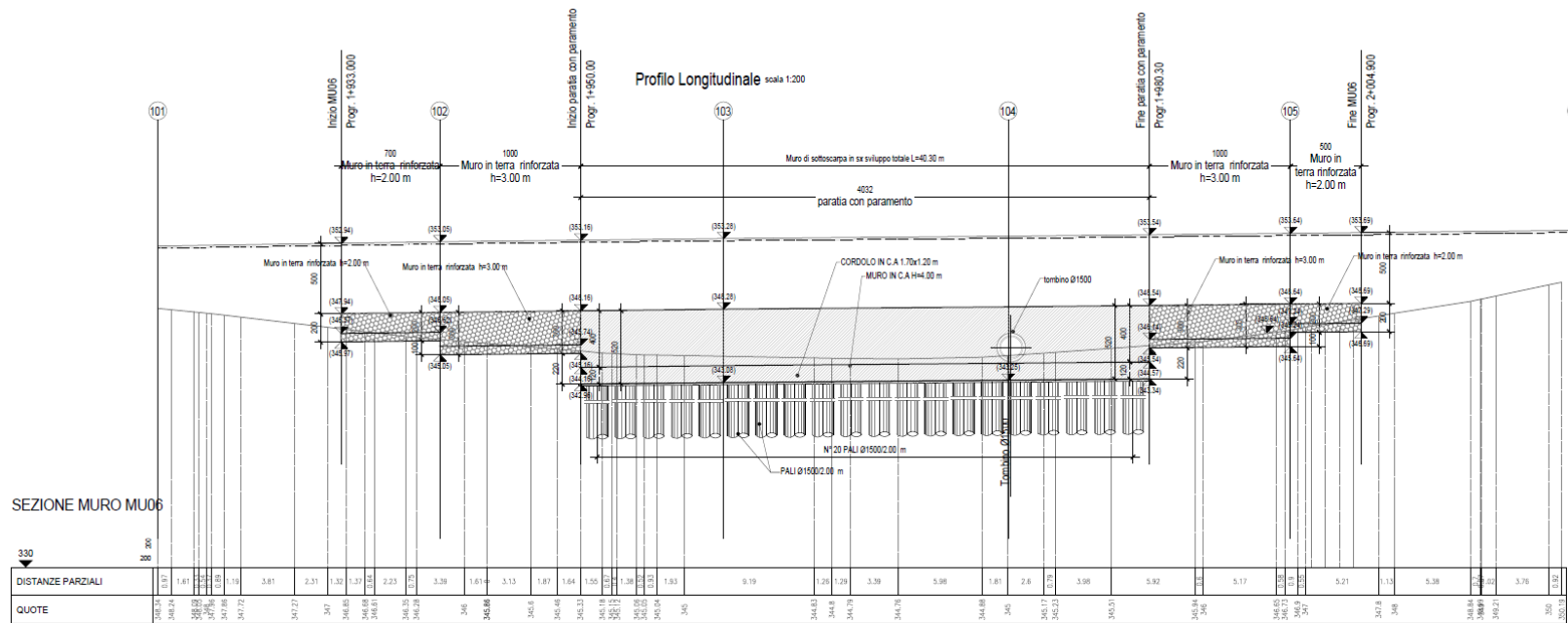


Figura 2 – Profilo longitudinale della'opera di contenimento

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	16	MU0006	REL	01	D	10 di 52

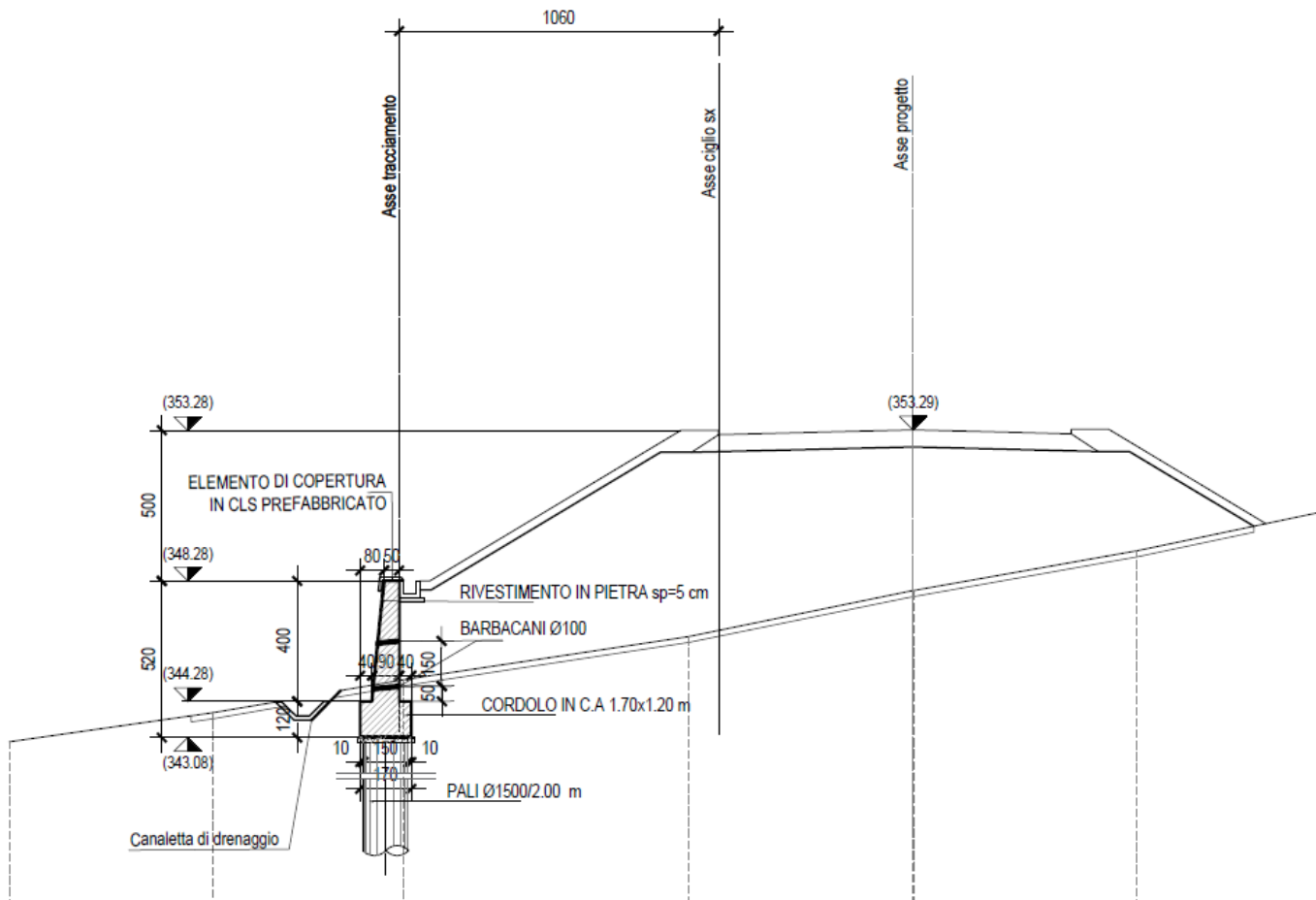


Figura 3 – Sezione tipo paratia

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	16	MU0006	REL	01	D	11 di 52

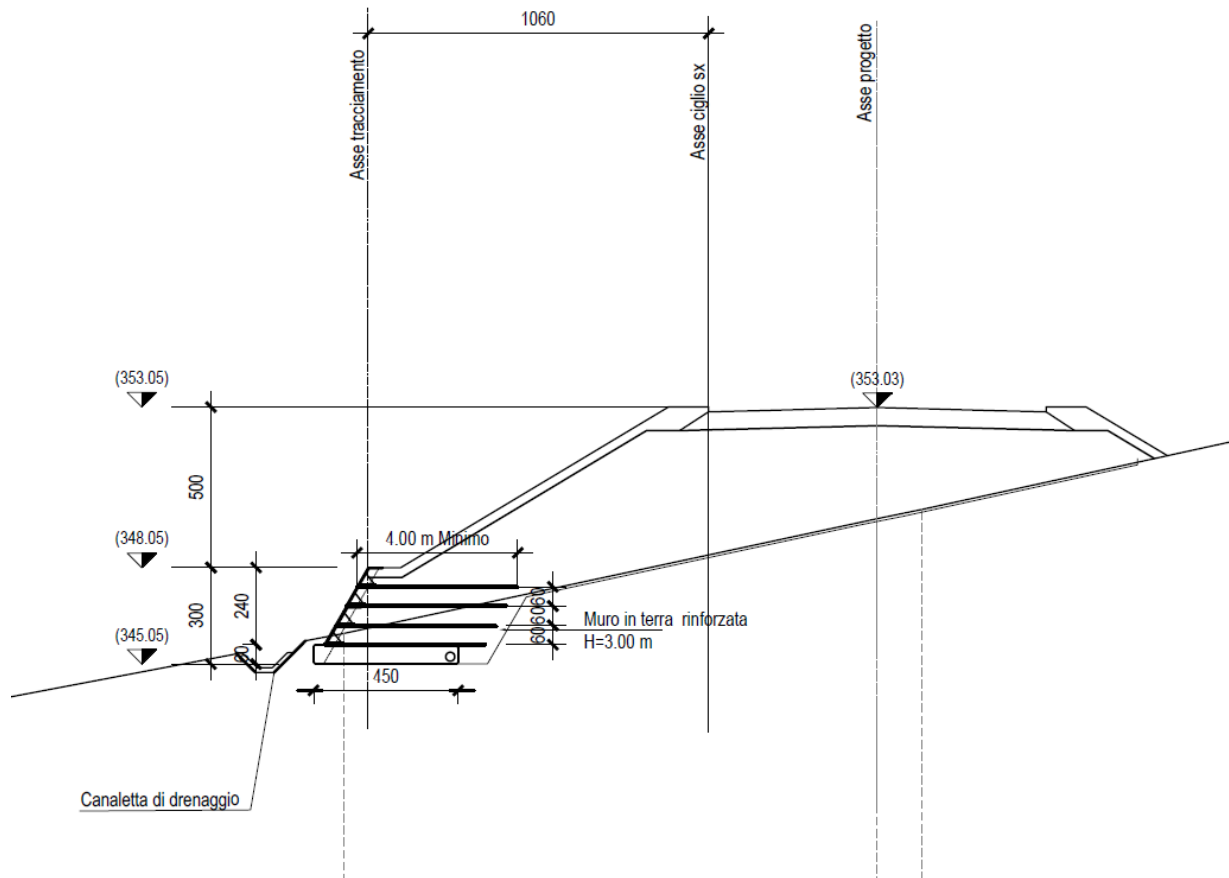


Figura 4 - Sezione tipo terra rinforzata

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	16	MU0006	REL	01	D	12 di 52

4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

4.1 CALCESTRUZZO PER PALI E CORDOLO

Per i getti in opera è stato considerato un calcestruzzo di classe C32/40 le cui proprietà meccaniche sono:

- Resistenza caratteristica cubica a compressione 28 gg: $R_{ck} = 40 \text{ Mpa}$
- Resistenza caratteristica cilindrica a compressione 28 gg $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 32 \text{ Mpa}$
- Resistenza media cilindrica a compressione: $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 40 \text{ Mpa}$
- Resistenza media a trazione semplice (assiale): $f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 3.02 \text{ Mpa}$
- Resistenza caratteristica corrispondente al frattile 5%: $f_{ctk,0.05} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.12 \text{ Mpa}$
- Modulo elastico $E_{cm} = 22 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3} = 33.35 \text{ GPa}$
- Rapporto massimo acqua/cemento: $A/C \leq 0.50$
- Classe di esposizione ambientale: $XA2$

I valori delle resistenze di progetto sono ottenuti applicando i seguenti fattori di sicurezza:

- Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo: $\gamma_c = 1.5$
- Coefficiente riduttivo per la resistenza di lunga durata: $\alpha_{cc} = 0.85$

Resistenza di progetto allo SLU

- Resistenza di calcolo a compressione: $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 18.1 \text{ MPa}$
- Resistenza di calcolo a trazione: $f_{ctd} = f_{ctk,0.05} / \gamma_c = 1.41 \text{ MPa}$

Resistenza di progetto allo SLE

- Tensione limite in comb. caratteristica (rara) $\sigma_{c,r} = 0.6 \cdot f_{ck} = 19.2 \text{ MPa}$
- Tensione limite in comb. quasi permanente $\sigma_{c,qp} = 0.45 \cdot f_{ck} = 14.4 \text{ MPa}$
- Tensione limite fessurazione (trazione) $\sigma_t = f_{ctm} / 1.2 = 2.52 \text{ MPa}$

4.2 CALCESTRUZZO PER MURI – PARAMENTO

Per i getti in opera è stato considerato un calcestruzzo di classe C25/30 le cui proprietà meccaniche sono:

- Resistenza caratteristica cubica a compressione 28 gg: $R_{ck} = 30 \text{ Mpa}$
- Resistenza caratteristica cilindrica a compressione 28 gg $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 24.9 \text{ MPa}$
- Resistenza media cilindrica a compressione: $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 32.9 \text{ MPa}$
- Resistenza media a trazione semplice (assiale): $f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.56 \text{ MPa}$
- Resistenza caratteristica corrispondente al frattile 5%: $f_{ctk,0.05} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 1.79 \text{ MPa}$
- Modulo elastico $E_{cm} = 22 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3} = 31.45 \text{ GPa}$
- Rapporto massimo acqua/cemento: $A/C \leq 0.50$
- Classe di esposizione ambientale: $XC2$

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.di Pag. 13 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

I valori delle resistenze di progetto sono ottenuti applicando i seguenti fattori di sicurezza:

- Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo: $\gamma_c = 1.5$
- Coefficiente riduttivo per la resistenza di lunga durata: $\alpha_{cc} = 0.85$

Resistenza di progetto allo SLU

- Resistenza di calcolo a compressione: $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 14.1 \text{ MPa}$
- Resistenza di calcolo a trazione: $f_{ctd} = f_{ctk,0.05} / \gamma_c = 1.19 \text{ MPa}$

Resistenza di progetto allo SLE

- Tensione limite in comb. caratteristica (rara) $\sigma_{c,r} = 0.6 \cdot f_{ck} = 14.9 \text{ MPa}$
- Tensione limite in comb. quasi permanente $\sigma_{c,qp} = 0.45 \cdot f_{ck} = 11.2 \text{ MPa}$
- Tensione limite fessurazione (trazione) $\sigma_t = f_{ctm} / 1.2 = 2.13 \text{ MPa}$

4.3 ACCIAIO PER BARRE DI ARMATURA

Per le barre di armatura è stato considerato un acciaio del tipo B450C, le cui caratteristiche di resistenza sono:

- Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
- Tensione caratteristica di rottura: $f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
- Rapporto $(f_t/f_y)_k$: $1.15 \leq (f_t/f_y)_k < 1.35$
- Limite sup. resistenza caratteristica di snervamento: $f_{yk}/(450\text{MPa}) \leq 1.25$
- Allungamento: $(A_{gt})_k \geq 7.5\%$

Il valore della resistenza di progetto è ottenuto applicando un fattore di sicurezza pari a:

- Coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio: $\gamma_s = 1.15$

Resistenza di progetto allo SLU

- Resistenza di calcolo dell'acciaio: $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 450 / 1.15 = 391 \text{ MPa}$

Resistenza di progetto allo SLE

- Tensione massima acciaio $\sigma_s = 0.8 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$

4.4 TERRA RINFORZATA

Per la realizzazione di muri in terra rinforzata è stato previsto di adottare la tipologia Terramesh Verde Light prodotta da Maccaferri.



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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.di Pag. 14 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

I Terramesh® Verde Light sono elementi utilizzati per costruire strutture in terra rinforzata con paramento rinverdibile realizzati in rete metallica a doppia torsione con maglia esagonale, tipo 8x10, tessuta con filo d'acciaio, con rivestimento PoliMac.

Gli elementi sono prodotti in conformità al CPR - Regolamento sui prodotti da Costruzione 305/2011 e alla ENB 10223-3, e presentano le caratteristiche di resistenza riportate di seguito:

- Resistenza a trazione nominale della rete 35kN/m

Per quanto riguarda il materiale costituente la terra rinforzata, si prevede l'utilizzo di un terreno caratterizzato da un peso dell'unità di volume $\gamma = 20 \text{ KN/mc}$ ed un angolo d'attrito $\varphi = 35^\circ$.

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.diPag. 15 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

5. MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

Nel presente paragrafo viene illustrato il modello geotecnico di riferimento per l'opera in esame basato sui risultati delle campagne geognostiche effettuate e sull'interpretazione geologica dell'area. Per i risultati ottenuti dalle prove in sito e in laboratorio e maggiori dettagli si rimanda alla Relazione Geotecnica Generale. In particolare, l'area in esame risulta caratterizzata dalla presenza di un deposito di terreni alluvionali antichi dello spessore di circa 12.0m sovrastanti il basamento roccioso di base costituito dalla Formazione di Camerino. Il materiale sciolto su cui insiste l'opera, classificato con l'unità geotecnica *Aate* è costituito prevalentemente da terreni a componente limoso-argillosa e sabbiosa che si presentano moderatamente consistenti. Sia le prove penetrometriche eseguite in sito, che i risultati delle prove di caratterizzazione fisico-meccanica ne testimoniano l'elevata eterogeneità.

Analizzando il profilo geologico geotecnico di progetto ed inquadrando il contesto stratigrafico dell'opera oggetto della presente relazione, è possibile dunque assumere come rappresentativa la seguente successione stratigrafica:

Tabella 1 - Stratigrafia di riferimento MU06

Unità geotecnica	Profondità dal piano campagna [m da p.c.]	Descrizione
Aate	0 ÷ 12.0	Depositi alluvionali antichi
Salt	12.0-14.0	Substrato alterato argilloso limoso/marnoso
Ap	>14.0	Substrato arenaceo-pelitico

5.1 LIVELLO DELLA FALDA

Nell'area in esame la falda è intestata a profondità variabili secondo quanto riportato nel profilo geotecnico LO703213E02GE0001PRF02D. Nelle analisi si assume cautelativamente un livello di falda prossima al livello minimo riscontrato e circa ad una profondità di 2 metri dal piano campagna.

5.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Ai fini del dimensionamento delle opere di sostegno sono stati considerati i parametri geotecnici riportati nella caratterizzazione presentata in relazione LO703213E02GE0001REL01D. In termini operativi sono stati adottati i valori caratteristici medi espressi all'interno dei range di progetto.

Tabella 2 - Parametri geotecnici terreno in sito

Unità	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]	E [MPa]	ν [-]
Aate	19	30	10	40	0.2
Salt	20	26	10	200	0.2
Ap	23	36	70	100	0.2

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.diPag. 16 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

Per il rinterro a tergo dei muri costituente il materiale di formazione del corpo del rilevato viene considerato un materiale granulare, per il quale vengono assunti i seguenti parametri caratteristici:

Tabella 3 –Parametri geotecnici rinterro

Unità	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]	E [MPa]
Rinterro	19	34	0	30

γ = peso dell'unità di volume

ϕ' = angolo di resistenza al taglio

c' = coesione drenata

E = modulo elastico

ν = Modulo poisson

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.di Pag. 17 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Per la caratterizzazione sismica del sito si rimanda alle considerazioni presenti nella relazione sismica (LO703213E04000000REL01D).

Di seguito si riportano i parametri di progetto adottati per le verifiche della stabilità dell'opera in caso di azione sismica.

Tabella 4 – Periodo di riferimento azione sismica

Vita nominale V_N	Classe d'uso	Coefficiente d'uso	Periodo di riferimento V_R
50	III	1.5	75

Tabella 5 - Accelerazione (a_g), fattore (F_0) e periodo (T^*c)

V_R [anni]	Stato Limite	PV_R -	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c [s]
75	SLO	81%	45	0.078	2.440	0.285
	SLD	63%	75	0.097	2.433	0.295
	SLV	10%	712	0.220	2.544	0.333
	SLC	5%	1462	0.277	2.584	0.343

Lo spettro di risposta elastico per la descrizione della componente orizzontale del moto sismico è infine costruito a partire dai parametri seguenti.

Tabella 6 – Caratterizzazione sito

Categoria di sottosuolo	Categoria topografica	S_s , fattore stratigrafico	S_t , fattore topografico
C	T1	1.364	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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	16	MU0006	REL	01	D	18 di 52

7. VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI

Di seguito si riassumono le verifiche condotte per la stabilità globale dell'opera in esame e le verifiche strutturali della paratia e delle terre rinforzate.

7.1 VERIFICHE GEOTECNICHE

7.1.1 STABILITA' GLOBALE

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terrapieno è condotta mediante l'ausilio del modulo di calcolo VSP all'interno del software Paratie Plus, nel caso delle paratie; mentre nel caso dei muri in terra rinforzata le verifiche di stabilità globale sono state condotte mediante l'ausilio del programma di calcolo SLOPE STABILITY ANALYSIS di Geostru.

Per la verifica si fa riferimento al metodo dell'equilibrio limite di Bishop con definizione della superficie critica attraverso il criterio della griglia e centri per la ricerca dei cerchi di scorrimento potenziale, o considerando gli intervalli di ingresso e di uscita di possibili superfici di scorrimento.

Per ulteriori approfondimenti teorici sul metodo di calcolo si rimanda all'allegato A.

7.1.2 STABILITA' LOCALE

Le verifiche di carattere geotecnico relative all'opera di sostegno con paratia e all'interazione con il terreno circostante sono condotte mediante l'ausilio del software di calcolo Paratie Plus.

Nel caso delle terre rinforzate, la verifica di stabilità dell'opera di sostegno è condotta mediante l'ausilio del modulo SLOPE/M.R.E. che fa parte del programma di calcolo SLOPE STABILITY ANALYSIS di Geostru. La stabilità di tale opera viene verificata nel suo insieme considerandola come un corpo rigido, e risulta assicurata quando è verificata la sicurezza a:

- Ribaltamento: rappresentato dalla possibile rotazione dell'opera rispetto al punto di valle.
- Scorrimento: dipende dalla possibilità che le forze parallele al piano di contatto tra fondazione e terreno siano superiori alle forze di attrito terreno-fondazione.
- Carico limite: si effettua confrontando la tensione normale massima sul piano di posa della fondazione con la tensione limite di rottura del terreno.

7.1.3 VERIFICA CAPACITA' PORTANTE PALI

Le verifiche di capacità portante dei pali vengono svolte secondo la metodologia degli stati limite ultimi, in accordo alla normativa vigente (DM 14/01/2008. "Norme tecniche per le costruzioni"). La verifica della capacità portante dei pali è soddisfatta se:

$$F_{cd} < R_{cd}$$

essendo

$$R_{cd} = R_k / \gamma_R$$

dove:

F_{cd} = carico assiale di compressione 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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.diPag. 19 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

Rcd = capacità portante di progetto nei confronti dei carichi assiali;

Rk = valore caratteristico della capacità portante limite del palo.

La portata di progetto di un palo trivellato (eseguito con completa asportazione del terreno) "Qd" può essere espressa dalla seguente relazione:

$$Q_d = \frac{Q_{ll}}{FSL} + \frac{Q_{bl}}{FSB} - W'p$$

dove:

Q_{ll} = portata laterale limite,

Q_{bl} = portata di base limite,

W'p = peso efficace del palo (al netto del peso del terreno asportato: peso calcestruzzo-peso terreno),

FSL = fattore di sicurezza per la portata laterale a compressione (=ξ₃ · Y_s).

FSB = fattore di sicurezza per la portata di base (=ξ₃ · Y_b).

Portata laterale

La portata laterale limite viene valutata con la seguente relazione:

$$Q_{ll} = \pi \cdot D \cdot \sum_i (\tau_i \cdot h_i)$$

dove:

D = diametro palo,

τ_i = tensione di adesione laterale limite nello strato i-esimo,

h_i = altezza dello strato i-esimo.

La tensione tangenziale ultima lungo il fusto del palo, in accordo ad esempio a Burland [1973], Reese & O'Neill [1988], Chen & Kulhawy [1994], O'Neill & Hassan [1994], può essere valutata con riferimento alla seguente espressione:

$$\tau_i = \beta \cdot \sigma_v' \leq \tau_{l,max}$$

dove:

σ_v' = tensione verticale efficace litostatica,

τ_{l,max} = valore massimo dell'adesione laterale limite palo-terreno (pari a 150 kPa per terreni incoerenti).

β = coefficiente empirico β = k · tan φ essendo

k = coefficiente di pressione laterale = 0.6 a compressione e 0.5 a trazione;

φ = angolo di resistenza al taglio.

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.di Pag. 20 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

Portata alla base

Per la valutazione della portata di base limite sono state utilizzate le seguenti relazioni:

$$Q_{Bl} = A_p \cdot q_{bl}$$

Dove:

A_p = area della base del palo,

q_{bl} = portata limite specifica di base.

La pressione di base del palo associabile a cedimenti pari al 10% del diametro del palo viene valutata con la relazione di Berezantzev (1965) indicata nelle Raccomandazioni AGI (1984):

$$q_{Bl} = N_q^* \cdot \sigma_v' + N_c \cdot c'$$

essendo:

N_q^* = coefficiente in funzione dell'angolo di resistenza al taglio del terreno (Raccomandazioni AGI, 1984) da calcolare considerando la correzione proposta da Kishida (1967) per pali trivellati

$$\varphi'_{calc} = \varphi'k - 3^\circ$$

σ_v' = tensione verticale efficace;

$q_{b,lim}$ = pressione ultima di base massima consigliabile.

7.1.4 VERIFICHE STATO LIMITE ESERCIZIO TERRE RINFORZATE

Nei riguardi degli SLE, in accordo a quanto specificato al paragrafo 6.5.3.2 del DM 14 -01-08 "Verifiche di esercizio" per muri di sostegno, la verifica dell'opera di sostegno nelle condizioni di esercizio, deve essere incentrata nel valutare la compatibilità degli spostamenti dell'opera stessa nei riguardi della funzionalità e stabilità di eventuali manufatti adiacenti.

Non si segnala la presenza di manufatti di particolare rilievo nelle immediate vicinanze delle opere in progetto, pertanto si ritiene non significativo procedere con verifiche degli spostamenti dell'opera stessa.

Le deformazioni massime attese sono da ritenersi comunque ampiamente compatibili nei riguardi degli aspetti funzionali dell'infrastruttura in progetto.

7.2 VERIFICHE STRUTTURALI DELLE SEZIONI IN C.A.

Le verifiche delle sezioni in c.a. dei pali della paratia sono state condotte per mezzo del codice RC-Sec (GeoStru – 2021). Le sollecitazioni sulla paratia sono ricavate, in condizioni SLE, SLU ed SLV, dal calcolo svolto con il codice Paratie plus.

7.2.1 STATO LIMITE ULTIMO

La determinazione della capacità resistente della sezione del palo viene effettuata con i criteri di cui al punto 4.1.2.3 delle NTC08 per le seguenti sollecitazioni:

- Pressoflessione (rif. formule al punto 4.1.2.1.2.4 delle NTC 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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.di Pag. 21 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

- Taglio per elementi con armature trasversali (rif. formule al punto 4.1.2.1.3 delle NTC 2008).

7.2.2 STATO LIMITE ESERCIZIO

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:

- Verifica delle tensioni nel calcestruzzo e acciaio sotto combinazione di carico quasi permanente e rara (ref. punto 4.1.2.2.4.1 delle NTC 2008)
- Verifica a fessurazione calcestruzzo sotto combinazione di carico frequente e combinazione quasi permanente (ref. punto 4.1.2.2.4.2 e Tab. 4.1.IV delle NTC 2008)

Condizioni Ambientali: Ordinarie

Armature: Poco Sensibili

$w < 0.2$ mm combinazione Quasi permanente

$w < 0.3$ mm combinazione frequente.

7.3 VERIFICHE STRUTTURALI GEOGRIGLIE

Le verifiche interne o strutturali delle geogriglie vengono condotte mediante l'ausilio del modulo SLOPE/M.R.E. che fa parte del programma di calcolo SLOPE STABILITY ANALYSIS di Geostru.

Le verifiche riguardano la capacità delle geogriglie a:

- Sfilamento
- Scorrimento
- Resistenza a trazione

Sia per lo sfilamento che per lo scorrimento vengono dimensionate le lunghezze efficaci tali da sviluppare delle forze di attrito tali da contrastare la forza di trazione indotta nei rinforzi, ciò viene effettuata garantendo un assegnato fattore di sicurezza.

La verifica della resistenza a trazione consiste nel dimensionare la sezione nel rinforzo in modo tale da avere delle tensioni indotte inferiori a quella ammissibile.

Per ulteriori approfondimenti teorici sul metodo di calcolo si rimanda al capitolo 5 della relazione tecnica e di calcolo di opere di sostegno in terra rinforzata (L0703213E16OS0000REL01B) e all'allegato A.

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.di Pag. 22 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

8. STATI LIMITE E COMBINAZIONI DI CALCOLO

8.1 STATO LIMITE ULTIMO

Per le opere in materiali sciolti, come i rilevati, devono essere effettuate le verifiche con riferimento almeno ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO) e di equilibrio di corpo rigido per la verifica della stabilità globale e locale dell'opera di sostegno

Per quanto riguarda l'opera di stabilizzazione, costituita da una paratia di pali, si effettuano le verifiche con riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo strutturale (STR) per il raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali

Secondo quanto riportato in normativa DM 14-01-2008, la verifica di stabilità globale dell'insieme terreno-opera deve essere effettuata secondo l'Approccio 1:

- Combinazione 2: $(A2+M2+R2)$

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo almeno uno dei seguenti approcci:

Approccio 1:

- Combinazione 1: $(A1+M1+R1)$
- Combinazione 2: $(A2+M2+R2)$ *

*Per la verifica di portanza dei pali alle azioni verticali la combinazione 2 diventa:

$$(A2+M1+R2)$$

come riportato nella Circolare del 02/02/2009. Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. del 14/01/2008

Approccio 2:

$$(A1+M1+R3)$$

Per le paratie si deve considerare il solo Approccio 1.

La resistenza di progetto a compressione $R_{c,d}$ è calcolata applicando al valore caratteristico della resistenza $R_{c,k}$ i coefficienti parziali γ_R riportati in tabella seguente, relativi alla condizione di pali trivellati. Il valore caratteristico della resistenza $R_{c,k}$ a compressione è ottenuto applicando i fattori di correlazione ξ_3 e ξ_4 (vedasi tabella seguente) alle resistenze di calcolo R_{cal} ; tali fattori sono funzione del numero di verticali d'indagine rappresentative.

Per ogni opera verrà assunto un coefficiente ξ_3 in funzione delle verticali di indagine eseguite. Nella tabella si riassumono i fattori di sicurezza assunti per ciascuna opera d'arte principale.

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.diPag. 23 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

In condizioni sismiche le verifiche di capacità portante dei pali agli stati limite ultimi (SLU) vanno condotte con riferimento all'Approccio 2 (A1+M1+R3), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nella successiva tabella e ponendo i coefficienti parziali sulle azioni tutti pari all'unità.

Tabella 7 Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ_b	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	γ_t	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

Tabella 8 Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali di indagine

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Lo stato limite di ribaltamento non prevede la mobilitazione della resistenza del terreno di fondazione e deve essere trattato come uno stato limite di equilibrio come corpo rigido (EQU), utilizzando i coefficienti parziali sulle azioni riportati in

Tabella 10 ed adoperando i coefficienti parziali del gruppo (M") per il calcolo delle spinte.

I coefficienti per le azioni A, per i parametri geotecnici M e per le resistenze R sono riassunti nelle seguenti tabelle.

Tabella 9 – Coefficienti parziali per le azioni SLU

Carichi tipo	Effetto	Coefficiente parziale	A1	A2
Permanenti G1	Favorevole	γ_{G1}	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.3	1.0
Permanenti non strutturali G2	Favorevole	γ_{G2}	0.8	0.8

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.di Pag. 24 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

	Sfavorevole		1.5	1.3
Variabili Q	Favorevole	γ_Q	0	0
	Sfavorevole		1.5	1.3

Tabella 10 – Coefficienti parziali per i parametri del terreno SLU

Carichi tipo	Coefficiente parziale	M1	M2
Tangente angolo resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	1.0	1.25
Coazione efficace	c'_k	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	1.0	1.4
Peso unità di volume	γ	1.0	1.0

Tabella 11 – Coefficienti parziali resistenza R2 verifiche di opere in materiali sciolti e fronti di scavo

Verifica	R2
Stabilità globale	$\gamma_R = 1.1$

Tabella 12 – Coefficienti parziali resistenza γ_R per le STR e GEO di muri di sostegno

Verifica	R1	R2	R3
Capacità portante fondazione	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.1$
Resistenza terreno valle	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.4$

In presenza di azioni sismiche, lo stato limite ultimo considerato comprende lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).

I coefficienti parziali sulle azioni e parametri geotecnici sono posti pari all'unità mentre i coefficienti parziali relativi alle resistenze risultano invariati rispetto a quelli considerati per le verifiche in condizioni statiche.

8.2 STATO LIMITE ESERCIZIO

Per le verifiche strutturali allo stato limite di esercizio seguenti coefficienti parziali per le azioni sono stati considerati:

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.diPag. 25 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

Tabella 13 – Coefficienti parziali per le azioni SLS Freq. e QP

Carichi tipo	Effetto	γ	ψ
Permanenti G1	Sfavorevole	1.0	-
Permanenti G2	Sfavorevole	1.0	-
Variabili Q	Sfavorevole	1.0	-

Tabella 14 – Coefficienti parziali per le azioni SLS Rara

Carichi tipo	Effetto	γ	ψ
Permanenti G1	Sfavorevole	1.0	-
Permanenti G2	Sfavorevole	1.0	-
Traffico Q	Sfavorevole	1.0	0.75

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.diPag. 26 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

9. ANALISI DEI CARICHI

9.1 CARICHI PERMANENTI

Per carichi permanenti si intendono le azioni associate ai pesi propri del palo, del terrapieno spingente e dell'acqua di falda, valutati in automatico dal Software di calcolo utilizzato.

9.2 CARICHI ACCIDENTALI

Lo schema di carico da traffico veicolare considerato nelle analisi è un carico trapezoidale variabile da 60 kPa a 20 kPa.

9.3 AZIONE SISMICA

Per la valutazione degli effetti dell'azione sismica sulle masse e sui coefficienti di spinta del terreno, si è fatto riferimento al metodo pseudo-statico previsto al punto 7.11.3.5.2 - "Metodi di Analisi" - delle NTC2008 secondo il quale, nelle verifiche allo stato limite ultimo, i valori dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v possono essere valutati mediante le seguenti espressioni:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

dove

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito

g = accelerazione di gravità.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$$

dove

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_s) e dell'amplificazione topografica (S_t).

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Di seguito sono riportati i valori di β_s e β_m considerati per i fronti di scavo (utilizzati nelle analisi globali), per i muri di sostegno, e per le paratie, in accordo a quanto indicato nella NTC2008.

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.diPag. 27 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

Tabella 15 – Coefficienti dell'accelerazione massima attesa al sito – Fronti di scavo e rilevati

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.3	0.28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.2	0.2

Tabella 16 – Coefficienti dell'accelerazione massima attesa al sito – Muri di sostegno

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_m	β_m
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.31	0.31
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.29	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.18

Nel caso delle paratie, le componenti orizzontale e verticale a_h e a_v dell'accelerazione equivalente devono essere ricavate in funzione delle proprietà del moto sismico atteso nel volume di terreno significativo per l'opera e della capacità dell'opera di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

Il valore di a_h può essere legato all'accelerazione di picco a_{max} atteso nel periodo di riferimento mediante la relazione:

$$a_h = k_h \times g = \alpha \beta a_{max}$$

dove g è l'accelerazione di gravità, k_h è il coefficiente sismico in direzione orizzontale, $\alpha < 1$ è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera e $\beta < 1$ è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza.

Per le paratie si può porre $a_v = 0$.

Il valore del coefficiente α può essere ricavato a partire dall'altezza complessiva H della paratia e dalla categoria di sottosuolo mentre il coefficiente β risulta funzione del massimo spostamento u_s che l'opera può subire, che deve risultare:

$$u_s \leq 0.005 H$$

H = lunghezza complessiva della 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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.diPag. 28 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

Entrambi i coefficienti sono espressi nei diagrammi riportati al cap. 7.11.6.3.2 delle NTC08 e di seguito esplicitati per il caso in oggetto.

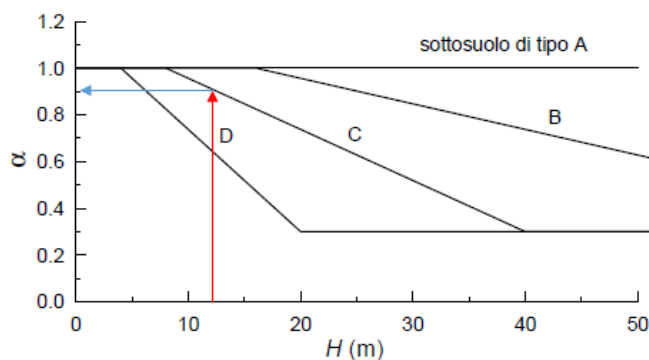


Figura 7.11.2 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α

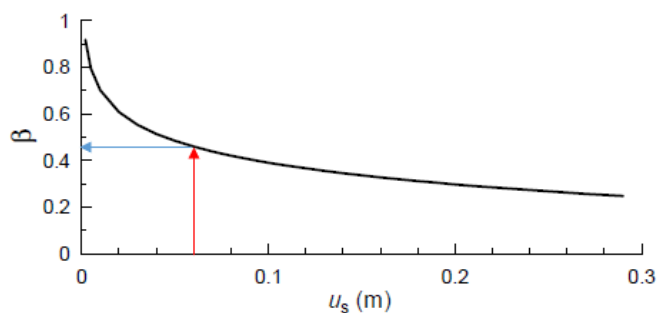


Figura 7.11.3 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β

I parametri di progetto dell'azione sismica considerati nell'analisi dell'opera oggetto della presente relazione sono riassunti nella tabella seguente.

Tabella 17 – Parametri progetto azione sismica equivalente – Fronti di scavo e rilevati

Ss	S _T	a _g	a _{max}	β	k _h	k _v
1.364	1.0	0.22g	0.30g	0.28	0.084	±0.042

Tabella 18 – Parametri progetto azione sismica equivalente – Muri di sostegno

Ss	S _T	a _g	a _{max}	β	k _h	k _v
1.364	1.0	0.22g	0.30g	0.31	0.09	±0.05



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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.di Pag. 29 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

Tabella 19 – Parametri progetto azione sismica equivalente – Paratie

Ss	S _T	a _g	a _{max}	k _h	α	β	K _h
1.364	1.0	0.22g	0.30g	0.15	0.92	0.55	0.152

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.di Pag. 30 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

10. ANALISI E VERIFICHE

Si riportano di seguito risultati delle analisi e verifiche per le sezioni di calcolo considerate.

10.1 SEZIONI DI CALCOLO

Sono state analizzate 2 sezioni di calcolo, una rappresentativa dei muri su paratia di pali nelle condizioni più sfavorevoli, e una relativa alla porzione con muro in terra rinforzata. Il riepilogo delle sezioni analizzate e le progressive di riferimento è riportato nella seguente tabella.

Tabella 20 - Sezioni di calcolo

ID muro	Sezione di calcolo	H contenimento lato valle [m]	pk
MU06	Paratia	4.0	1+980
MU06	Terra rinforzata	3.0	1+940

Di seguito sono sintetizzati i risultati delle analisi eseguite per le sezioni di calcolo analizzate.

Per il dettaglio delle analisi geotecniche e strutturali, fare riferimento agli ALLEGATI A e B rispettivamente.

10.2 RISULTATI DELLE ANALISI: SEZIONE PARATIA

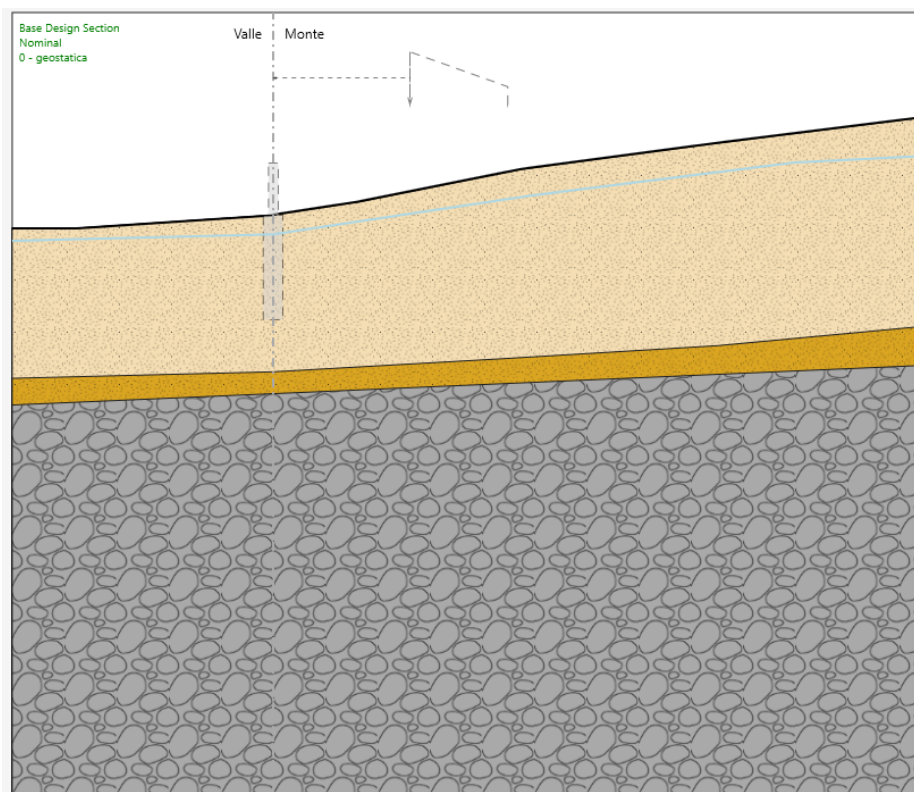


Figura 5– Modello di calcolo Paratie Plus – fase geostatica di inizializzazione degli sforzi

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.diPag.
L073	213	E	16	MU0006	REL	01	D	31 di 52

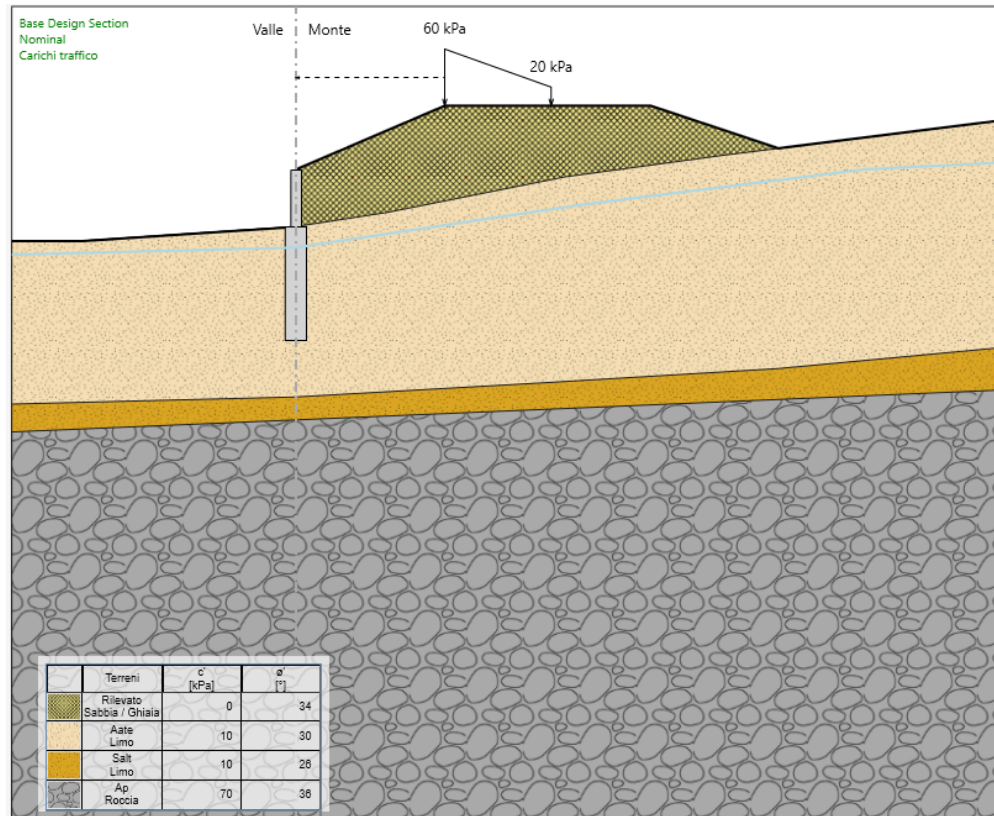


Figura 6– Modello di calcolo Paratie Plus

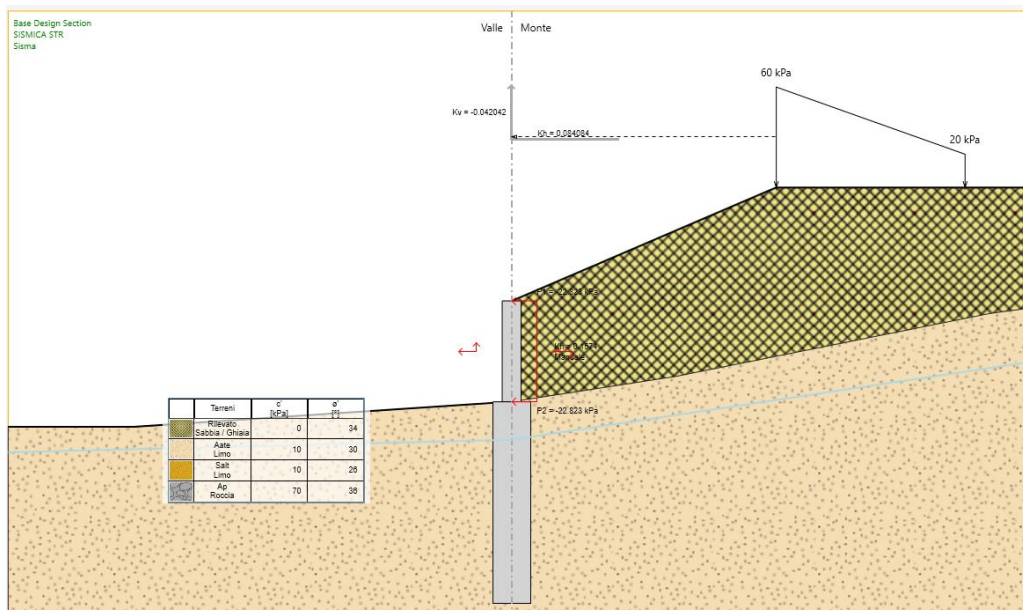


Figura 7– Modello di calcolo Paratie Plus – condizioni sismiche

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.diPag.
L073	213	E	16	MU0006	REL	01	D	32 di 52

10.2.1 Sollecitazioni nella paratia

Si presentano di seguito i risultati delle analisi per quanto riguarda le sollecitazioni nella paratia simulata con i pali nella parte infissa e dal paramento nella parte fuori terra. Le figure seguenti riportano una rappresentazione della sezione analizzata e le sollecitazioni nella paratia in SLU e SLV.

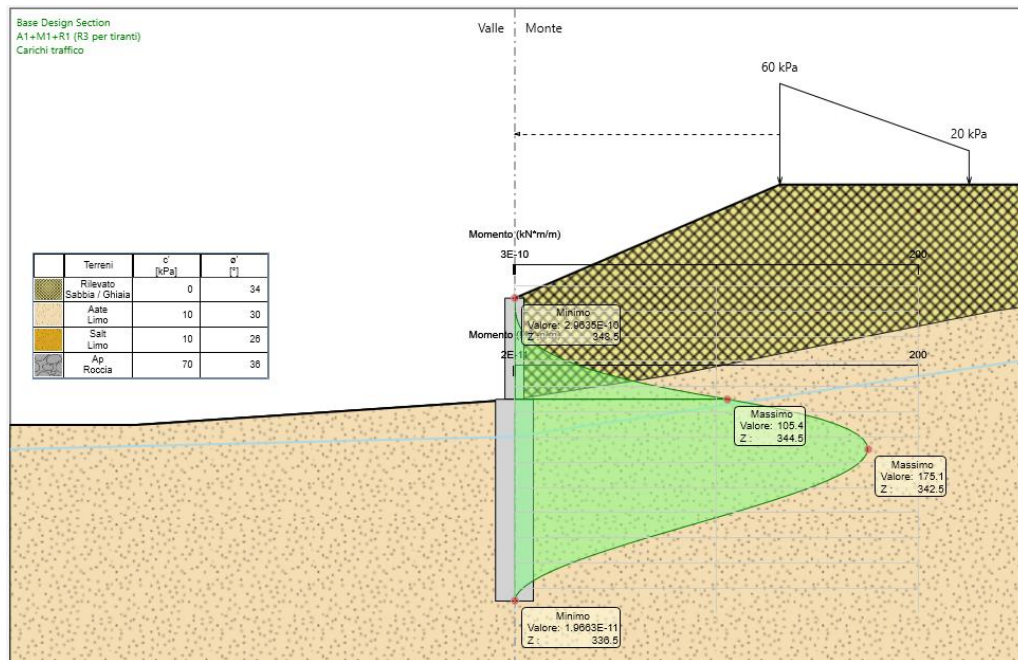


Figura 8 – Momento flettente nella paratia - configurazione finale (SLU)

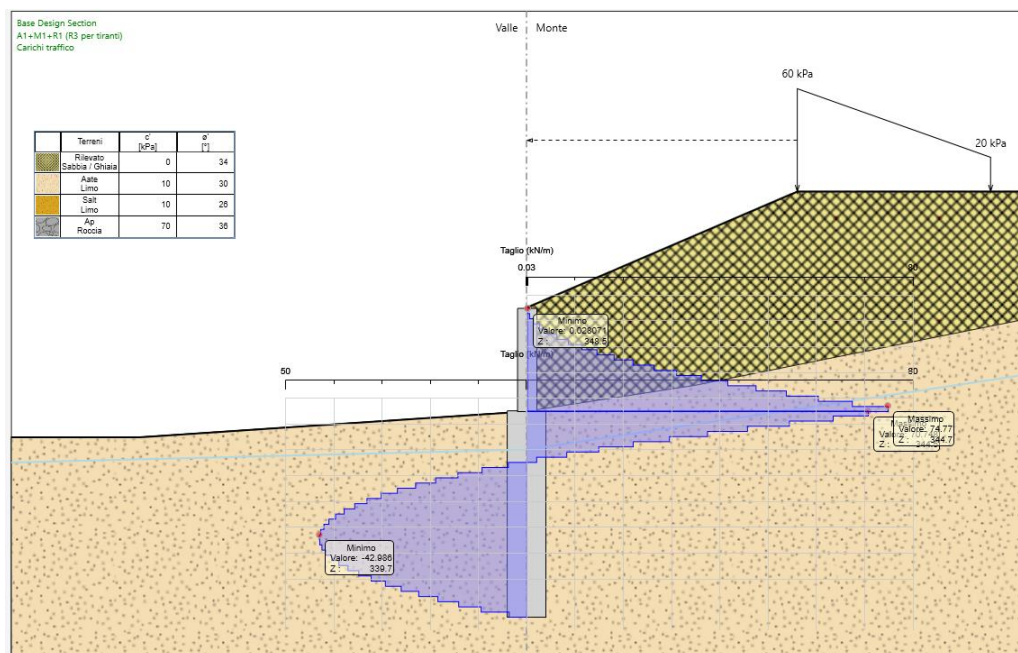


Figura 9 – Taglio nella paratia - configurazione finale (SLU)

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	16	MU0006	REL	01	D	33 di 52

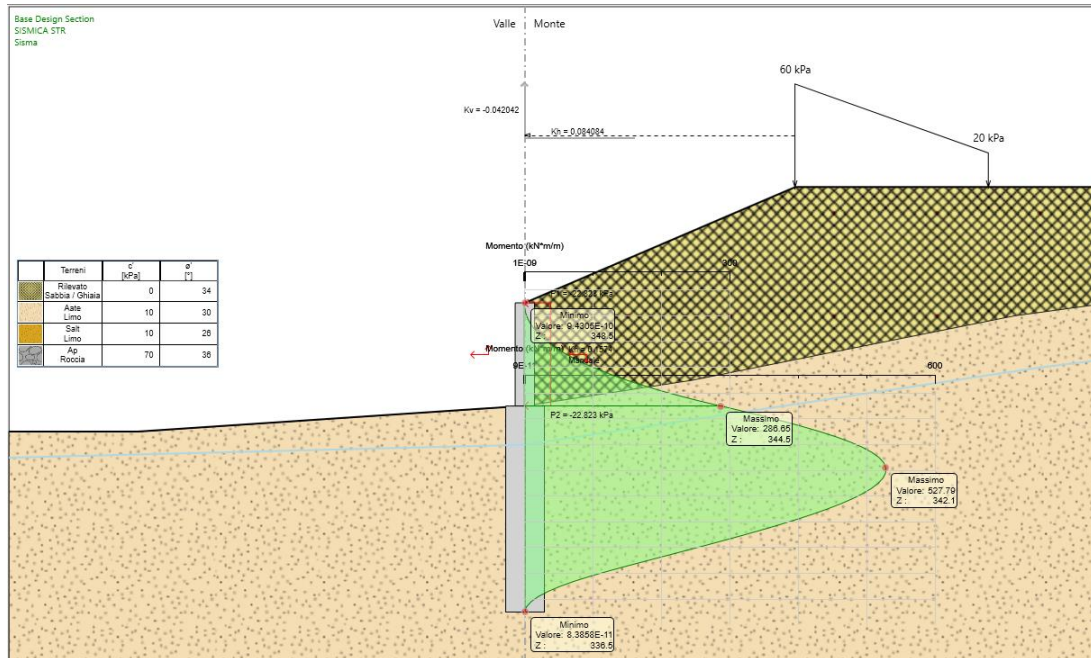


Figura 10– Momento flettente nella paratia - configurazione finale (SLV)

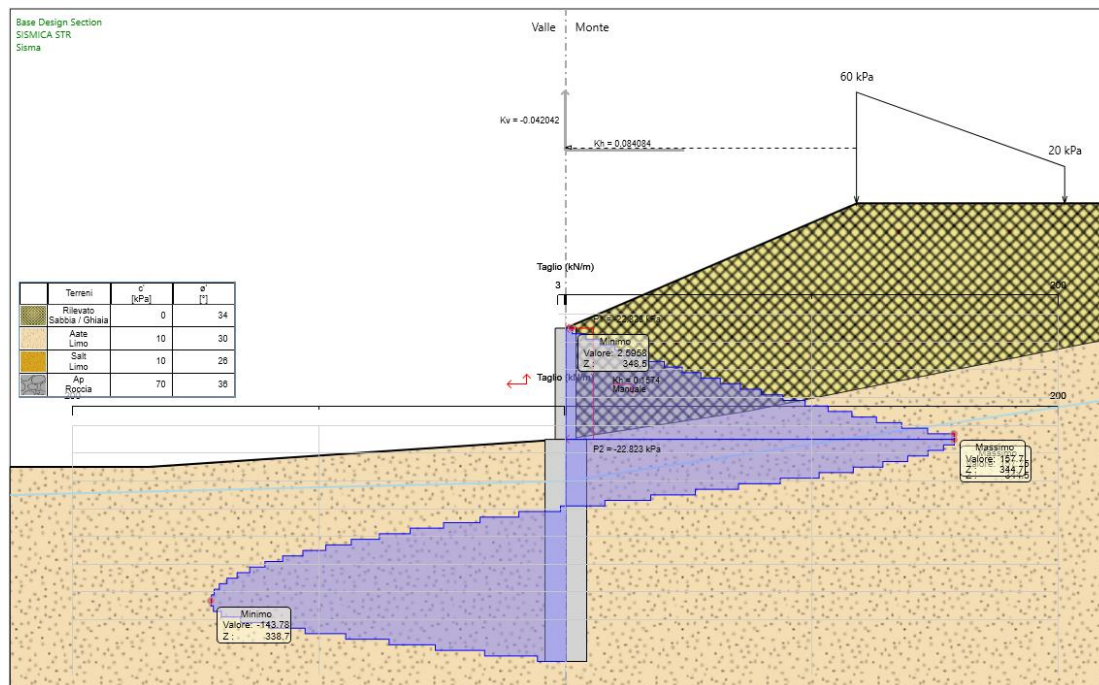


Figura 11– Taglio nella paratia - configurazione finale (SLV)

10.2.2 Verifica sulla spinta mobilitata al piede della paratia

È di seguito riportata la verifica sull'aliquota di spinta passiva mobilitata al piede della 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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.diPag.
L073	213	E	16	MU0006	REL	01	D	34 di 52

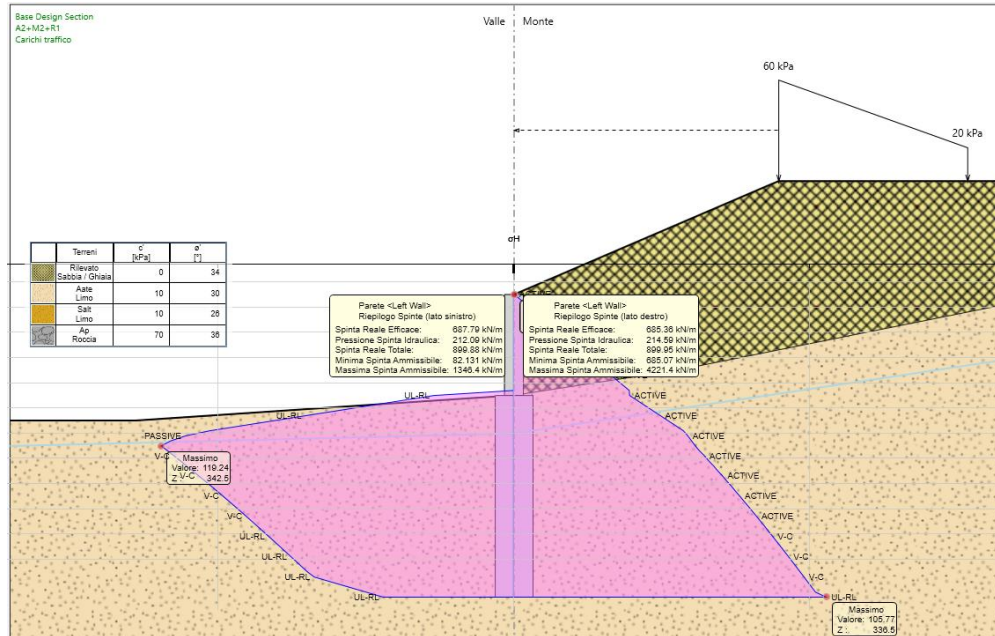


Figura 12 – Verifica sulla spinta mobilizzata al piede delle paratia - configurazione finale (SLU)

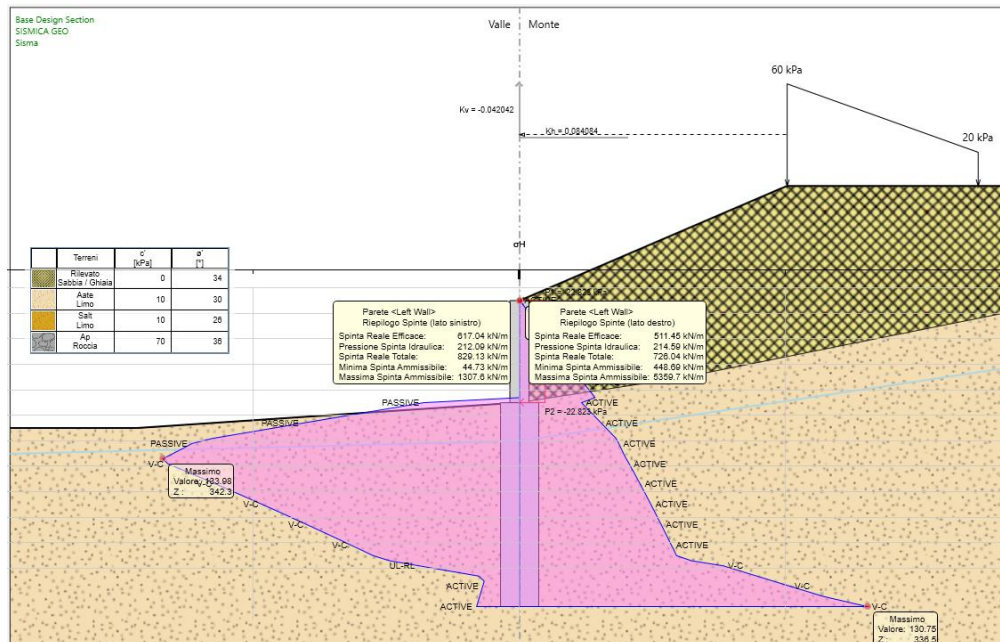


Figura 13– Verifica sulla spinta mobilizzata al piede delle paratia - configurazione finale (SLV)

Tabella 21 Mobilizzazione della spinta passiva al piede della paratia

	SLU (A2+M2+R1)	SLV (SISMICA GEO)
Rp (%)	51	47

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.diPag.
L073	213	E	16	MU0006	REL	01	D	35 di 52

10.2.3 Stima degli spostamenti della paratia

Nella seguente figura si riportano i grafici relativi agli spostamenti SLE nella configurazione finale in condizioni statiche.

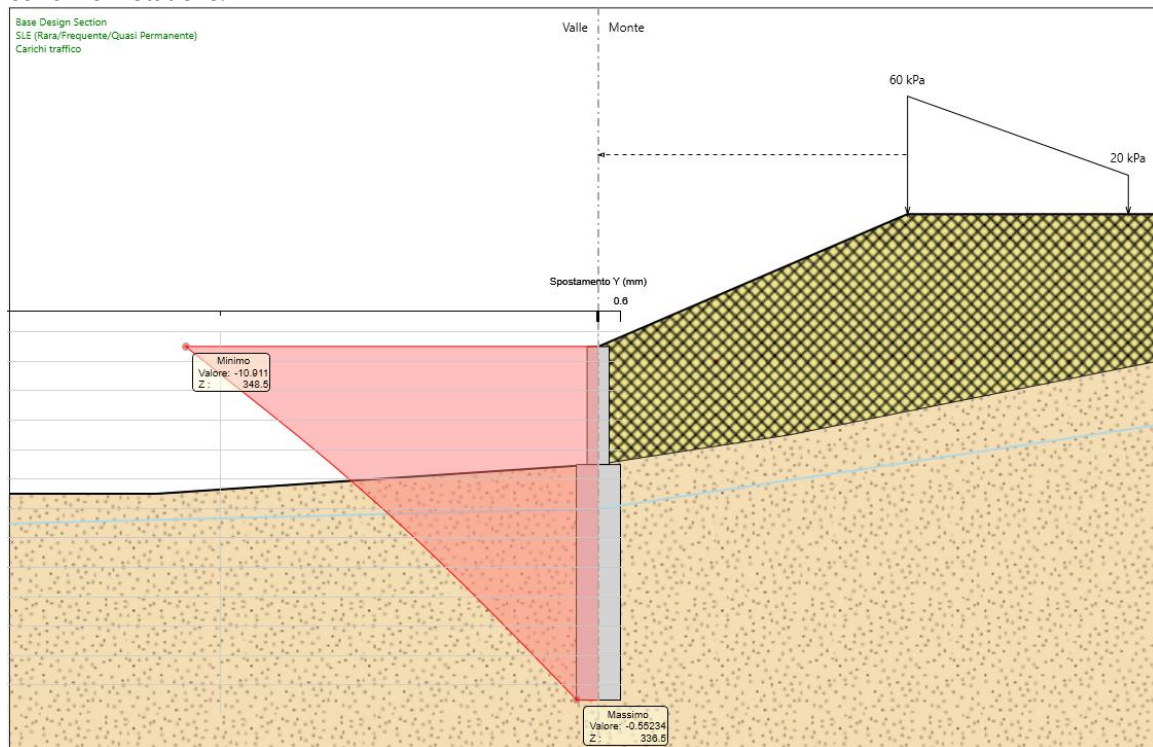


Figura 14 – Spostamenti della paratia – configurazione finale (SLE)

Gli spostamenti qui riportati sono a seguito del riempimento del rilevato e quindi da attendersi durante la fase costruttiva. Durante l'esercizio stradale non sono previsti ulteriori spostamenti orizzontali a tergo del paramento.

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	16	MU0006	REL	01	D	36 di 52

10.2.4 Stabilità globale

Nelle seguenti figure si riportano i risultati delle verifiche di stabilità globale per le condizioni statiche e sismiche.

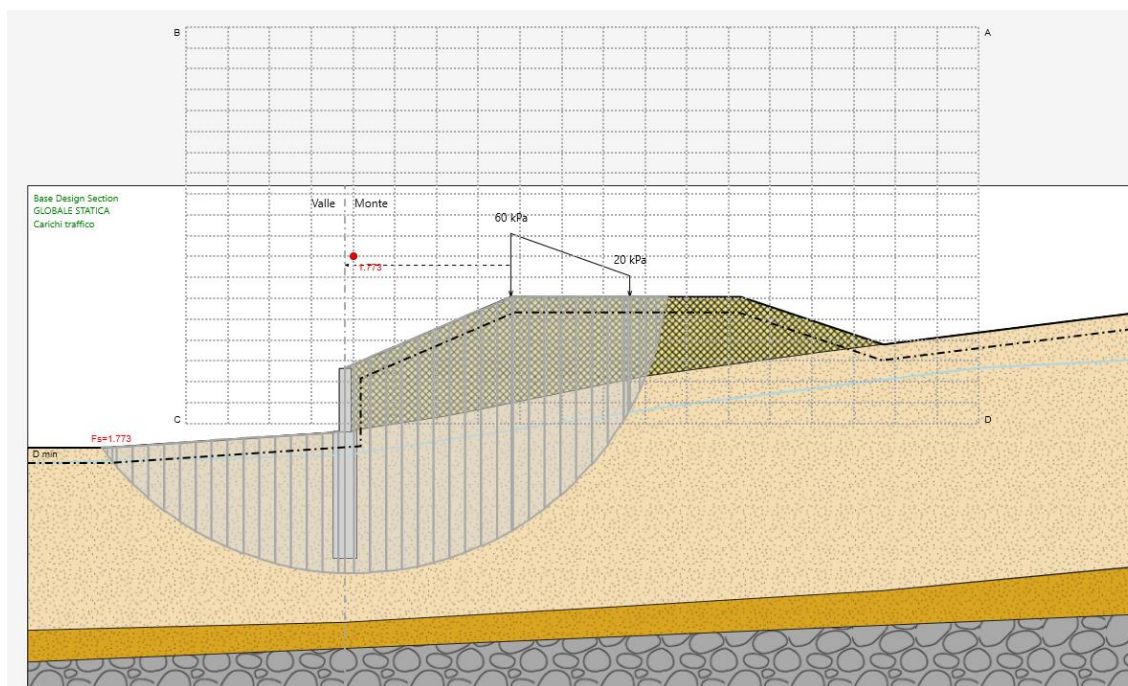


Figura 15 – Verifica di stabilità globale – configurazione finale (SLU)

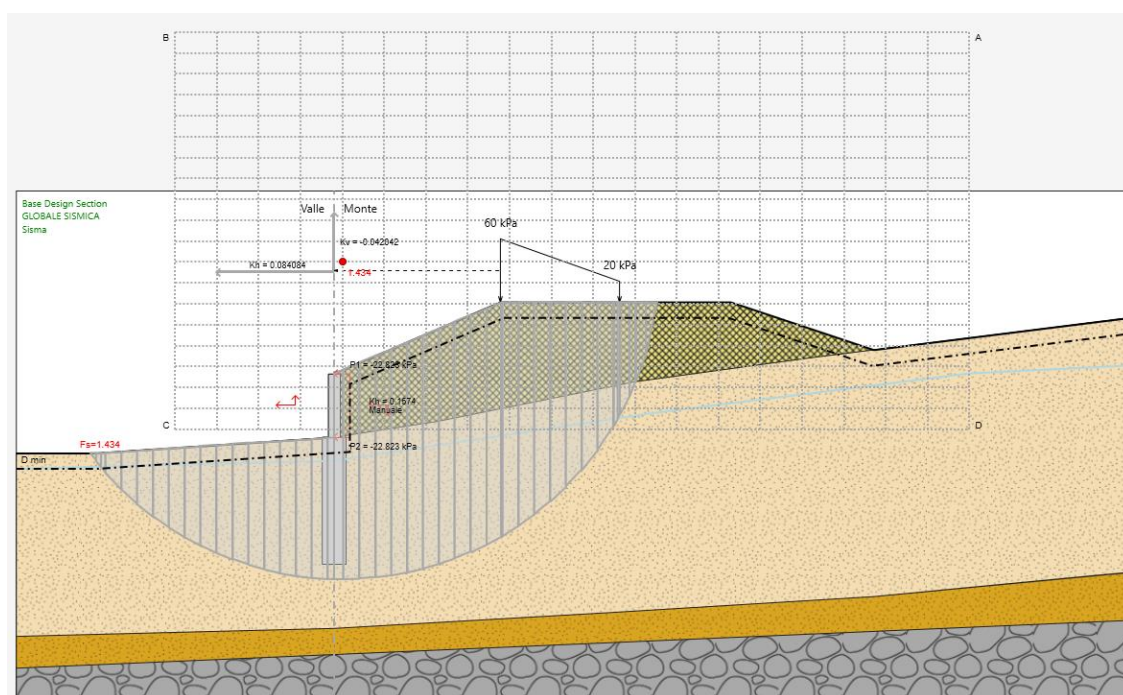


Figura 16 – Verifica di stabilità globale – configurazione finale (SLV)

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.diPag. 37 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

In entrambi i casi di analisi è stato ottenuto un coefficiente di sicurezza FS, relativo alla superficie di scorrimento più critica, superiore all'unità. Considerando il valore assunto per il coefficiente parziale di resistenza che riduce la resistenza disponibile del terreno, γ_R , pari a 1.1, secondo quanto prescritto dalla normativa considerata, le verifiche di sicurezza risultano essere soddisfatte.

10.2.5 Verifica della capacità portante dei pali sottoposti alle azioni verticali

I carichi verticali utilizzati per la verifica di capacità portante derivano esclusivamente dal peso proprio del paramento. Il calcolo è stato effettuato prendendo la geometria più grande lungo lo sviluppo del muro. In particolare:

$$N_{max} = W_{paramento} = \gamma \cdot \frac{(b + B) \cdot h}{2} = 25 \cdot \frac{(0.5 + 1) \cdot 5}{2}$$

$$N_{max} = (1 + k_v) \cdot W_{paramento} = (1 + 0.5 \cdot k_h) \cdot W_{paramento}$$

Tabella 22 Calcolo azioni verticali allo stato limite ultimo

N ULS (A1+M1+R2)	135 kN
N ULS (A2+M1+R2)	100 kN
N ULS SISM	106.5 kN

I parametri di calcolo della capacità portante dei pali vengono riportati nella seguente tabella:

Tabella 23 Parametri di calcolo della capacità portante

Approccio	Verticali indagate	ξ_3	γ_s	γ_b	F
DA1 (A1+M1+R1)	3	1.65	1.0	1.0	6.7
DA1 (A2+M1+R2)	3	1.65	1.45	1.7	5.2
DA2 SISM (A1+M1+R3)	3	1.65	1.15	1.35	5.9

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche di portanza:

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.diPag. 38 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

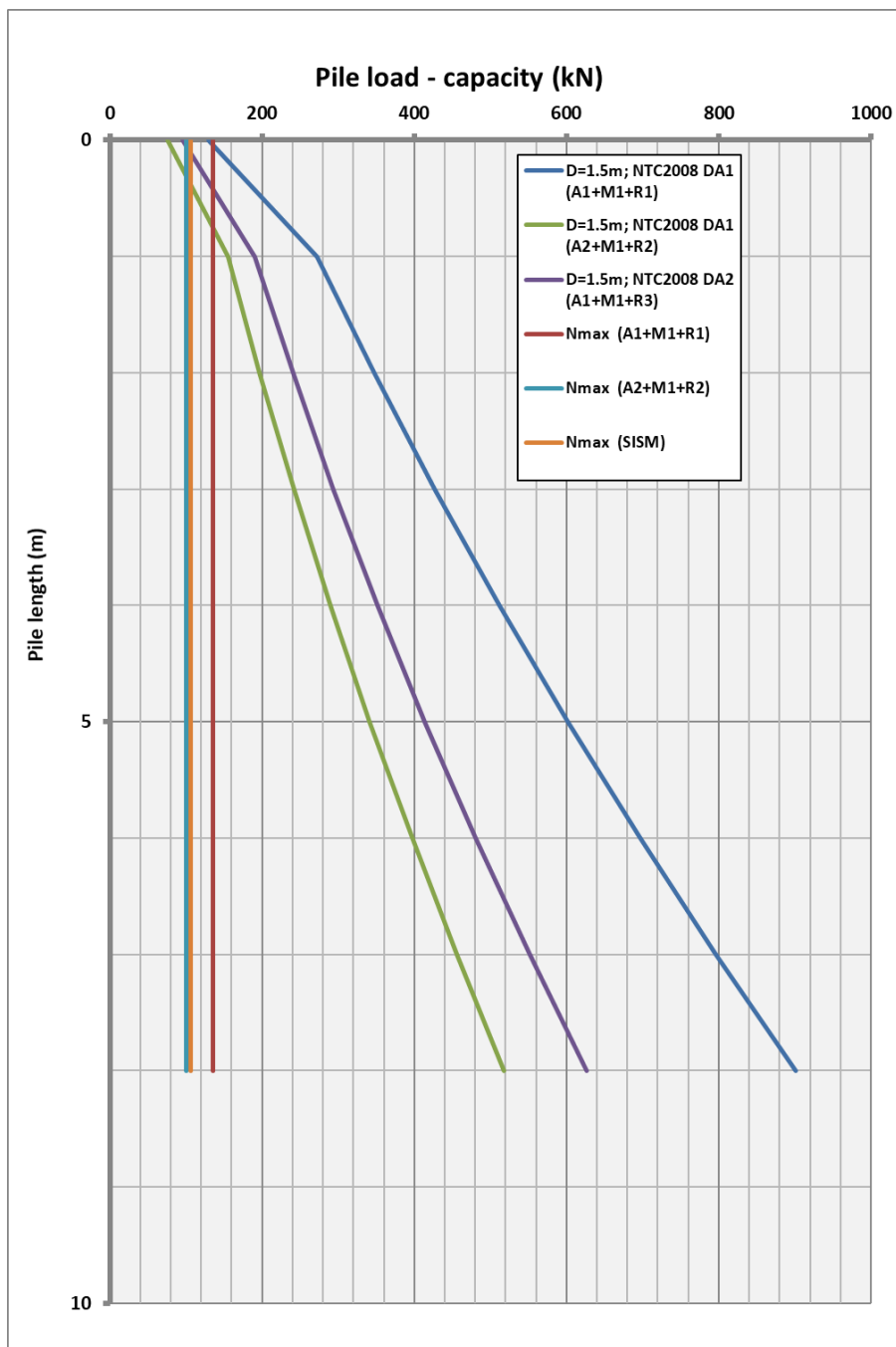


Figura 17 Capacità portante dei pali



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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	16	MU0006	REL	01	D	39 di 52

Z	L pile	γ	$\sigma'v$	lito	Shear Resistance parameter		Bearing capacity factors		$\tan \phi'$	k	τ	τ_{tot}	R calc			Pile weight			R ck			DA1 - COMB.1	DA1 - COMB.2	DA2 - SEISMIC	
					c'	ϕ'	Nc	Nq					Rlat	Rb	Rtot	w'	w' (A1)	w' (A2)	Rlat / ξ	Rb / ξ	Rtot	Rcd	Rcd	Rcd	
m, da p.c.	m	kN/mc	kPa	-	kPa	°	-	-	-	-	kPa	kPa	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
0	0	19	0	Aate	10	30	12,1	8	0,58	0,50	0	0	0	214	214	0	0	0	0	130	130	130	76	96	
1	1	19	19	Aate	10	30	12,1	8	0,58	0,50	14	14	64	483	547	44	60	44	39	292	332	272	155	191	
2	2	19	28	Aate	10	30	12,1	8	0,58	0,50	15	29	137	610	747	78	106	78	83	370	453	347	196	240	
3	3	19	37	Aate	10	30	12,1	8	0,58	0,50	17	46	218	737	955	112	152	112	132	447	579	427	241	294	
4	4	19	46	Aate	10	30	12,1	8	0,58	0,50	19	65	307	864	1171	147	198	147	186	524	710	512	290	352	
5	5	19	55	Aate	10	30	12,1	8	0,58	0,50	21	86	404	991	1396	181	244	181	245	601	846	602	342	414	
6	6	19	64	Aate	10	30	12,1	8	0,58	0,50	22	108	510	1118	1628	215	290	215	309	678	987	697	397	481	
7	7	19	73	Aate	10	30	12,1	8	0,58	0,50	24	132	623	1246	1869	249	336	249	378	755	1133	796	456	551	
8	8	19	82	Aate	10	30	12,1	8	0,58	0,50	26	158	745	1373	2118	283	382	283	452	832	1284	901	518	627	

La verifica a capacità portante dei pali sottoposti ad azioni verticali risulta soddisfatta

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.di Pag. 40 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

10.2.6 Verifiche strutturali

L'opera di sostegno è costituita da pali di diametro 1500mm ad interasse 2.0m, per la parte infissa e da un muro in c.a. a spessore variabile (da 0.5m in sommità a 0.9m al piede) per la parte emersa costituente il paramento di contenimento del rilevato.

Si prevede la seguente armatura di calcolo:

Pali

- Armatura longitudinale: Gabbia: 20 Φ 26mm.
- Armatura a taglio: Spirali Φ 16/20cm;
- Copriferro netto: 90mm

Paramento

- Spessore sezione media 75cm
- Armatura verticale Φ 20/200
- Armatura orizzontale: Φ 16/200
- Armatura a taglio: Spille Φ 12/maglia 200x400
- Copriferro sui ferri orizzontali: 50mm

Il quantitativo di armatura minima per ogni elemento strutturale è stato inoltre verificato nei rispetti dei requisiti minimi come prescritto da normativa NTC08.

La paratia è stata verificata per le seguenti combinazioni di carico:

Tabella 24 – Sollecitazioni verificate pali

STATO LIMITE	N [kN]	M [kNm]	T [kN]
SLU (A1+M1+R1)	-	350	142
SLE	-	266	108
SLV	-	1056	316

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

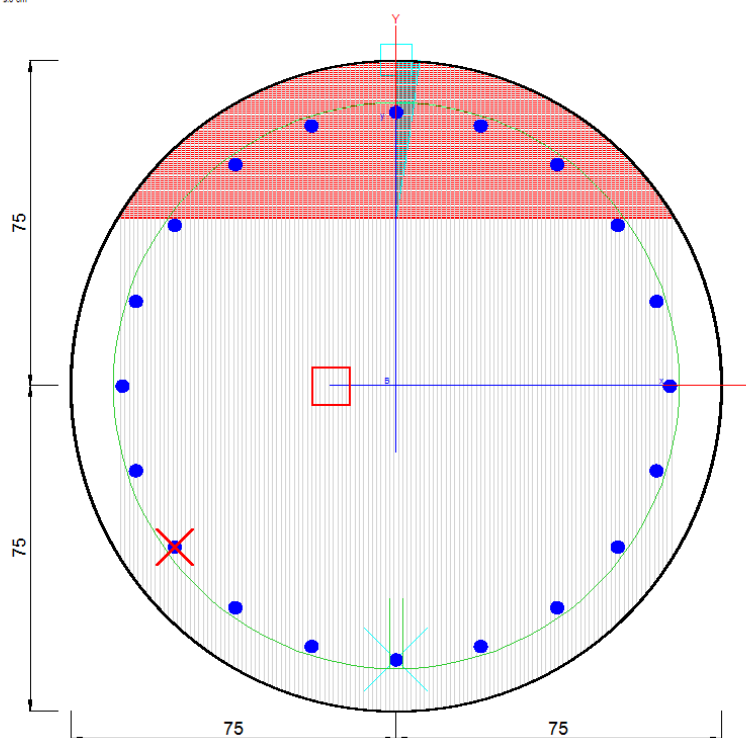
Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	16	MU0006	REL	01	D	41 di 52

Tabella 25 – Sollecitazioni verificate paramento

STATO LIMITE	N [kN]	M [kNm]	T [kN]
SLU (A1+M1+R1)	-	106	75
SLE	-	81	57
SLV	-	287	158

PRESSOFLESSIONE STATO LIMITE ULTIMO

Comb. n. 1 (S.L.U.)
coprif. netto staffe: 9.0 cm



Dati generali | Dati sezione | Sforzi | Risultati | Staffe-Duttilità

sezione verificata

Tipo Combinazione	N,Comb.	C. Non Ver.
S.L.U. Comb. Ultime (Calcolo Resistenza)	2	
S.L.E. Comb. Rare (Esercizio)	1	
S.L.E. Comb. Frequenti (Esercizio)	1	
S.L.E. Comb. Quasi Permanenti (Esercizio)	1	

Combinazione N° **1** Combinazione verificata

Resistenza Fless.Composta: Misura sic.=5.00 [OK se > 1.0]

Sforzi assegnati	Sforzi resistenti	Deform. un
N = 0.00 kN	N Res = 0.00 kN	Def.max Cl
Mx = 350.00 kNm	Mx Res = 1751.32 kNm	Def.min Cl
		Def.max Fe
	Curv Max=0.000019199 1/cm	Def.min Fe
	As tesa=58.4 cm²	Asse neutr
	As compr.=26.5 cm²	x/d = 0.0

Taglio (S.L.U.): Misura sicurezza = 0.032 [OK se <= 1.0]

Sforzi Dati/Ultimi	Staffe di Comb.	Staffe Involuppo
TAGLIO:	As St.= 1.3cm²/m	Staffe: As St= 20.1 cm
Vy = 142.00 kN	Diam. Staffe: Ø16	Diam. Staffe: Ø16 mm
VSDu = 142.00 kN	Passo Staffe = 2C	Passo Staffe = 20.0 cm
VRcd = 4381.72 kN		
VRwd = 2128.26 kN		
bw = 124.9 cm		
d = 120.2 cm		

Calcola e visualizza

Sezione con tensioni e deformazioni

Dominio N-Mx Resistenza sostanz. Elastica

Figura 18 – Combinazione 1 (M_{max}) – SLU

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

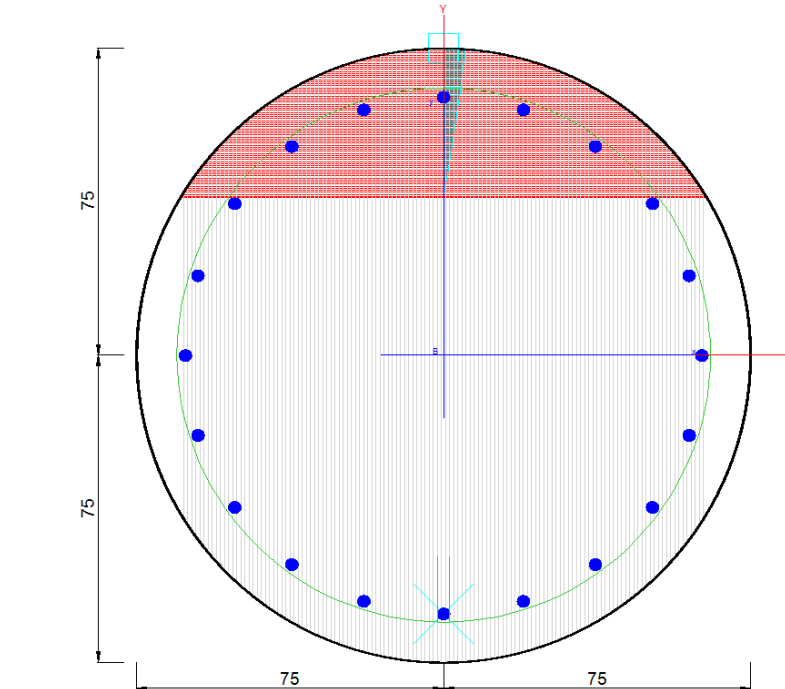
4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – Innesto S.S. 77 a Muccia

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.diPag.
L073	213	E	16	MU0006	REL	01	D	42 di 52

Comb. n. 2 (S.L.U.)
Coprif. netto staffe 30 cm



Dati generali | Dati sezione | Sforzi | Risultati | Staffe-Duttilità

sezione verificata

Tipo Combinazione	N.Comb.	C. Non Ver.
S.L.U. Comb. Ultime (Calcolo Resistenza)	2	
S.L.E. Comb. Rare (Esercizio)	1	
S.L.E. Comb. Frequenti (Esercizio)	1	
S.L.E. Comb. Quasi Permanenti (Esercizio)	1	

Combinazione N° **2** Combinazione verificata

Resistenza Fless.Composta: Misura sic.=1.66 [OK se > 1.0]

Sforzi assegnati	Sforzi resistenti	Deform. un
N = 0.00 kN	N Res = 0.00 kN	Def max Ci
Mx = 1056.00 kNm	Mx Res = 1751.32 kNm	Def min Fe
		Def max Fe
	Curv.Max=0.000019199 1/cm	Def min Fe
	As tesa= 68.4 cm²	Asse neutri
	As compr= 26.5 cm²	x/d = 0

Taglio (S.L.U.): Misura sicurezza = 0.072 [OK se <= 1.0]

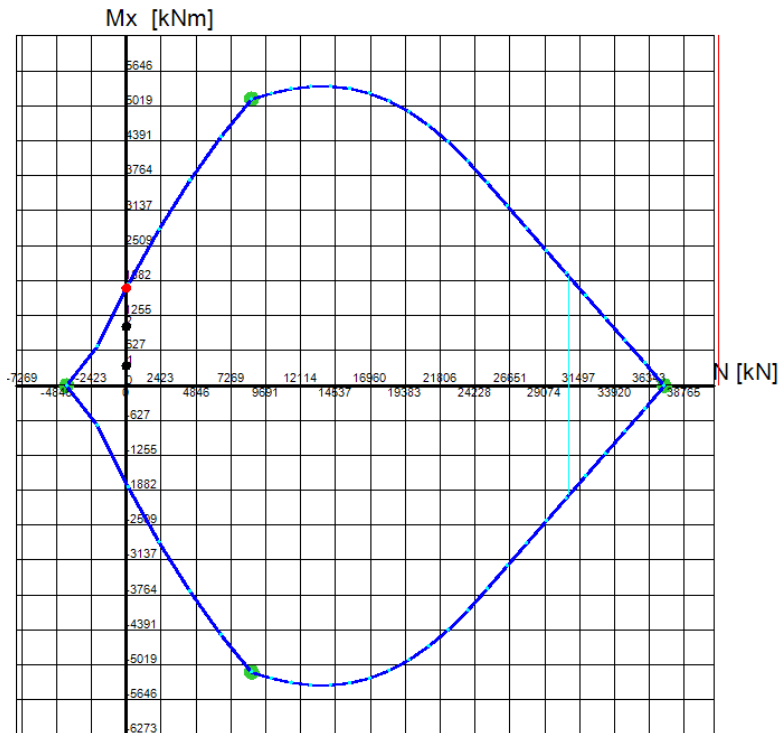
Sforzi Dati/Ultimi	Staffe di Comb.	Staffe Inviluppo
TAGLIO:	As St = 3.0cm²/m	Staffe: As St = 20.1 cm
Vy = 316.00 kN	Diam Staffe 016	Diam Staffe 016 mm
VSdu = 316.00 kN	Passo Staffe = 20	Passo Staffe = 20.0 cm
VRcd = 4381.72 kN		
VRwd = 2128.26 kN		
bw = 124.9 cm		
d = 120.2 cm		

Calcola e visualizza

Sezione con tensioni e deformazioni

Dominio N-Mx Resistenza sostanz. Elastica

Figura 19 – Combinazione 2 (M_{max}) – SLV



Passo Momenti Mx griglia = 627 kNm

Passo Sforzo Normale N = 2423 kN

Figura 20 – Dominio M-N – SLU e SLV

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.diPag.
L073	213	E	16	MU0006	REL	01	D	43 di 52

Nome sezione: Muro_paramento_5fi20 Comb. n. 1 (S.L.U.)
Coprif. netto minimo barre long.: 6.6 cm Coprif. netto staffe: 5.4 cm

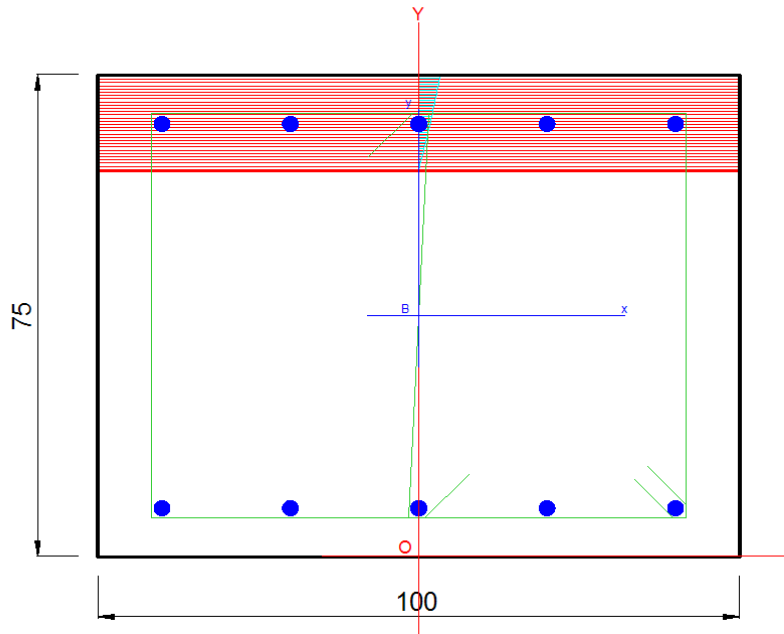
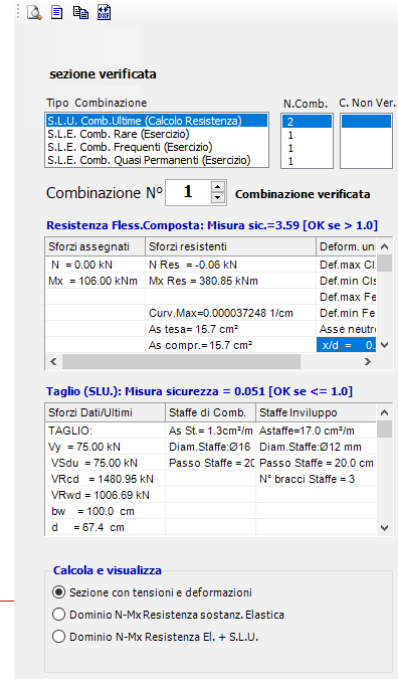


Figura 21 – Combinazione 1 (M_{max}) – SLU



Nome sezione: Muro_paramento_5fi20 Comb. n. 2 (S.L.U.)
Coprif. netto minimo barre long.: 6.6 cm Coprif. netto staffe: 5.4 cm

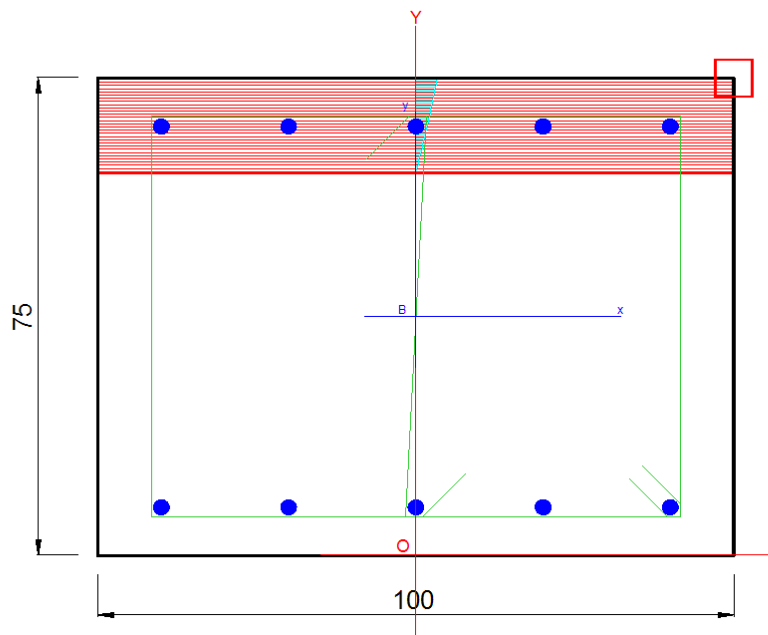
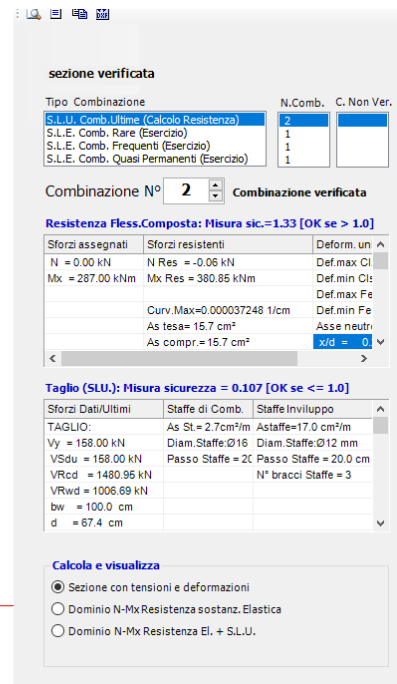


Figura 22 – Combinazione 2 (M_{max}) – SLV



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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	16	MU0006	REL	01	D	44 di 52

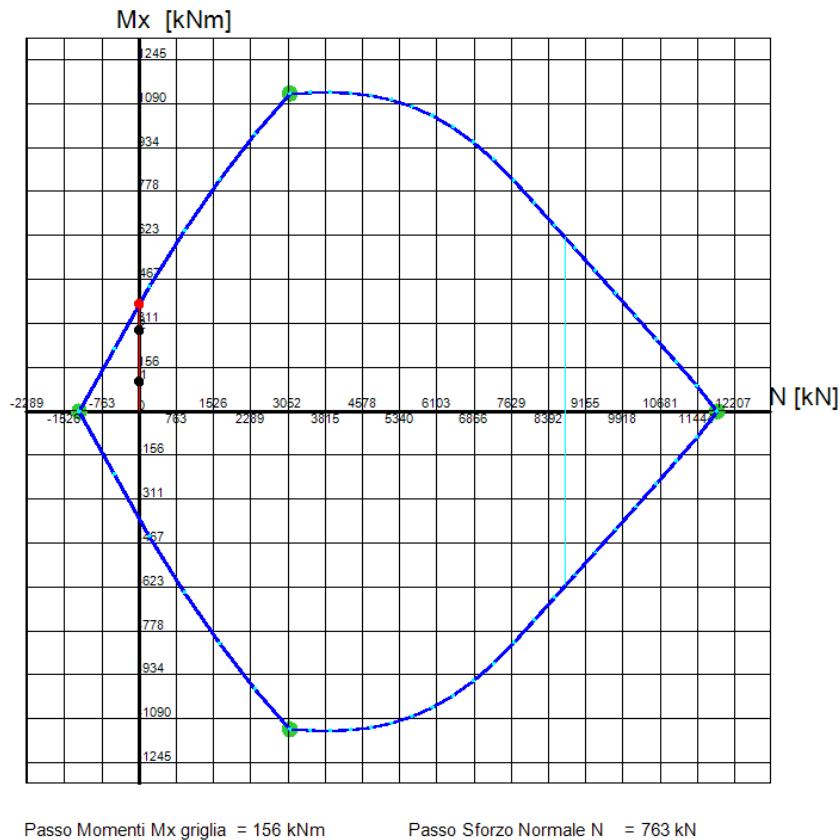


Figura 23 – Dominio M-N – SLU e SLV

STATO LIMITE ESERCIZIO

Di seguito sono riportate le massime sollecitazioni nelle barre e nel calcestruzzo durante le fasi di esercizio e l'apertura massima delle fessure nella sezione maggiormente sollecitate degli elementi strutturali.

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.diPag.
L073	213	E	16	MU0006	REL	01	D	45 di 52

Comb. n. 1 (S.L.E. q perm)
Coprif. netto staffe: 30 cm

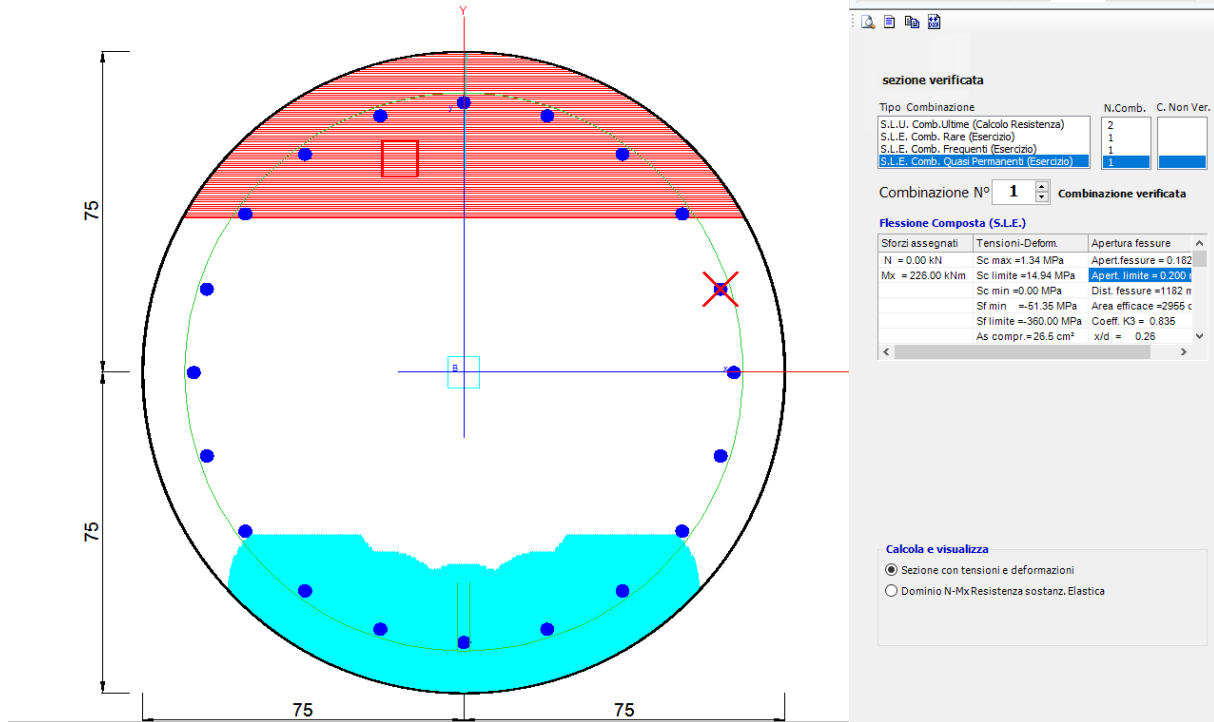


Figura 24 – Combinazione 3 – SLE – Verifiche di fessurazione e di tensione sulle barre

Tabella 26 – Verifica tensioni

COMBINAZIONE	TENSIONI ESERCIZIO	TENSIONI AMMISSIBILI
S.L.E. FREQUENTE	$\sigma_s = 51.35$ MPa	360 MPa
	$\sigma_c = 1.34$ MPa	19.9 MPa
S.L.E. QUASI PERMANENTE	$\sigma_s = 51.35$ MPa	360 MPa
	$\sigma_c = 1.34$ MPa	14.9 MPa

Tabella 27 – Verifica apertura fessure

COMBINAZIONE	MAX. APERTURA	FESSURA LIMITE
S.L.E. FREQUENTE	0.18 mm	0.3 mm
S.L.E. QUASI PERMANENTE	0.18 mm	0.2 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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.diPag.
L073	213	E	16	MU0006	REL	01	D	46 di 52

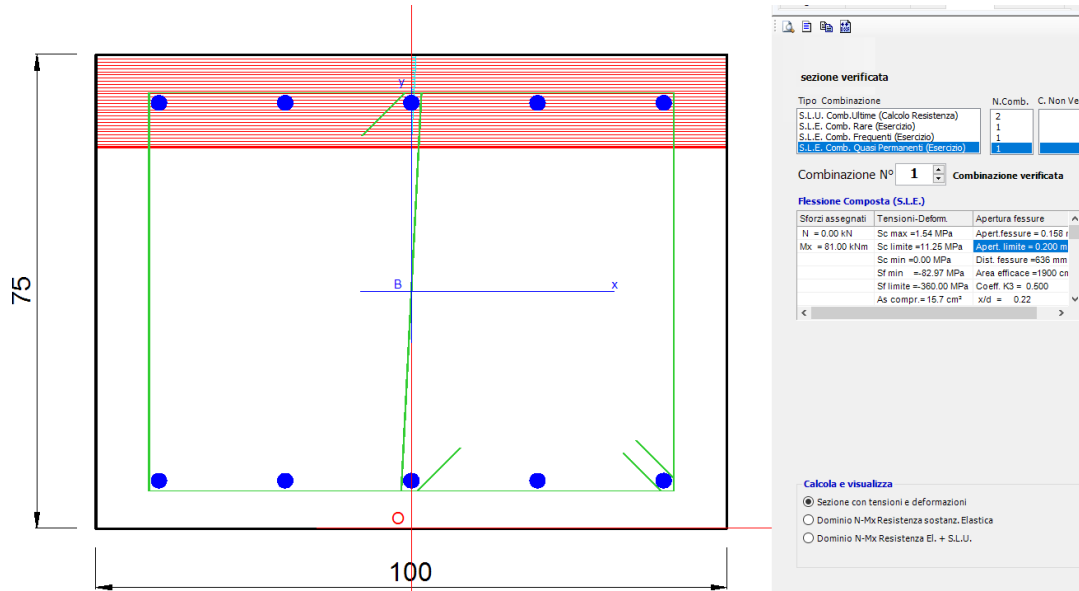


Tabella 28 – Verifica tensioni

COMBINAZIONE	TENSIONI ESERCIZIO	TENSIONI AMMISSIBILI
S.L.E. FREQUENTE	$\sigma_s = 82.97 \text{ MPa}$	360 MPa
	$\sigma_c = 1.54 \text{ MPa}$	15.0 MPa
S.L.E. QUASI PERMANENTE	$\sigma_s = 82.97 \text{ MPa}$	360 MPa
	$\sigma_c = 1.54 \text{ MPa}$	11.2 MPa

Tabella 29 – Verifica apertura fessure

COMBINAZIONE	MAX. APERTURA	FESSURA LIMITE
S.L.E. FREQUENTE	0.16 mm	0.3 mm
S.L.E. QUASI PERMANENTE	0.16 mm	0.2 mm

Il cordolo di testa di collegamento dei pali su cui è fondato il paramento è stato dimensionato sulla base delle prescrizioni minime di armatura come riportato al capitolo 4.1.6.1 del NTC08.

Si prevede la seguente carpenteria ed armatura di calcolo:

- Larghezza trave = 170cm / Altezza = 120cm
- Armatura longitudinale intera sezione: $24\Phi 26\text{mm}$;
- Staffe: $\Phi 16/20\text{cm}$;
- Copriferro netto: 5cm

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.diPag. 47 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

Il copriferro netto è stato calcolato considerando i limiti per le travi su terreno preparato secondo quanto riportato in normativa quantitativi di armatura soddisfano i requisiti da normativa UNI EN 1536:2003 e ENV 1992-1-1.

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta_c = 40mm + 10mm = 50 mm$$

Il quantitativo di armatura longitudinale è stato verificato nei rispetti dei requisiti minimi e massimi da normativa UNI EN 1536:2003 e NTC08.

In particolare

$$A_s = 12\phi 26 = 0.0063 m^2 \text{ (armatura in zona tesa)}$$

$$A_{s,min} = 0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d = 0.0042 m^2 \text{ [4.1.6.1.1 NTC2008]}$$

$$A_{s,min} = 0.0013 \cdot b_t \cdot d = 0.0027 m^2 \text{ [4.1.6.1.1 NTC2008]}$$

$$A_{s,max} = 0.04 \cdot A_c = 0.081 m^2 \text{ [4.1.6.1.1 NTC2008]}$$

Il quantitativo di armatura trasversale è stato verificato nei rispetti dei requisiti minimi da normativa NTC08.

$$A_{sw} = 2 \text{ bracci } \phi 16/20 = 2010 \frac{mm^2}{m}$$

$$A_{sw,min} = 1.5 b = 1800 \frac{mm^2}{m}$$

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	16	MU0006	REL	01	D	48 di 52

10.3 RISULTATI DELLE ANALISI: SEZIONE TERRA RINFORZATA

10.3.1 Stabilità locale

Si riportano di seguito i risultati delle analisi di stabilità dell'opera di sostegno descritte al par. 7.1.2.

Per ulteriori dettagli si rimanda all'Allegato A "Report di calcolo e verifiche geotecniche".

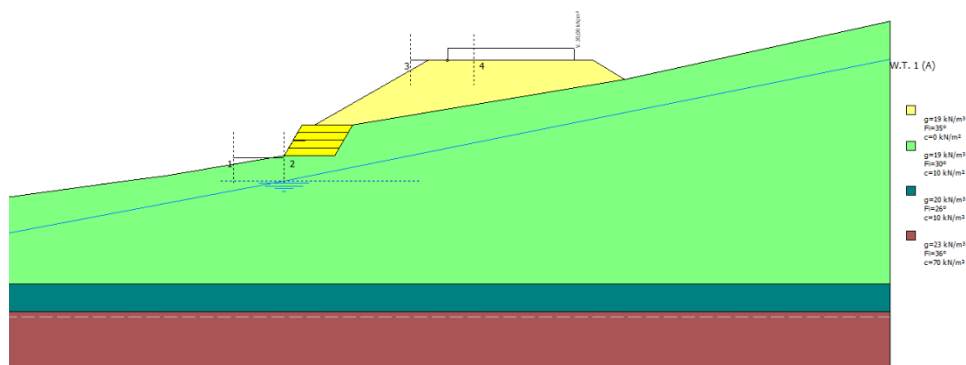


Figura 25 - Modello di calcolo

<p>• Coefficienti globali margine di sicurezza</p> <p>Coef. sicurezza ribaltamento: 10,9</p> <p>Coef. sicurezza scorrimento: 2,49</p> <p>Coef. sicurezza carico limite: 14,81</p> <p>Combinazione 1 (A1+M1) Involuppo</p>	<p>• Coefficienti globali margine di sicurezza</p> <p>Coef. sicurezza ribaltamento: 8,8</p> <p>Coef. sicurezza scorrimento: 1,7</p> <p>Coef. sicurezza carico limite: 9,95</p> <p>Combinazione 2 (A2+M2) Involuppo</p>
<p>• Coefficienti globali margine di sicurezza</p> <p>Coef. sicurezza ribaltamento: 7,6</p> <p>Coef. sicurezza scorrimento: 1,46</p> <p>Coef. sicurezza carico limite: 10,71</p> <p>Combinazione 3 (EQU+M2) Involuppo</p>	<p>• Coefficienti globali margine di sicurezza</p> <p>Coef. sicurezza ribaltamento: 6,8</p> <p>Coef. sicurezza scorrimento: 1,54</p> <p>Coef. sicurezza carico limite: 14,2</p> <p>Combinazione 4 (Sisma) Involuppo</p>

Figura 26 - Verifiche di stabilità

10.3.2 Verifiche strutturali geogriglie

Nella seguente tabella si sintetizzano i risultati ottenuti dalle verifiche strutturali delle geogriglie considerate per la realizzazione delle opere in terra rinforzata, le quali presentano una lunghezza complessiva pari a 4m.

Per ulteriori dettagli si rimanda all'Allegato A "Report di calcolo verifiche geotecniche".

Tabella 30 - Risultati verifiche geogriglie

Nr	FS Sfilamento	FS Rottura	Spinta sul rinforzo (kN)	Res. a fil. (kN/m)	Res. ultima materiale (kN)
1	8.57	1.31	22.21	47.57	28.99
2	9.22	1.73	16.71	38.52	28.99
3	10.75	2.60	11.16	29.99	28.99
4	16.24	5.24	5.53	22.45	28.99

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.di Pag. 49 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

10.3.3 Stabilità globale

Si riportano di seguito i risultati delle verifiche di stabilità globale per il muro in terra rinforzata in condizioni statiche e sismiche.

Dalle analisi eseguite è stato ottenuto un coefficiente di sicurezza FS, relativo alla superficie di scorrimento più critica, superiore al valore del coefficiente parziale di resistenza che riduce la resistenza disponibile del terreno, γ_R , pari a 1.1, pertanto secondo quanto prescritto dalla normativa considerata, le verifiche di sicurezza risultano essere soddisfatte.

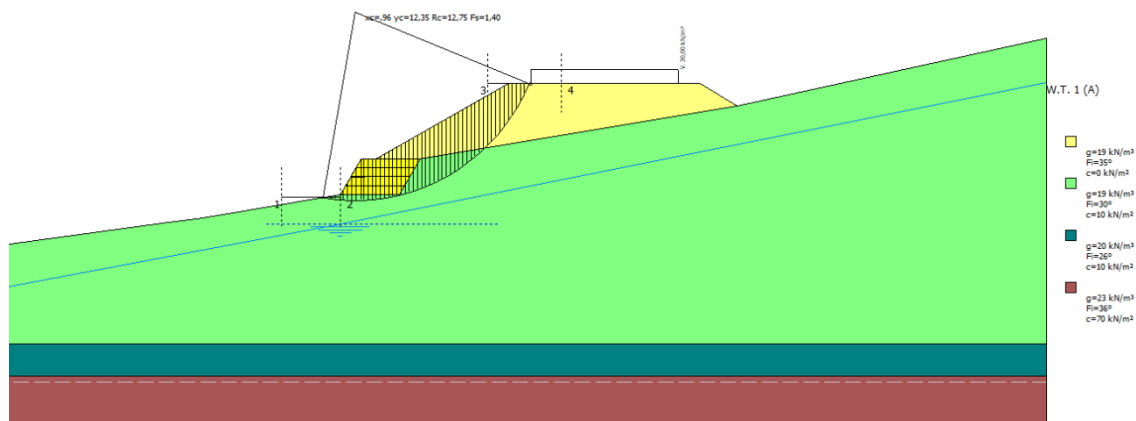


Figura 27 – Verifica di stabilità globale (SLU)

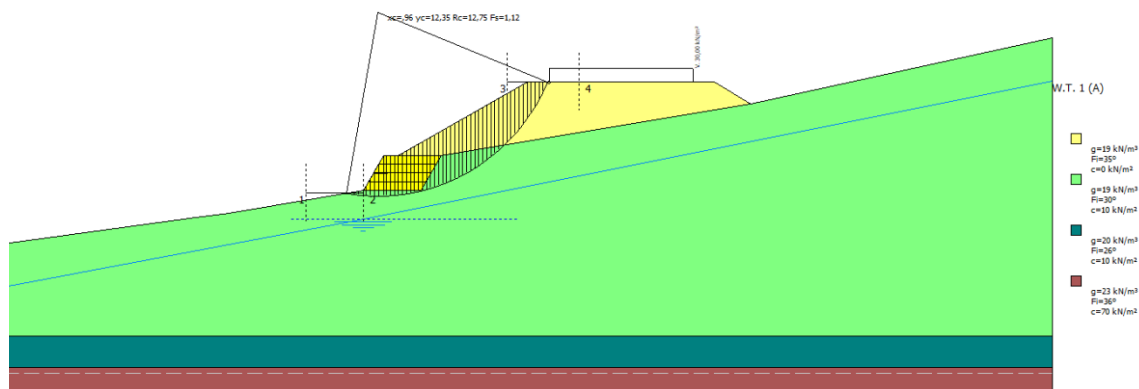


Figura 28– Verifica di stabilità globale (SLV)

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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.di Pag. 50 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

11. CONCLUSIONI

La presente relazione tecnica e di calcolo riassume i criteri di dimensionamento, le analisi e le verifiche condotte sulle opere di stabilità profonda dei terreni di fondazione del rilevato dal km 1+931 al km 2+006 dei Lotti 3 e 4 dell'opera Pedemontana delle Marche.

Le verifiche geotecniche e strutturali risultano soddisfatte per gli stati limite considerati secondo le normative 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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.di Pag. 51 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

APPENDICE A

REPORT DI CALCOLO VERIFICHE GEOTECNICHE



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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. D	Pag.di Pag. 52 di 52
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

APPENDICE B

REPORT DI CALCOLO VERIFICHE STRUTTURALI



Report di Calcolo

Nome Progetto: New Project

Autore: Ingegnere

Jobname: C:\Users\LucaCiocchetti\OneDrive - S.G.S. Studio Geotecnico Strutturale S.r.l\Quadrilatero\SGS\MU06\Paratie\ParametriMedi.pplus

Data: 31/05/2021 12:39:41

Design Section: Base Design Section

Sommario

Contenuto Sommario

Descrizione del Software

ParatiePlus analizza il comportamento meccanico di una struttura di sostegno flessibile di uno scavo in terreno o roccia, ponendo l'accento sull'aspetto dell'interazione "locale" fra parete e terreno.

ParatiePlus non permette lo studio di problematiche che coinvolgano un movimento esteso del versante di scavo, in quanto ParatiePlus non consente lo sviluppo di movimenti rigidi della parete o parti di ammasso rispetto ad altre parti di terreno.

Scopo precipuo di ParatiePlus è quindi il calcolo delle azioni flettenti e taglianti e delle deformazioni laterali della parete di sostegno, e la valutazione di tutte quelle grandezze a queste connesse.

Lo studio di una parete flessibile è condotto attraverso una simulazione numerica del reale: il programma stabilisce e risolve un sistema di equazioni algebriche la cui soluzione permette di riprodurre abbastanza realisticamente l'effettivo comportamento dell'opera di sostegno.

La simulazione numerica è quella offerta dal metodo degli elementi finiti.

La schematizzazione in elementi finiti avviene in questo modo:

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

Descrizione della Stratigrafia e degli Strati di Terreno

Tipo : POLYLINE

Punti

(-20;355)
(50;355)
(50;300)
(-20;300)

OCR : 1

Tipo : POLYLINE

Punti

(-20;343.5)
(-15;343.5)
(0;344.5)
(6.5;345.5)
(19;348)
(30;349.5)
(34;350)
(50;352)
(50;300)
(-20;300)

OCR : 1

Tipo : POLYLINE

Punti

(-20;332)
(0;332.5)
(17.5;333.5)
(34;334.5)
(50;336)
(50;300)
(-20;300)

OCR : 1

Tipo : POLYLINE

Punti

(-20;330)
(50;333)
(50;300)
(-20;300)

OCR : 1

Strato di Terreno	Terreno	γ dry	γ sat	ϕ'	ϕ	$c'v$	$c'p$	Su	Modulo Elastico	Eu	Evc	Eur	Ah	Av exp	Pa	Rur/Rvc	Rvc	Ku	Kvc	Kur		
		kN/m ³	kN/m ³	°	°	°	kPa	kPa			kPa	kPa			kPa			kPa	kN/m ³	kN/m ³	kN/m ³	
1	Rilevato	19	19	34			0		Constant		30000	90000										
2	Aate	19	19	30			10		Constant		40000	120000										
3	Salt	20	20	26			10		Constant		200000	600000										
4	Ap	23	23	36			70		Constant		100000	300000										

Descrizione Pareti

X : 0 m

Quota in alto : 344.5 m

Quota di fondo : 336.5 m

Muro di sinistra

Sezione : Pali1500

Area equivalente : 0.883572933822129 m

Inerzia equivalente : 0.1243 m⁴/m

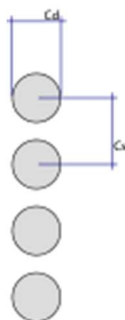
Materiale calcestruzzo : C32/40

Tipo sezione : Tangent

Spaziatura : 2 m

Diametro : 1.5 m

Efficacia : 1



X : 0 m

Quota in alto : 348.5 m

Quota di fondo : 344.5 m

Muro di sinistra

Sezione : Paramento

Area equivalente : 0.75 m

Inerzia equivalente : 0.0352 m⁴/m

Materiale calcestruzzo : C25/30

Tipo sezione : Solid

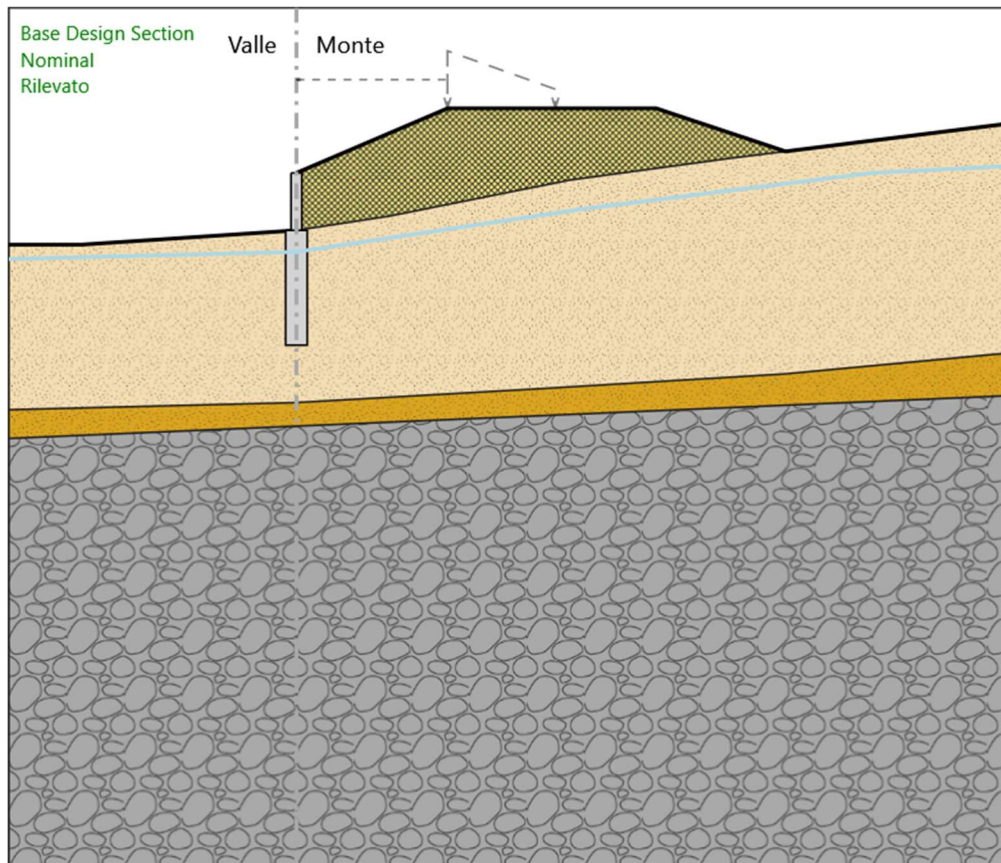
Spessore : 0.75 m

Efficacia : 1



Fasi di Calcolo

Rilevato



Rilevato

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 348.5 m

Lato valle : 344.5 m

Linea di scavo di sinistra (Irregolare)

(-20;343.5)

(-15;343.5)

(0;344.5)

Linea di scavo di destra (Irregolare)

(0;348.5)

(10.5;353)

(19;353)

(25;353)

(34;350)

(50;352)

Elementi strutturali

Paratia : Pali 1500

X : 0 m

Quota in alto : 344.5 m

Quota di fondo : 336.5 m

Sezione : Pali1500

Paratia : Paramento

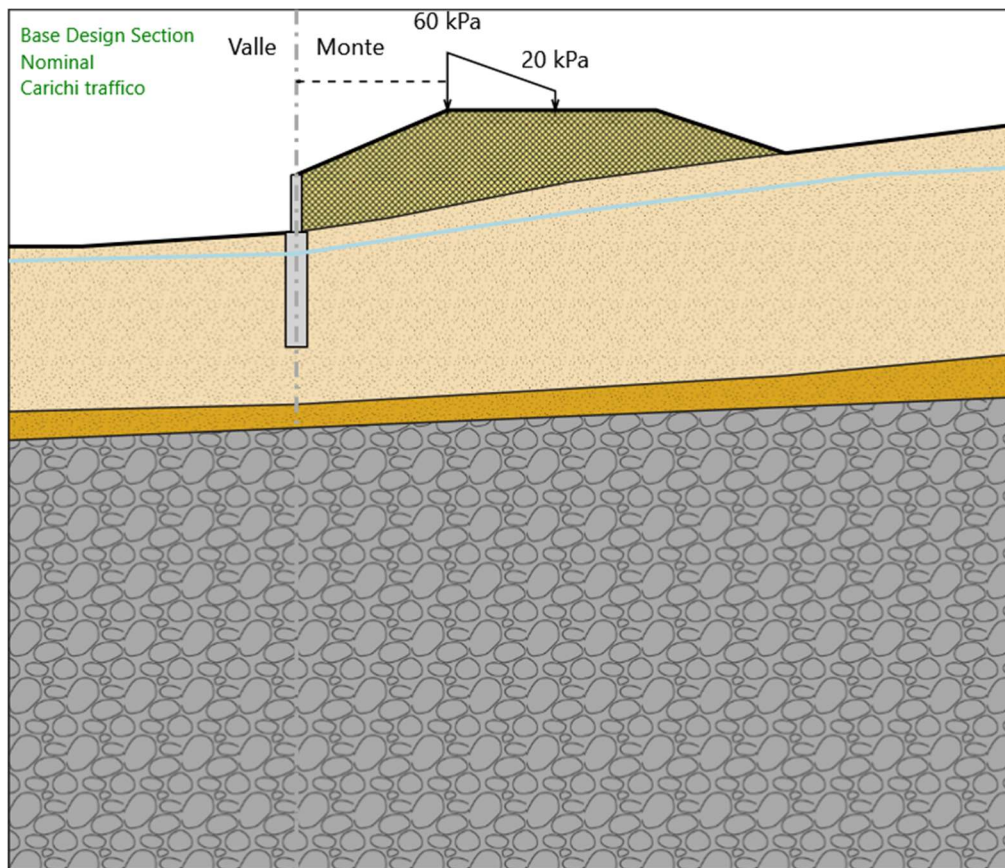
X : 0 m

Quota in alto : 348.5 m

Quota di fondo : 344.5 m

Sezione : Paramento

Carichi traffico



Carichi traffico

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 348.5 m

Lato valle : 344.5 m

Linea di scavo di sinistra (Irregolare)

(-20;343.5)

(-15;343.5)

(0;344.5)

Linea di scavo di destra (Irregolare)

(0;348.5)

(10.5;353)

(19;353)

(25;353)

(34;350)

(50;352)

Elementi strutturali

Paratia : Pali 1500

ParatiePlus 2021 [v: 21.0.0] - 31/05/2021 12:39:41

X : 0 m

Quota in alto : 344.5 m

Quota di fondo : 336.5 m

Sezione : Pali1500

Paratia : Paramento

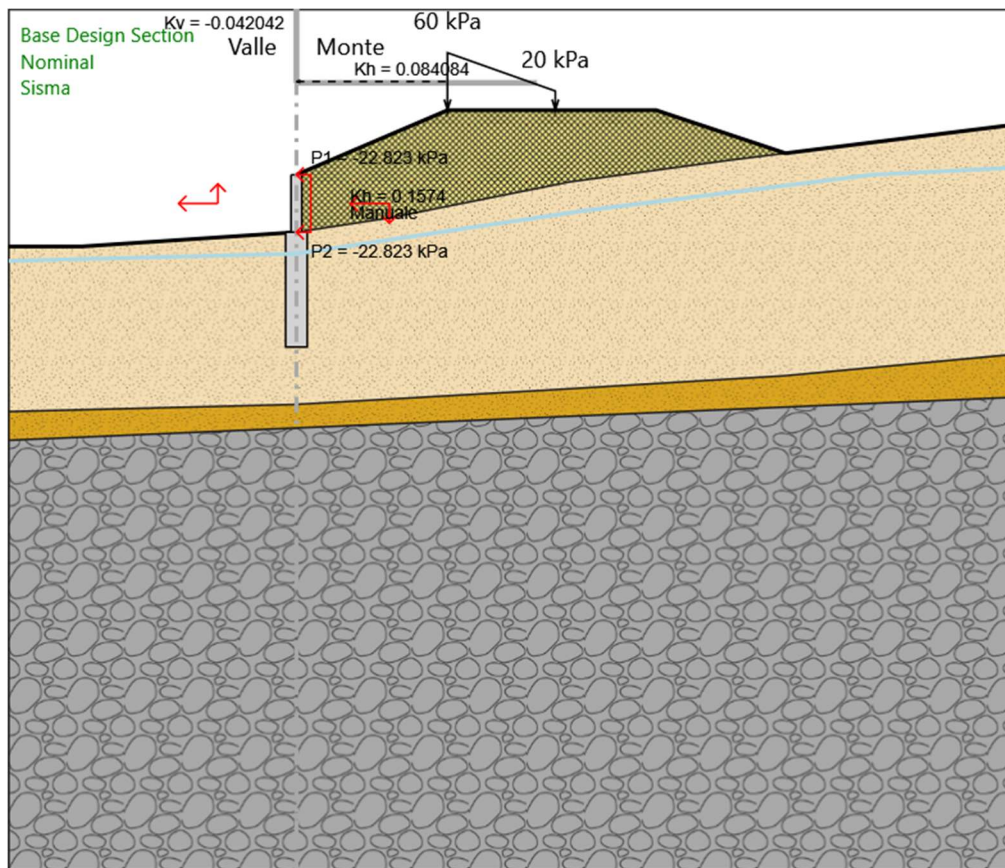
X : 0 m

Quota in alto : 348.5 m

Quota di fondo : 344.5 m

Sezione : Paramento

Sisma



Sisma

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 348.5 m

Lato valle : 344.5 m

Linea di scavo di sinistra (Irregolare)

(-20;343.5)

(-15;343.5)

(0;344.5)

Linea di scavo di destra (Irregolare)

(0;348.5)

(10.5;353)

(19;353)

(25;353)

(34;350)

(50;352)

Elementi strutturali

Paratia : Pali 1500

ParatiePlus 2021 [v: 21.0.0] - 31/05/2021 12:39:41

X : 0 m

Quota in alto : 344.5 m

Quota di fondo : 336.5 m

Sezione : Pali1500

Paratia : Paramento

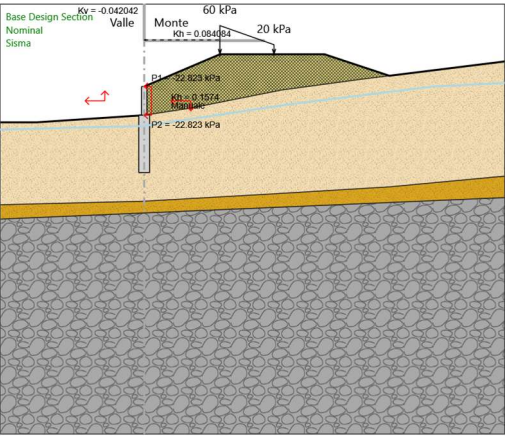
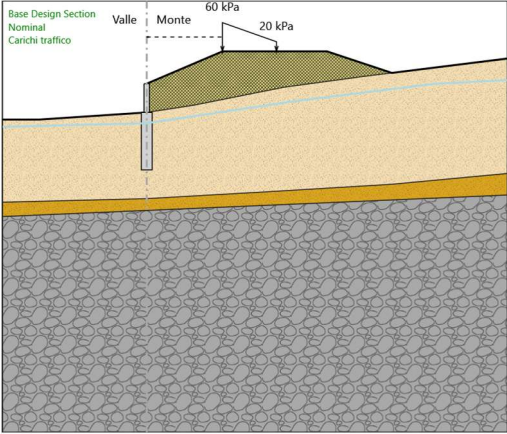
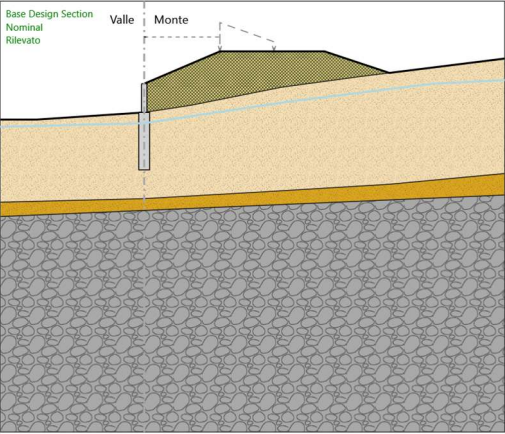
X : 0 m

Quota in alto : 348.5 m

Quota di fondo : 344.5 m

Sezione : Paramento

Tabella Configurazione Stage (Nominal)



Descrizione Coefficienti Design Assumption

Nome	Carichi Per- manenti Sfavorevoli (F_dead_lo ad_unfa- vour)	Carichi Per- manenti Favorevoli (F_dead_lo ad_favour)	Carichi Va- riabili Sfa- vorevoli (F_live_loa d_unfa- vour)	Carichi Va- riabili Fa- vorevoli (F_live_loa d_favour)	Carico Si- smico (F_seism_ load)	Pres Lato Mon (F_	Pres Lato Vall (F_	Carichi Perma- nenti De- stabiliz- zanti (F_UPL_G DStab)	Carichi Perma- nenti Sta- bilizzanti (F_UPL_G Stab)	Carichi Va- riabili De- stabiliz- zanti (F_UPL_Q DStab)	Carichi Perma- nenti De- stabiliz- zanti (F_HYD_G DStab)	Carichi Perma- nenti Sta- bilizzanti (F_HYD_G Stab)	Carichi Va- riabili De- stabiliz- zanti (F_HYD_Q DStab)
Simbolo	γ_G	γ_G	γ_Q	γ_Q	γ_{QE}	γ_G	γ_G	γ_{Gdst}	γ_{Gstb}	γ_{Qdst}	γ_{Gdst}	γ_{Gstb}	γ_{Qdst}
Nominal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SLE (Rara/Fre- quente/ Quasi Perma- nente)	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
A1+M1+ R1 (R3 per tiranti)	1.3	1	1.5	1	0	1.3	1	1	1	1	1	1	1
A2+M2+ R1	1	1	1.3	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
SISMICA STR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SISMICA GEO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
GLOBALE STATICA	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
GLOBALE SISMICA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Nome	Parziale su tan(ϕ') (F_Fr)	Parziale su c' (F_eff_cohe)	Parziale su Su (F_Su)	Parziale su qu (F_qu)	Parziale su peso specifico (F_gamma)
Simbolo	γ_ϕ	γ_c	γ_{cu}	γ_{qu}	γ_γ
Nominal	1	1	1	1	1
SLE (Rara/Fre- quente/Quasi Per- manente)	1	1	1	1	1
A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1	1	1	1	1
A2+M2+R1	1.25	1.25	1.4	1	1
SISMICA STR	1	1	1	1	1
SISMICA GEO	1	1	1	1	1
GLOBALE STATICA	1.25	1.25	1.4	1	1
GLOBALE SISMICA	1.25	1.25	1.4	1	1

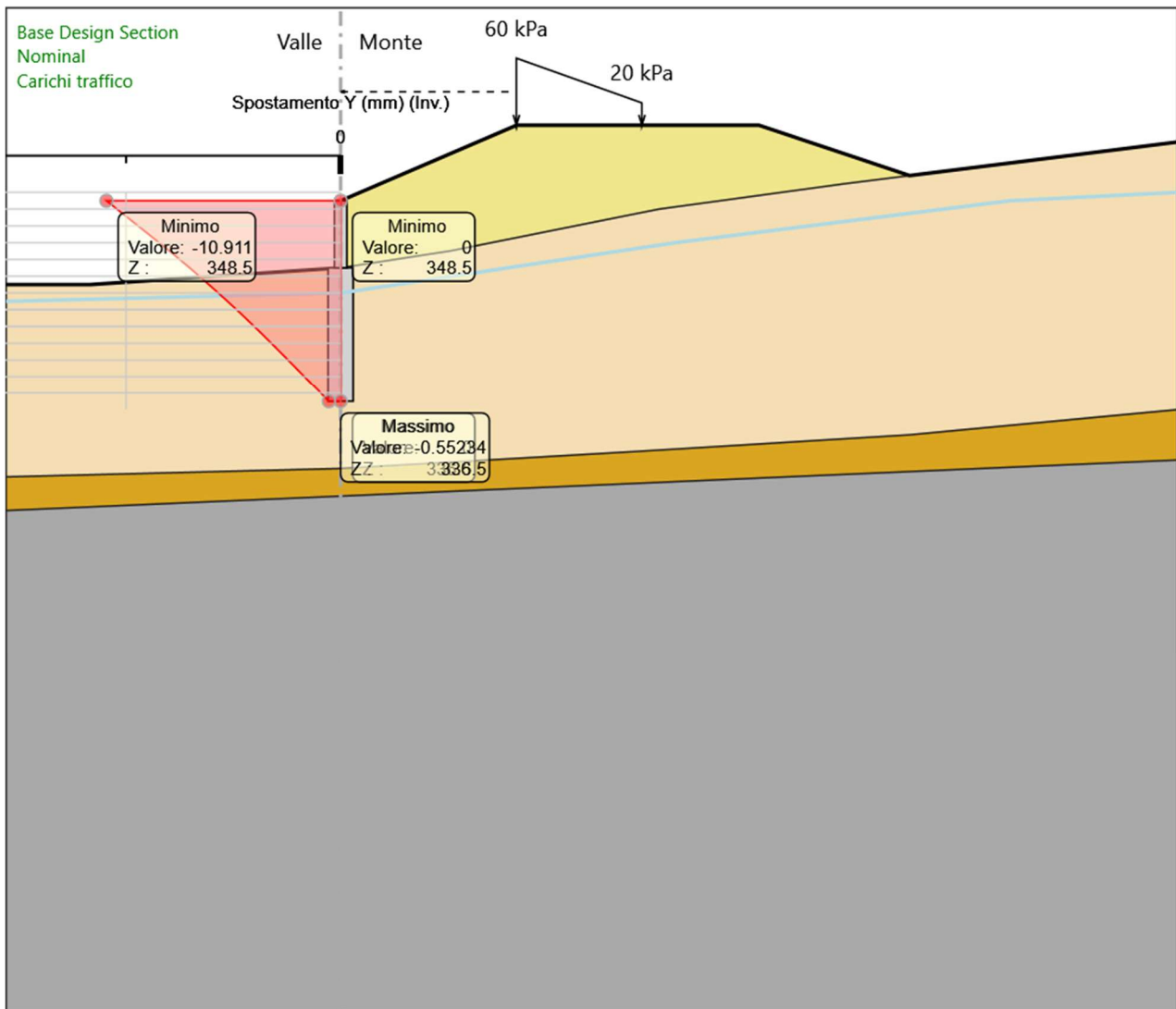
Nome	Parziale resistenza terreno (es. Kp) (F_Soil_Res_walls)	Parziale resistenza Tiranti permanenti (F_Anch_P)	Parziale resistenza Tiranti temporanei (F_Anch_T)	Parziale elementi strutturali (F_wall)
Simbolo	γ_{Re}	γ_{ap}	γ_{at}	
Nominal	1	1	1	1
SLE (Rara/Fre- quente/Quasi Perma- nente)	1	1	1	1
A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1	1.2	1.1	1
A2+M2+R1	1	1.2	1.1	1
SISMICA STR	1	1.2	1.1	1
SISMICA GEO	1	1.2	1.1	1
GLOBALE STATICA	1	1	1	1
GLOBALE SISMICA	1	1	1	1

Riepilogo Stage / Design Assumption per Involuppo

Design Assumption	Rilevato Carichi traffico Sisma	
SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	V	V
A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	V	V
A2+M2+R1	V	V
SISMICA STR		V
SISMICA GEO		V
GLOBALE STATICA		
GLOBALE SISMICA		

Descrizione sintetica dei risultati delle Design Assumption (Inviluppi)

Grafico Inviluppi Spostamento



Spostamento

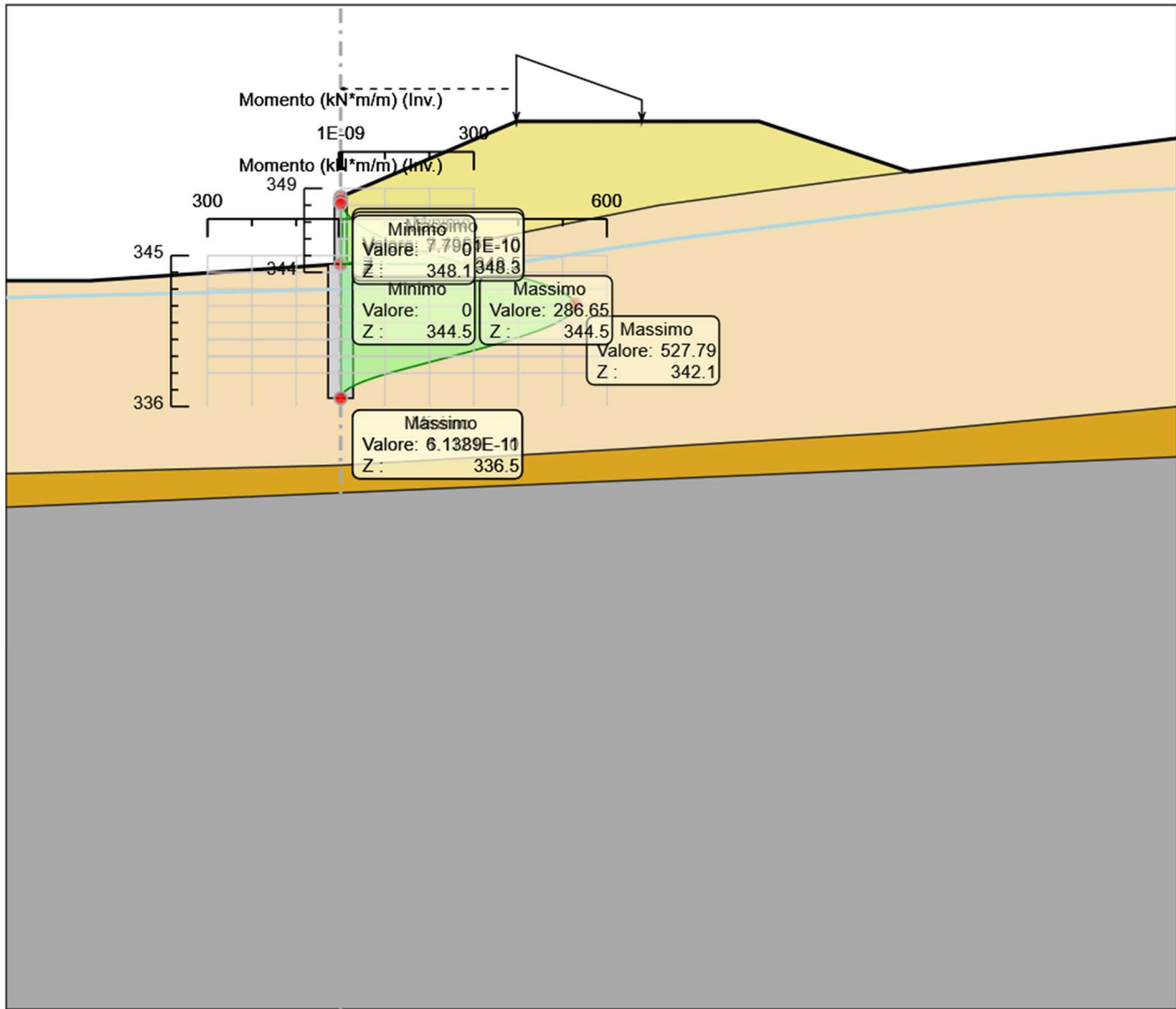
Tabella Involuppi Momento Pali 1500

Selected Design Assumptions Z (m)	Involuppi: Momento	
	Lato sinistro (kN*m/m)	Muro: Pali 1500 Lato destro (kN*m/m)
344.5	0	286.647
344.3	0	318.198
344.1	0	348.867
343.9	0	378.274
343.7	0	406.042
343.5	0	431.804
343.3	0	455.156
343.1	0	475.732
342.9	0	493.152
342.7	0	507.18
342.5	0	517.703
342.3	0	524.61
342.1	0	527.791
341.9	0	527.37
341.7	0	523.568
341.5	0	516.613
341.3	0	506.723
341.1	0	494.12
340.9	0	479.019
340.7	0	461.637
340.5	0	442.187
340.3	0	420.87
340.1	0	397.916
339.9	0	373.525
339.7	0	347.901
339.5	0	321.251
339.3	0	293.777
339.1	0	265.683
338.9	0	237.168
338.7	0	208.419
338.5	0	179.663
338.3	0	151.085
338.1	0	123.153
337.9	0	96.792
337.7	0	72.699
337.5	0	51.57
337.3	0	33.739
337.1	0	19.424
336.9	0	8.867
336.7	0	2.289
336.5	0	0

Tabella Involuppi Momento Paramento

Selected Design Assumptions Z (m)	Involuppi: Momento		Muro: Paramento
	Lato sinistro (kN*m/m)	Lato destro (kN*m/m)	
348.5	0	0	
348.3	0	0.519	
348.1	0	2.136	
347.9	0	4.909	
347.7	0	8.899	
347.5	0	14.167	
347.3	0	20.768	
347.1	0	28.763	
346.9	0	38.212	
346.7	0	49.174	
346.5	0	61.709	
346.3	0	75.876	
346.1	0	91.735	
345.9	0	109.355	
345.7	0	128.777	
345.5	0	150.07	
345.3	0	173.293	
345.1	0	198.505	
344.9	0	225.768	
344.7	0	255.139	
344.5	0	286.647	

Grafico Inviluppi Momento



Momento

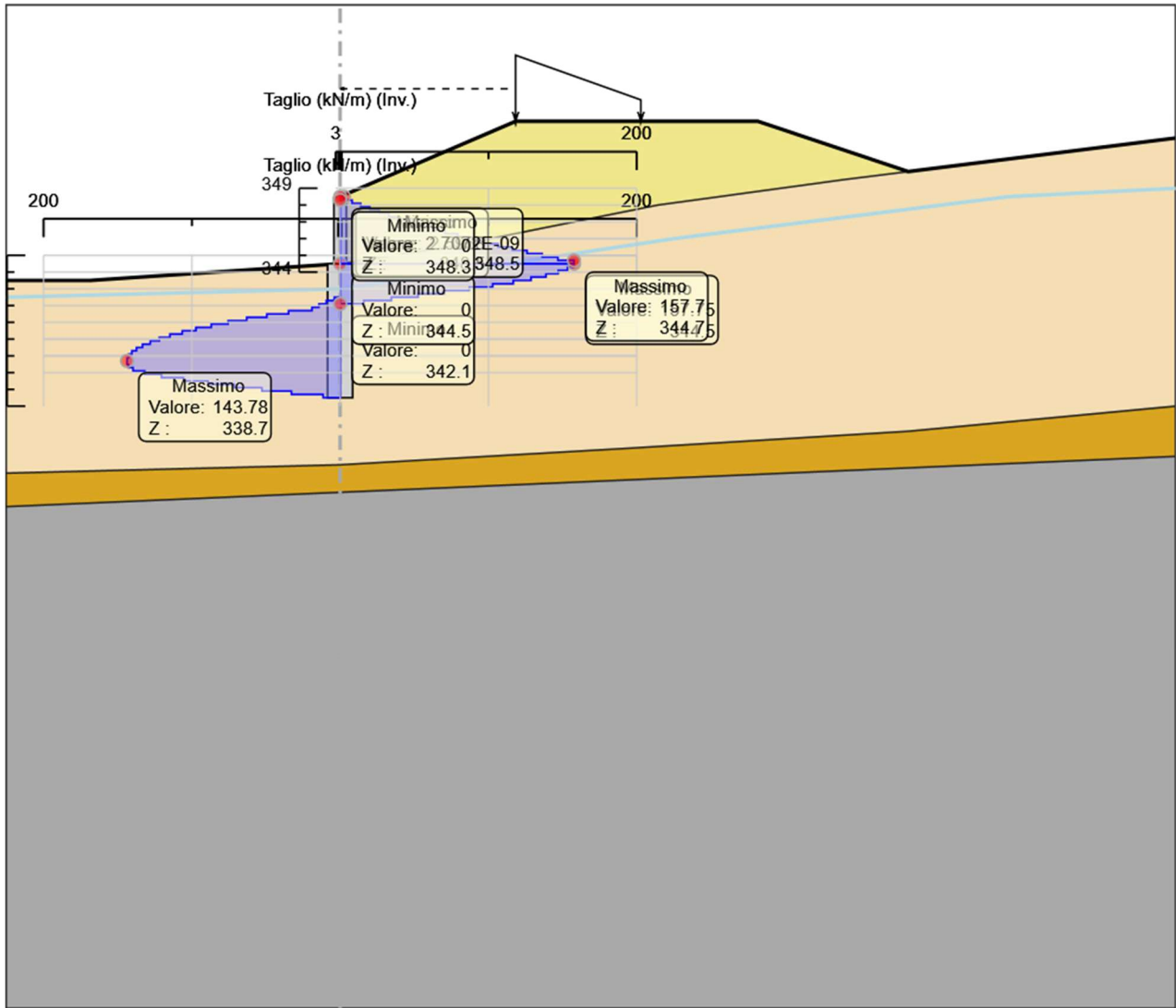
Tabella Inviluppi Taglio Pali 1500

Selected Design Assumptions Z (m)	Muro: Pali 1500	
	Inviluppi: Taglio Lato sinistro (kN/m)	Lato destro (kN/m)
344.5	0	157.754
344.3	0	157.754
344.1	0	153.343
343.9	0	147.038
343.7	0	138.839
343.5	0	128.746
343.3	0	116.759
343.1	0	102.878
342.9	0	87.103
342.7	0	70.137
342.5	3.841	52.616
342.3	9.293	34.535
342.1	14.293	15.908
341.9	19.008	0
341.7	34.777	0
341.5	49.45	0
341.3	63.016	0
341.1	75.505	0
340.9	86.908	0
340.7	97.252	0
340.5	106.531	0
340.3	114.767	0
340.1	121.957	0
339.9	128.119	0
339.7	133.251	0
339.5	137.369	0
339.3	140.473	0
339.1	142.574	0
338.9	143.673	0
338.7	143.778	0
338.5	143.778	0
338.3	142.891	0
338.1	139.661	0
337.9	131.805	0
337.7	120.464	0
337.5	105.645	0
337.3	89.157	0
337.1	71.536	0
336.9	52.784	0
336.7	32.893	0
336.5	11.473	0

Tabella Involuppi Taglio Paramento

Selected Design Assumptions Z (m)	Involuppi: Taglio Muro: Paramento	
	Lato sinistro (kN/m)	Lato destro (kN/m)
348.5	0	2.596
348.3	0	8.084
348.1	0	13.868
347.9	0	19.949
347.7	0	26.327
347.5	0	33.003
347.3	0	39.975
347.1	0	47.244
346.9	0	54.81
346.7	0	62.674
346.5	0	70.836
346.3	0	79.296
346.1	0	88.054
345.9	0	97.111
345.7	0	106.464
345.5	0	116.115
345.3	0	126.064
345.1	0	136.312
344.9	0	146.857
344.7	0	157.698
344.5	0	157.698

Grafico Inviluppi Taglio



Taglio

Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva

Design Assumption	Stage	Muro	Lato	Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva %
A2+M2+R1	Carichi traffico	Left Wall	LEFT	51.08
A2+M2+R1	Carichi traffico	Left Wall	RIGHT	16.24

Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Attiva

Design Assumption	Stage	Muro	Lato	Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Attiva %
A2+M2+R1	Rilevato	Left Wall	LEFT	788.3
A2+M2+R1	Carichi traffico	Left Wall	RIGHT	100.04

RELAZIONE DI CALCOLO

MU06 – Verifiche terra rinforzata

Calcolo della spinta attiva con Coulomb

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Coulomb* è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura nell'ipotesi di parete ruvida.

Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione:

$$P_t = K_a \cdot \gamma_t \cdot z$$

La spinta S_t è applicata ad $1/3 H$ di valore

$$S_t = \frac{1}{2} \cdot \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_a$$

Avendo indicato con:

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta - \phi)}{\sin^2\beta \cdot \sin(\beta + \delta) \cdot \left[1 + \frac{\sin(\delta + \phi) \cdot \sin(\phi - \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \cdot \sin(\beta - \varepsilon)} \right]^2}$$

Valori limite di K_A , $\delta < (\beta - \phi - \varepsilon)$ secondo Muller-Breslau:

γ_t	Peso unità di volume del terreno;
β	Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;
ϕ	Angolo di resistenza al taglio del terreno;
δ	Angolo di attrito terra-muro;
ε	Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;
H	Altezza della parete.

Calcolo della spinta attiva con Rankine

Se $\varepsilon = \delta = 0$ e $\beta = 90^\circ$ (muro con parete verticale liscia e terrapieno con superficie orizzontale) la spinta S_t si semplifica nella forma:

$$S_t = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \frac{(1 - \sin \phi)}{(1 + \sin \phi)} = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

che coincide con l'equazione di Rankine per il calcolo della spinta attiva del terreno con terrapieno orizzontale.

In effetti Rankine adottò essenzialmente le stesse ipotesi fatte da Coulomb, ad eccezione del fatto che trascurò l'attrito terra-muro e la presenza di coesione. Nella sua formulazione generale l'espressione di K_a di Rankine si presenta come segue:

$$K_a = \cos \varepsilon \frac{\cos \varepsilon - \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \phi}}{\cos \varepsilon + \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \phi}}$$

Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Mononobe & Okabe* riguarda la valutazione della spinta in condizioni sismiche con il metodo pseudo-statico. Esso è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura in una configurazione fittizia

di calcolo nella quale l'angolo ε , di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, e l'angolo β , di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità θ tale che:

$$\operatorname{tg} \theta = k_h / (1 \pm k_v)$$

con k_h coefficiente sismico orizzontale e k_v verticale.

Calcolo coefficienti sismici (NTC 2008)

Secondo le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008) i coefficienti sismici k_h e k_v sono calcolati come:

$$k_h = \beta_m \cdot (a_{\max} / g) \quad \cdot k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

β_m coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito; per i muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno il coefficiente β_m assume valore unitario. Per i muri liberi di traslare o ruotare intorno al piede, si può assumere che l'incremento di spinta dovuto al sisma agisca nello stesso punto di quella statica. Negli altri casi, in assenza di studi specifici, si assume che tale incremento sia applicato a metà altezza del muro.

a_{\max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

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

S coefficiente comprendente l'effetto di amplificazione stratigrafica S_s e di amplificazione topografica S_T .

a_g accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Effetto dovuto alla coesione

La coesione induce delle pressioni negative costanti pari a:

$$P_c = -2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

Non essendo possibile stabilire a priori quale sia il decremento indotto nella spinta per effetto della coesione, è stata calcolata un'altezza critica Z_C come segue:

$$Z_c = \frac{2 \cdot c}{\gamma} \cdot \frac{1}{\sqrt{K_A}} - \frac{Q \cdot \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \varepsilon)}}{\gamma}$$

Dove:

Q Carico agente sul terrapieno;

Se $Z_c < 0$ è possibile sovrapporre direttamente gli effetti, con decremento pari a:

$$S_c = P_C \cdot H$$

con punto di applicazione pari a $H/2$.

Carico uniforme sul terrapieno

Un carico Q , uniformemente distribuito sul piano campagna induce delle pressioni costanti pari a:

$$P_q = K_a \cdot Q \cdot \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \varepsilon)}$$

Per integrazione, una spinta pari a S_q :

$$S_q = K_a \cdot Q \cdot H \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \varepsilon)}$$

Con punto di applicazione ad $H/2$, avendo indicato con K_a il coefficiente di spinta attiva secondo *Muller-Breslau*.

Spinta attiva in condizioni sismiche

In presenza di sisma la forza di calcolo esercitata dal terrapieno sul muro è data da:

Dove:

H altezza muro

k_v coefficiente sismico verticale

γ peso per unità di volume del terreno

K coefficienti di spinta attiva totale (statico + dinamico)

E_{ws} spinta idrostatica dell'acqua

E_{wd} spinta idrodinamica.

Per terreni impermeabili la spinta idrodinamica $E_{wd} = 0$, ma viene effettuata una correzione sulla valutazione dell'angolo θ della formula di Mononobe & Okabe così come di seguito:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\gamma_{\text{sat}}}{\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Nei terreni ad elevata permeabilità in condizioni dinamiche continua a valere la correzione di cui sopra, ma la spinta idrodinamica assume la seguente espressione:

$$E_{wd} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H^2$$

Con H' altezza del livello di falda misurato a partire dalla base del muro.

Spinta idrostatica

La falda con superficie distante H_w dalla base del muro induce delle pressioni idrostatiche normali alla parete che, alla profondità z , sono espresse come segue:

$$P_w(z) = \gamma_w \cdot z$$

Con risultante pari a:

$$S_w = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot H^2$$

La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo γ_t con γ'_t ($\gamma'_t = \gamma_{\text{saturo}} - \gamma_w$), peso efficace del materiale immerso in acqua.

Resistenza passiva

Per terreno omogeneo il diagramma delle pressioni risulta lineare del tipo:

$$P_t = K_p \cdot \gamma_t \cdot z$$

per integrazione si ottiene la spinta passiva:

$$S_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_p$$

Avendo indicato con:

$$K_p = \frac{\text{sen}^2(\phi + \beta)}{\text{sen}^2\beta \cdot \text{sen}(\beta - \delta) \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\text{sen}(\delta + \phi) \cdot \text{sen}(\phi + \varepsilon)}{\text{sen}(\beta - \delta) \cdot \text{sen}(\beta - \varepsilon)}} \right]^2}$$

(Muller-Breslau) con valori limiti di δ pari a:

$$\delta < \beta - \phi - \varepsilon$$

L'espressione di K_p secondo la formulazione di Rankine assume la seguente forma:

$$K_p = \frac{\cos \varepsilon + \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \phi}}{\cos \varepsilon - \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \phi}}$$

Carico limite

Una delle prime famiglie di formule per il calcolo della capacità portate fu proposta da Terzaghi nel 1943.

$$q_{\text{ult}} = c \cdot N_c \cdot s_c + \gamma \cdot D \cdot N_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

dove

$$N_q = \frac{a^2}{2 \cdot \cos^2(45 + \varphi/2)}$$

$$a = e^{(0.75\pi - \varphi/2) \tan \varphi}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$$

$$N_\gamma = \frac{\tan \varphi}{2} \cdot \left(\frac{K_{p\gamma}}{\cos^2 \varphi} - 1 \right)$$

dove $s_c=1$ e $s_\gamma=1$. per fondazioni nastriformi.

Brinch Hansen – Vesic – (1970)

Affinché la fondazione di un muro possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$V_d \leq R_d$$

Dove V_d è il carico di progetto, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso del muro; mentre R_d è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici. Nella valutazione analitica del carico limite di progetto R_d si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine. Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$R / A' = (2 + \pi) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c + q$$

Dove:

$A' = B' \cdot L'$ area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

c_u coesione non drenata

q pressione litostatica totale sul piano di posa

s_c fattore di forma

$$s_c = 0,2 \cdot (B'/L') \quad \text{per fondazioni rettangolari}$$

i_c Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H.

$$i_c = 0,5 \cdot \left(1 + \sqrt{1 - H/A' \cdot c_u} \right)$$

c_a aderenza alla base, pari alla coesione o ad una sua frazione.

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$R / A' = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \cdot \tan^2(45 + \phi'/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan \phi'$$

Fattori di forma

$$s_q = 1 + (B'/L') \cdot \sin \phi' \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0.3 \cdot (B'/L') \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1) \quad \text{per forma rettangolare, quadrata o circolare.}$$

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a B'

$$i_q = [1 - H / (V + A' \cdot c' \cdot \cot \phi')]^m$$

$$i_\gamma = [1 - H / (V + A' \cdot c' \cdot \cot \phi')]^{m+1}$$

$$i_c = (i_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$$

$$m = m_B = \frac{\left[2 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \right]} \quad \text{con } H//B'$$

$$m = m_L = \frac{\left[2 + \left(\frac{L'}{B'} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{L'}{B'} \right) \right]} \quad \text{con } H//L'$$

Se H forma un angolo θ con la direzione di L', l'esponente "m" viene calcolato con la seguente espressione:

$$m = m_\theta = m_L \cos^2 \theta + m_B \sin^2 \theta$$

Oltre ai fattori correttivi di cui sopra sono considerati quelli complementari della profondità del piano di posa e dell'inclinazione del piano di posa e del piano campagna (Hansen).

Convenzione segni

Forze verticali positive se dirette dall'alto verso il basso;

Forze orizzontali positive se dirette da monte verso valle;

Coppie positive se antiorarie;

Angoli positivi se antiorari.

Terra Rinforzata

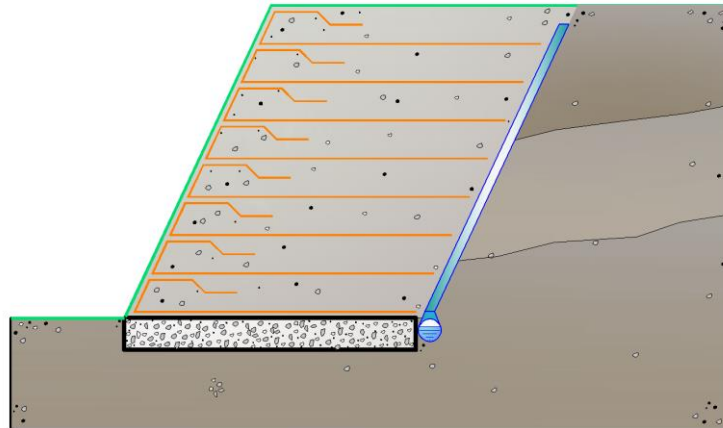
Verifiche Interne

Sono finalizzate ad analizzare i possibili meccanismi di collasso che coinvolgono parzialmente o integralmente la porzione di terreno rinforzato.

Hanno lo scopo di valutare il livello di stabilità dell'ammasso rinforzato, a fronte dell'introduzione di possibili cinematismi di rottura che tendono a pregiudicare la funzionalità e la sicurezza del manufatto.

Le verifiche effettuate comprendono:

- Verifica di resistenza dei rinforzi (Rottura);
- Verifica allo sfilamento (Pullout).



Verifica a rottura

Si valuta l'entità della resistenza mobilitata dal rinforzo per garantire il raggiungimento di una condizione stabile dell'opera.

La sollecitazione instabilizzante è rappresentata dalla spinta a cui è sottoposto il manufatto da parte dei sistemi di carichi applicati (terreno a tergo, eventuale sovraccarico esterno ed azione del sisma).

La resistenza disponibile nel rinforzo si calcola a partire dalla sua resistenza nominale, applicando opportuni fattori di sicurezza:

$$T_{\text{allow}} = \frac{T_{\text{nom}}}{\prod_{i=1}^n FS_i}$$

E' necessario che per ogni livello z_i , profondità a cui è collocato il rinforzo rispetto alla sommità dell'opera, venga soddisfatta la relazione:

$$\frac{T_{\text{allow}}}{T_{z_i}} \geq FS_{\text{rottura}}$$

Avendo indicato con T_{z_i} la resistenza richiesta, alla quota z_i , per garantire la stabilità del manufatto.

Verifica a sfilamento

La verifica a rottura, definisce l'entità della resistenza a trazione che il rinforzo deve essere in grado di mobilitare per stabilizzare l'opera.

Il trasferimento della resistenza a trazione dal rinforzo al terreno può avvenire grazie all'interazione che si sviluppa all'interno del rinforzo in corrispondenza del tratto ancorato nella parte stabile del pendio.

In funzione della lunghezza di ancoraggio del telo, infatti, per effetto della spinta generata dalle sollecitazioni a tergo del tratto di terreno rinforzato, si sviluppa internamente al rinforzo, una resistenza che tende, per reazione, ad opporsi al movimento verso l'esterno del sistema composito.

Tale resistenza viene chiamata resistenza allo sfilamento (Pullout).

La resistenza allo sfilamento può essere determinata dalla seguente relazione:

$$T_{\text{pullout}} = 2 \cdot (L_e \cdot f_b \cdot \tan \varphi) \cdot \sigma'_v$$

dove:

T_{pullout} Resistenza mobilitata da un rinforzo ancorato per una lunghezza L_e all'interno della parte stabile del terreno;

f_b Coefficiente di Pullout;

σ'_v Tensioni normali applicate sulla parte del rinforzo ancorato nella zona resistente, alla quota z_i ; in tale valore è incluso il contributo del sovraccarico, se presente.

La verifica a sfilamento risulta soddisfatta se:

$$\frac{T_{\text{pullout}}}{T_{z_i}} \geq FS_{\text{rottura}}$$

Dove T_{z_i} è la resistenza richiesta, alla quota z_i , per garantire la stabilità del manufatto.

Forze di trazione nei rinforzi

Si determinano le forze di trazione nei vari rinforzi, date dall'area del diagramma delle pressioni relative a ogni striscia. Per il diagramma triangolare relativo al terrapieno, la forza nella striscia è data dall'area dell'elemento trapezio $ab'd'e$ viene trasformata nella pressione media q_i alla profondità della striscia Z_i mediante la relazione:

$$q_i = \gamma \cdot z_i \cdot K_a$$

La pressione q_i agisce su una area definita dalla spaziatura delle armature $h \times s$ e corrisponde a una forza di trazione nel rinforzo pari a:

$$T_i = q_i \cdot A = \gamma \cdot z_i \cdot K_a \cdot (h \cdot s)$$

Per l'equilibrio la somma delle forze di trazione deve essere pari alla componente orizzontale delle forze agenti.

$$\sum T_i = P_{ah}$$

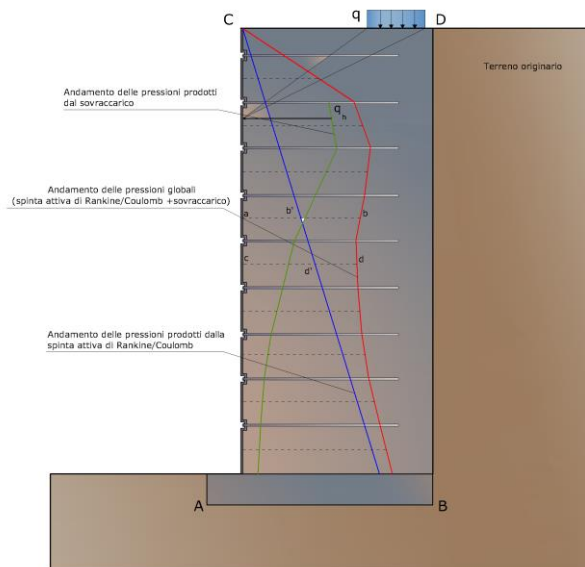


Fig. 2

Calcolo delle lunghezze efficaci L_e

Si calcolano le lunghezze delle strisce L_e che compaiono in Figura 3, necessarie affinché si sviluppi una forza d'attrito $F_r = T_i$. Sulla base di tali lunghezze e delle dimensioni del cuneo di Rankine, si può determinare la lunghezza globale L_o delle strisce da utilizzare. In generale, per tutta l'altezza del muro si usano strisce della stessa lunghezza. La lunghezza di ancoraggio dipende dal coefficiente d'attrito $f = \tan \delta$ tra suolo e rinforzo, essendo δ un'opportuna frazione dell'angolo d'attrito interno del terreno ϕ . Se la striscia è sufficientemente scabra $\delta = \phi$, mentre per metalli lisci δ è compreso orientativamente tra 20° e 25° .

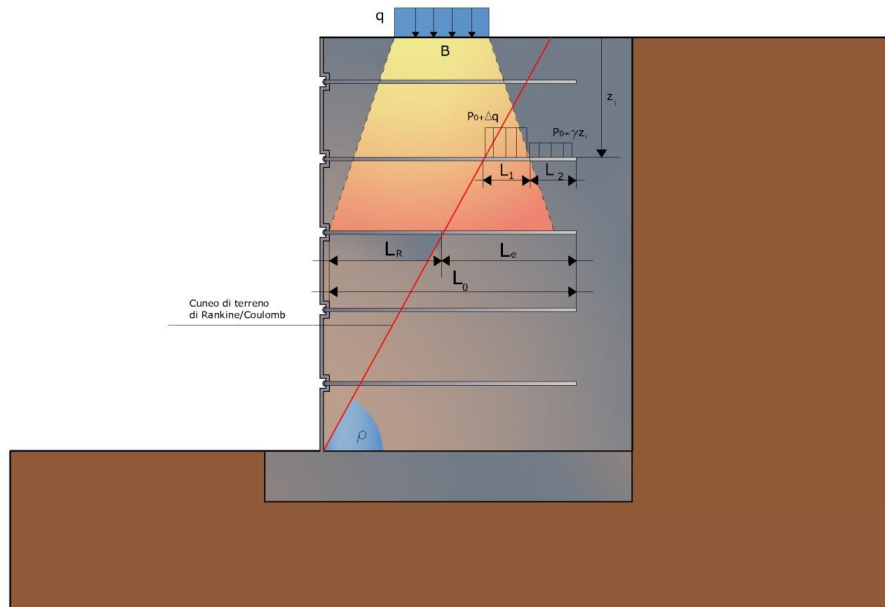


Fig. 3

Per strisce di dimensioni $b \times L_e$ o per fogli di geotessile di larghezza unitaria e lunghezza L_e , entrambe le facce sviluppano attrito; per barre circolari, l'attrito resistente è sviluppato lungo il perimetro. In ogni caso, l'attrito è dato dal prodotto di f per la pressione normale al rinforzo calcolata come $p_0 = \gamma z_i$ dove z_i è la distanza *media* dalla superficie del terreno al rinforzo. Si ha quindi:

Per strisce:

$$F_i = 2 \cdot (\gamma \cdot z_i) \cdot \tan \delta \cdot (b \cdot L_e) \geq T_i$$

Per barre:

$$F_i = \pi \cdot D \cdot (\gamma \cdot z_i) \cdot \tan \delta \cdot (L_e) \geq T_i$$

Per fogli:

$$F_i = 2 \cdot (\gamma \cdot z_i) \cdot \tan \delta \cdot (1 \cdot L_e) \geq T_i$$

Se nelle precedenti formule il segno \geq è sostituito col segno di uguale, il coefficiente di sicurezza FS è pari a 1. Se si assume $FS > 1$, il valore di L_e risulta necessariamente maggiore di quello dato da queste formule.

Si determina quindi la sezione delle armature $b \times t$. Per barre o strisce in metallo avente sforzo ammissibile pari a $f_a = f_y/FS$ si ha:

$$b \cdot t \cdot f_a > T_i \quad \text{oppure} \quad \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot f_a > T_i$$

Nel caso di geotessili si ha il problema che la resistenza del tessuto varia a seconda del produttore; tra quelli possibili si sceglie un tessuto che:

Larghezza striscia $b \times$ resistenza per unità di larghezza $\geq T_i$

Descrizione

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,09
Coefficiente azione sismica orizzontale	0,05

Geometria

Nr.	X (m)	Y (m)
1	0,0	0,0
2	1,39	2,4

3	5,39	2,4
4	4,0	0,0

Terreno rinforzo

Peso unità di volume	20,0 kN/m ³
Peso unità di volume saturo	20,0 kN/m ³
Angolo di resistenza a taglio	35,0 °
Coesione	0,0 kN/m ²
Angolo attrito terreno rinforzo	23,33 °

Terreno riempimento

Peso unità di volume	19,0 kN/m ³
Peso unità di volume saturo	19,0 kN/m ³
Angolo di resistenza a taglio	34,0 °
Coesione	0,0 kN/m ²
Angolo di attrito terra muro	22,0 °

Terreno fondazione

Peso unità di volume	19,0 kN/m ³
Peso unità di volume saturo	19,0 kN/m ³
Angolo di resistenza a taglio	30,0 °
Coesione	10,0 kN/m ²

Nr.	X (m)	y (m)	Tipo	Lunghezza ripiegatura (Lrip) (m)	Lunghezza facciata (Lf) (m)	Lunghezza non efficace (Lr) (m)	Lunghezza efficace (Le) (m)	Lunghezza totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Fattore sicurezza a sfilamento	Fattore sicurezza a rottura
1	0,0	0,0	(1) Geogriglie	1	0,6	0	4	4	--	11,46	1,68
2	0,35	0,6	(1) Geogriglie	1	0,6	0	4	4	--	12,52	2,22
3	0,7	1,2	(1) Geogriglie	1	0,6	0	4	4	--	15,07	3,33
4	1,04	1,8	(1) Geogriglie	1	0,6	0	4	4	--	24,33	6,75

Elenco rinforzi

Tipo	Descrizione	Struttura (mm)	Resistenza
1	Geogriglie	Geosintetici	28,99 kN/m

Descrizione

Nr.	Confermare con il pulsante destro del mouse	X (m)	Y (m)	Lx (m)	Ly (m)	Q (kN/m ²)
-----	---	-------	-------	--------	--------	------------------------

1	Rilevato	2,4	2,4	3	1	20
---	----------	-----	-----	---	---	----

Combinazione 1 (A1+M1)

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,00
2	Spinta terreno	1,30
3	Spinta falda	1,30
4	Spinta sismica in x	0,00
5	Spinta sismica in y	0,00
6	Rilevato	1,30

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali SLU
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione	1
3	Coesione non drenata	1
4	Peso unità volume	1
	Angolo attrito terreno rinforzo	

Nr.	Parametro	Coefficiente parziale resistenza [R]
2	Carico limite	1,4
3	Scorrimento	1,1
4	Resistenza terreno	1
5	Ribaltamento	0

Combinazione 2 (A2+M2)

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,00
2	Spinta terreno	1,00
3	Spinta falda	1,00
4	Spinta sismica in x	0,00
5	Spinta sismica in y	0,00
6	Rilevato	1,00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali SLU
1	Tangente angolo res. taglio	1,25
2	Coesione	1,25
3	Coesione non drenata	1,4
4	Peso unità volume	1
	Angolo attrito terreno rinforzo	

Nr.	Parametro	Coefficiente parziale resistenza [R]
2	Carico limite	1
3	Scorrimento	1
4	Resistenza terreno	1
5	Ribaltamento	0

Combinazione 3 (EQU+M2)

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	0,90
2	Spinta terreno	1,10
3	Spinta falda	1,10
4	Spinta sismica in x	0,00
5	Spinta sismica in y	0,00
6	Rilevato	1,10

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali SLU
1	Tangente angolo res. taglio	1,25
2	Coesione	1,25

3	Coesione non drenata	1,4
4	Peso unità volume	1
	Angolo attrito terreno rinforzo	

Nr.	Parametro	Coefficiente parziale resistenza [R]
2	Carico limite	1
3	Scorrimento	1
4	Resistenza terreno	1
5	Ribaltamento	0

Combinazione 4 (Sisma)

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,00
2	Spinta terreno	1,00
3	Spinta falda	1,00
4	Spinta sismica in x	1,00
5	Spinta sismica in y	1,00
6	Rilevato	1,00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali SLU
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione	1
3	Coesione non drenata	1
4	Peso unità volume	1
	Angolo attrito terreno rinforzo	

Nr.	Parametro	Coefficiente parziale resistenza [R]
2	Carico limite	1,4
3	Scorrimento	1,1
4	Resistenza terreno	1
5	Ribaltamento	0

Combinazione 1 (A1+M1)

Nr.	X (m)	y (m)	Tipo	Lunghezza ripiegatura (Lrip) (m)	Lunghezza facciata (Lf) (m)	Lunghezza non efficace (Lr) (m)	Lunghezza efficace (Le) (m)	Lunghezza totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Fattore sicurezza a sfilamento	Fattore sicurezza a rottura
1	0,0	0,0	(1) Geogri- lie	1	0,6	0	4	4	--	11,46	1,68
2	0,35	0,6	(1) Geogri- lie	1	0,6	0	4	4	--	12,52	2,22
3	0,7	1,2	(1) Geogri- lie	1	0,6	0	4	4	--	15,07	3,33
4	1,04	1,8	(1) Geogri- lie	1	0,6	0	4	4	--	24,33	6,75

VERIFICHE GLOBALI [Condizione drenata]

Piano di rottura passante per $(x_{r1}, y_{r1}) = (5,4/0,0)$ m

Piano di rottura passante per $(x_{r2}, y_{r2}) = (5,4/2,4)$ m

Centro di rotazione (xro,yro) = (0,0/0,0) m

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato;
Qf	Quota finale strato
P.U.V.	Peso unità di volume (kN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio;
Delta	Angolo di attrito terra muro (°);
c	Coesione (kN/m ²);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);

Qi	Qf	P.U.V.	Eps	Fi	Delta	c	β
2,4	0,0	19,0	31,0	34,0	22,0	0,0	0,0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta
Ka	Coefficiente di spinta attiva,
Kd	Coefficiente di spinta dinamica,
Dk	Coefficiente di incremento dinamico,

μ	Ka	Kd	Dk
68,0	0,49	0,87	0,39

Spinte risultanti e punto di applicazione

Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (m);

	Fx	Fy	Z(Rpx)	Z(Rpy)
Spinta attiva	32,13	12,98	5,39	0,8
Spinta attiva Coesione	0,0	0,0	5,39	1,2
Spinta incremento sismico	0,0	0,0	5,39	0,8
Spinta statica sovraccarico	28,18	11,39	5,39	1,2
Spinta incr. sismico sovraccarico	0,0	0,0	5,39	1,2
Peso muro	0,0	192,0	2,7	1,2

Momento stabilizzante	648,77 kNm
Momento ribaltante	59,52 kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	60,31 kN
Sommatoria forze verticali	216,37 kN
Coefficiente di attrito	0,58
Adesione	10,0 kN/m ²
Forze normali al piano di scorrimento	216,37 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	60,31 kN
Coeff. sicurezza traslazione Csd	2,49

Traslazione verificata Csd>1

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	648,77 kNm
Momento ribaltante	59,52 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento Csv	10,9

Muro verificato a ribaltamento Csv>1

Carico limite: TERZAGHI

Somma forze in direzione x	60,31 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	216,37 kN
Somma momenti	-589,25 kNm
Larghezza fondazione	4,0 m
Eccentricità su B	0,72 m
Peso unità di volume	19,0 kN/m ³
Angolo di resistenza al taglio	30,0 °
Coesione	10,0 kN/m ²
Terreno sulla fondazione	0,0 m
Peso terreno sul piano di posa	19,0 kN/m ³
Nq	22,46
Nc	37,16
Ng	19,73
sq	1,0
sc	1,0
sg	1,0
Zg (Effetto inerziale in fondazione)	1,0
iq	1,0
ic	1,0
ig	1,0
Carico limite verticale (Qlim)	3203,48 kN
Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	14,81
Carico limite verificato Csq>1	

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	2,72 m
Larghezza della fondazione	4,0 m

x = 0,17

Tensione... 0,0 kN/m²

x = 4,0

Tensione... 112,99 kN/m²

Combinazione 2 (A2+M2)

Nr.	X (m)	y (m)	Tipo	Lunghezza ripiegatura (Lrip) (m)	Lunghezza facciata (Lf) (m)	Lunghezza non efficace (Lr) (m)	Lunghezza efficace (Le) (m)	Lunghezza totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Fattore sicurezza a sfilamento	Fattore sicurezza a rottura
1	0,0	0,0	(1) Geogriglie	1	0,6	0	4	4	--	6,87	1,31
2	0,35	0,6	(1) Geogriglie	1	0,6	0	4	4	--	7,38	1,74
3	0,7	1,2	(1) Geogriglie	1	0,6	0,01	3,99	4	--	8,6	2,6
4	1,04	1,8	(1) Geogriglie	1	0,6	0,01	3,99	4	--	12,99	5,26

VERIFICHE GLOBALI [Condizione drenata]

Piano di rottura passante per (xr1,yr1) = (5,4/0,0) m

Piano di rottura passante per $(x_{r2}, y_{r2}) = (5,4/2, 4)$ m
 Centro di rotazione $(x_{ro}, y_{ro}) = (0,0/0,0)$ m

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato;
Qf	Quota finale strato
P.U.V.	Peso unità di volume (kN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio;
Delta	Angolo di attrito terra muro (°);
c	Coesione (kN/m ²);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);

Qi	Qf	P.U.V.	Eps	Fi	Delta	c	β
2,4	0,0	19,0	31,0	28,35	22,0	0,0	0,0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta
Ka	Coefficiente di spinta attiva,
Kd	Coefficiente di spinta dinamica,
Dk	Coefficiente di incremento dinamico,

μ	Ka	Kd	Dk
68,0	0,84	0,96	0,12

Spinte risultanti e punto di applicazione

Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (m);

	Fx	Fy	Z(Rpx)	Z(Rpy)
Spinta attiva	42,38	17,12	5,39	0,8
Spinta attiva Coesione	0,0	0,0	5,39	1,2
Spinta incremento sismico	0,0	0,0	5,39	0,8
Spinta statica sovraccarico	37,18	15,02	5,39	1,2
Spinta incr. sismico sovraccarico	0,0	0,0	5,39	1,2
Peso muro	0,0	192,0	2,7	1,2

Momento stabilizzante	690,69 kNm
Momento ribaltante	78,51 kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	79,56 kN
Sommatoria forze verticali	224,14 kN
Coefficiente di attrito	0,46
Adesione	8,0 kN/m ²
Forze normali al piano di scorrimento	224,14 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	79,56 kN
Coeff. sicurezza traslazione Csd	1,7

Traslazione verificata Csd > 1

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	690,69 kNm
Momento ribaltante	78,51 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento Csv	8,8

Muro verificato a ribaltamento Csv > 1

Carico limite: TERZAGHI

Somma forze in direzione x	79,56 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	224,14 kN
Somma momenti	-612,17 kNm
Larghezza fondazione	4,0 m
Eccentricità su B	0,73 m
Peso unità di volume	19,0 kN/m ³
Angolo di resistenza al taglio	24,79 °
Coesione	8,0 kN/m ²
Terreno sulla fondazione	0,0 m
Peso terreno sul piano di posa	19,0 kN/m ³
Nq	12,43
Nc	24,75
Ng	9,46
sq	1,0
sc	1,0
sg	1,0
Zg (Effetto inerziale in fondazione)	1,0
iq	1,0
ic	1,0
ig	1,0
Carico limite verticale (Qlim)	2229,84 kN
Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	9,95
Carico limite verificato Csq>1	

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	2,73 m
Larghezza della fondazione	4,0 m

x = 0,19

Tensione... 0,0 kN/m²

x = 4,0

Tensione... 117,77 kN/m²

Combinazione 3 (EQU+M2)

Nr.	X (m)	y (m)	Tipo	Lunghezza ripiegatura (Lrip) (m)	Lunghezza facciata (Lf) (m)	Lunghezza non efficace (Lr) (m)	Lunghezza efficace (Le) (m)	Lunghezza totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Fattore sicurezza a sfilamento	Fattore sicurezza a rottura
1	0,0	0,0	(1) Geogri lie	1	0,6	0	4	4	--	6,33	1,19
2	0,35	0,6	(1) Geogri lie	1	0,6	0	4	4	--	6,85	1,58
3	0,7	1,2	(1) Geogri lie	1	0,6	0,01	3,99	4	--	8,07	2,37
4	1,04	1,8	(1) Geogri lie	1	0,6	0,01	3,99	4	--	12,45	4,78

VERIFICHE GLOBALI [Condizione drenata]

Piano di rottura passante per $(x_{r1}, y_{r1}) = (5,4/0,0)$ m
Piano di rottura passante per $(x_{r2}, y_{r2}) = (5,4/2,4)$ m
Centro di rotazione $(x_{ro}, y_{ro}) = (0,0/0,0)$ m

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato;
Qf	Quota finale strato
P.U.V.	Peso unità di volume (kN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio;
Delta	Angolo di attrito terra muro (°);
c	Coesione (kN/m ²);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);

Qi	Qf	P.U.V.	Eps	Fi	Delta	c	β
2,4	0,0	19,0	31,0	28,35	22,0	0,0	0,0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta
Ka	Coefficiente di spinta attiva,
Kd	Coefficiente di spinta dinamica,
Dk	Coefficiente di incremento dinamico,

μ	Ka	Kd	Dk
68,0	0,84	0,96	0,12

Spinte risultanti e punto di applicazione

Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (m);

	Fx	Fy	Z(Rpx)	Z(Rpy)
Spinta attiva	46,62	18,83	5,39	0,8
Spinta attiva Coesione	0,0	0,0	5,39	1,2
Spinta incremento sismico	0,0	0,0	5,39	0,8
Spinta statica sovraccarico	40,89	16,52	5,39	1,2
Spinta incr. sismico sovraccarico	0,0	0,0	5,39	1,2
Peso muro	0,0	172,8	2,7	1,2

Momento stabilizzante	656,27 kNm
Momento ribaltante	86,37 kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	87,51 kN
Sommatoria forze verticali	208,16 kN
Coefficiente di attrito	0,46
Adesione	8,0 kN/m ²
Forze normali al piano di scorrimento	208,16 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	87,51 kN
Coeff. sicurezza traslazione Csd	1,46

Traslazione verificata Csd > 1

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	656,27 kNm
Momento ribaltante	86,37 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento Csv	7,6

Muro verificato a ribaltamento $C_{sv} > 1$

Carico limite: TERZAGHI

Somma forze in direzione x	87,51 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	208,16 kN
Somma momenti	-569,9 kNm
Larghezza fondazione	4,0 m
Eccentricità su B	0,74 m
Peso unità di volume	19,0 kN/m ³
Angolo di resistenza al taglio	24,79 °
Coesione	8,0 kN/m ²
Terreno sulla fondazione	0,0 m
Peso terreno sul piano di posa	19,0 kN/m ³
Nq	12,43
Nc	24,75
Ng	9,46
sq	1,0
sc	1,0
sg	1,0
Zg (Effetto inerziale in fondazione)	1,0
iq	1,0
ic	1,0
ig	1,0
Carico limite verticale (Qlim)	2229,84 kN
Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	10,71
Carico limite verificato Csq > 1	

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	2,74 m
Larghezza della fondazione	4,0 m

x = 0,21

Tensione... 0,0 kN/m²

x = 4,0

Tensione... 109,95 kN/m²

Combinazione 4 (Sisma)

Nr.	X (m)	y (m)	Tipo	Lunghezza ripiegatura (Lrip) (m)	Lunghezza facciata (Lf) (m)	Lunghezza non efficace (Lr) (m)	Lunghezza efficace (Le) (m)	Lunghezza totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Fattore sicurezza a sfilamento	Fattore sicurezza a rottura
1	0,0	0,0	(1) Geogri lie	1	0,6	0	4	4	--	8,57	1,31
2	0,35	0,6	(1) Geogri lie	1	0,6	0	4	4	--	9,22	1,73
3	0,7	1,2	(1) Geogri lie	1	0,6	0	4	4	--	10,75	2,6
4	1,04	1,8	(1) Geogri lie	1	0,6	0	4	4	--	16,24	5,24

VERIFICHE GLOBALI [Condizione drenata]

Piano di rottura passante per $(x_{r1}, y_{r1}) = (5,4/0,0)$ m

Piano di rottura passante per $(x_{r2}, y_{r2}) = (5,4/2,4)$ m

Centro di rotazione $(x_{ro}, y_{ro}) = (0,0/0,0)$ m

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato;
Qf	Quota finale strato
P.U.V.	Peso unità di volume (kN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio;
Delta	Angolo di attrito terra muro (°);
c	Coesione (kN/m ²);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);

Qi	Qf	P.U.V.	Eps	Fi	Delta	c	β
2,4	0,0	19,0	31,0	34,0	22,0	0,0	0,0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta
Ka	Coefficiente di spinta attiva,
Kd	Coefficiente di spinta dinamica,
Dk	Coefficiente di incremento dinamico,

μ	Ka	Kd	Dk
68,0	0,49	0,87	0,39

Spinte risultanti e punto di applicazione

Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (m);

	Fx	Fy	Z(Rpx)	Z(Rpy)
Spinta attiva	24,71	9,98	5,39	0,8
Spinta attiva Coesione	0,0	0,0	5,39	1,2
Spinta incremento sismico	19,55	7,9	5,39	0,8
Spinta statica sovraccarico	21,68	8,76	5,39	1,2
Spinta incr. sismico sovraccarico	17,15	6,93	5,39	1,2
Peso muro	17,28	192,0	2,7	1,2

Momento stabilizzante 698,39 kNm

Momento ribaltante 102,74 kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	100,37 kN
Sommatoria forze verticali	225,57 kN
Coefficiente di attrito	0,58
Adesione	10,0 kN/m ²
Forze normali al piano di scorrimento	225,57 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	100,37 kN
Coeff. sicurezza traslazione Csd	1,54

Traslazione verificata Csd>1

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante 698,39 kNm

Momento ribaltante 102,74 kNm

Coeff. sicurezza ribaltamento C_{sv}
Muro verificato a ribaltamento $C_{sv} > 1$

6,8

Carico limite: TERZAGHI

Somma forze in direzione x	100,37 kN
Somma forze in direzione y (F_y)	225,57 kN
Somma momenti	-595,65 kNm
Larghezza fondazione	4,0 m
Eccentricità su B	0,64 m
Peso unità di volume	19,0 kN/m ³
Angolo di resistenza al taglio	30,0 °
Coesione	10,0 kN/m ²
Terreno sulla fondazione	0,0 m
Peso terreno sul piano di posa	19,0 kN/m ³
N_q	22,46
N_c	37,16
N_g	19,73
s_q	1,0
s_c	1,0
s_g	1,0
Z_g (Effetto inerziale in fondazione)	1,0
i_q	1,0
i_c	1,0
i_g	1,0
Carico limite verticale (Q_{lim})	3203,48 kN
Fattore sicurezza ($C_{sq} = Q_{lim}/F_y$)	14,2
Carico limite verificato $C_{sq} > 1$	

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	2,64 m
Larghezza della fondazione	4,0 m

$x = 0,0$	Tensione... 2,2 kN/m ²
$x = 4,0$	Tensione... 110,58 kN/m ²

MU06 – Verifiche di stabilità globale

Definizione

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

Introduzione all'analisi di stabilità

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

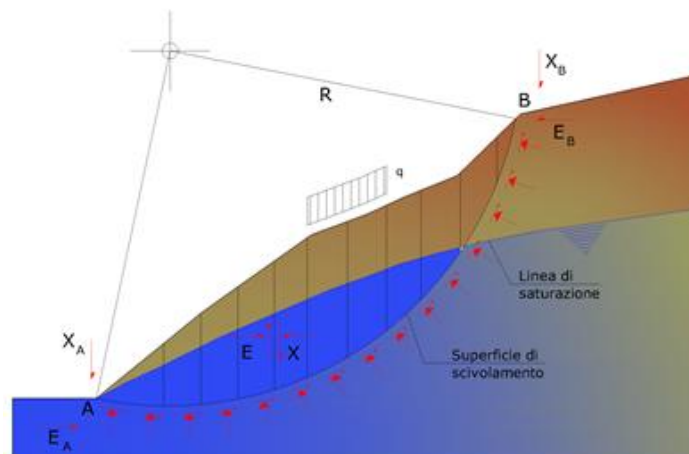
1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
2. In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

$$F = \tau_f / \tau$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.). Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.



Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a n , il problema presenta le seguenti incognite:

- n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;
- n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i ;
- $(n-1)$ forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- $(n-1)$ forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_i ;
- $(n-1)$ valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza F .

Complessivamente le incognite sono $(6n-2)$.

Mentre le equazioni a disposizione sono:

- equazioni di equilibrio dei momenti n ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n ;
- equazioni relative al criterio di rottura n .

Totale numero di equazioni $4n$.

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a :

$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a $(n-2)$ in quanto si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite. I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le $(n-2)$ indeterminazioni.

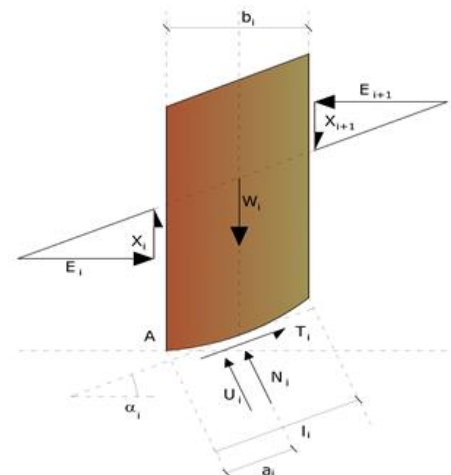
Metodo di Bishop (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

I valori di F e di ΔX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre $\Delta X = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.



Valutazione dell'azione sismica

La stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene verificata con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$

$$F_V = K_y W$$

Essendo:

- F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
- W peso concio;
- K_x coefficiente sismico orizzontale;
- K_y coefficiente sismico verticale.

Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia $m \times n$ e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955) – CONDIZIONI STATICHE

Calcolo eseguito secondo	NTC 2008 & Circ.
Numero di strati	4,0
Numero dei concii	50,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,1
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore x_i	-5,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore y_i	10,0 m
Ascissa vertice destro superiore x_s	20,0 m
Ordinata vertice destro superiore y_s	20,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	-25,0	-3,68
2	-12,11	-1,95
3	-9,34	-1,57
4	0,0	0,0
5	1,4	2,4

6	2,4	2,4
7	11,39	7,5
8	24,39	7,5
9	26,92	5,98
10	47,89	10,58

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	-25,0	-6,68
2	0,0	-2,0
3	47,89	7,58

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	-25,0	-3,68
2	-12,11	-1,95
3	-9,34	-1,57
4	0,0	0,0
5	4,0	0,0
6	5,4	2,4
7	26,92	5,98
8	47,89	10,58

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	-25,0	-10,09
2	47,89	-10,09

Vertici strato3

N	X (m)	y (m)
1	-25,0	-12,29
2	47,89	-12,29

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,3
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,3

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m ²)	Coesione non drenata (kN/m ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m ³)	Peso saturo (kN/m ³)	Litologia	
1	0		35	19	19	Rilevato	
2	10		30	19	19	Aate	
3	10		26	20	20	Salt	

4	70		36	23	23	Ap
---	----	--	----	----	----	----

Terra rinforzata

No	Tipologia	Tallow (kN)	Resistenza sfilamento (kN)
1	Geogriglie	28,99	49,54669
2	Geogriglie	28,99	40,84884
3	Geogriglie	28,99	32,84129
4	Geogriglie	28,99	26,11574

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m ²)
1	12,9	7,5	22,9	7,5	30

Risultati analisi pendio [NTC 2008 & Circ.]

Fs minimo individuato	1,4
Ascissa centro superficie	0,96 m
Ordinata centro superficie	12,35 m
Raggio superficie	12,75 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

$$x_c = 0,963 \quad y_c = 12,354 \quad R_c = 12,748 \quad F_s = 1,403$$

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m ²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0,28	-9,2	0,28	0,25	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	0,5	1,8
2	0,28	-7,9	0,28	0,72	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	1,0	1,9
3	0,28	-6,7	0,28	1,16	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	1,4	2,1
4	0,38	-5,2	0,38	2,23	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	2,5	3,0
5	0,18	-3,9	0,18	1,75	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	1,9	1,6
6	0,28	-2,9	0,28	4,9	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	5,1	3,3
7	0,28	-1,6	0,28	7,5	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	7,6	4,1
8	0,28	-0,4	0,28	10,07	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	10,1	4,9
9	0,38	1,1	0,38	17,94	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	17,8	8,0
10	0,18	2,4	0,18	9,27	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	9,1	4,0
11	0,28	3,4	0,28	14,71	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	14,4	6,3
12	0,28	4,6	0,28	14,61	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	14,1	6,3
13	0,28	5,9	0,28	14,47	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	13,9	6,2
14	0,28	7,2	0,28	14,76	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	14,1	6,2
15	0,28	8,4	0,28	15,4	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	14,6	6,4
16	0,28	9,7	0,28	16,0	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	15,1	6,6
17	0,28	11,0	0,28	16,57	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	15,6	6,8
18	0,28	12,3	0,29	17,11	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	16,0	6,9
19	0,28	13,6	0,29	17,61	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	16,4	7,0
20	0,28	14,8	0,29	18,07	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	16,8	7,2
21	0,28	16,2	0,29	18,5	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	17,1	7,3
22	0,28	17,5	0,29	18,9	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	17,5	7,4
23	0,28	18,8	0,3	19,25	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	17,8	7,5

24	0,28	20,1	0,3	19,57	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	18,0	7,6
25	0,28	21,5	0,3	19,85	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	18,3	7,7
26	0,28	22,8	0,3	20,08	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	18,5	7,8
27	0,28	24,2	0,31	20,28	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	18,7	7,9
28	0,28	25,6	0,31	20,43	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	18,8	8,0
29	0,28	27,0	0,31	20,54	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	19,0	8,0
30	0,28	28,4	0,32	20,61	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	19,1	8,1
31	0,28	29,8	0,32	20,62	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	19,1	8,1
32	0,28	31,3	0,33	20,59	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	19,1	8,2
33	0,28	32,8	0,33	20,5	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	19,1	8,2
34	0,28	34,3	0,34	20,36	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	19,0	8,2
35	0,28	35,8	0,34	20,16	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	18,9	8,2
36	0,28	37,4	0,35	19,9	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	18,8	8,2
37	0,28	39,0	0,36	19,58	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	18,6	8,2
38	0,28	40,6	0,37	19,18	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	18,3	8,1
39	0,28	42,3	0,38	18,71	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	18,0	8,1
40	0,28	44,0	0,39	18,17	0,0	0,0	0,0	29,3	0,0	18,2	7,3
41	0,28	45,8	0,4	17,53	0,0	0,0	0,0	29,3	0,0	17,8	7,1
42	0,28	47,6	0,41	16,8	0,0	0,0	0,0	29,3	0,0	17,3	6,9
43	0,28	49,5	0,43	15,96	0,0	0,0	0,0	29,3	0,0	16,7	6,7
44	0,28	51,5	0,45	15,0	0,0	0,0	0,0	29,3	0,0	16,0	6,4
45	0,32	53,7	0,54	15,87	0,0	0,0	0,0	29,3	0,0	17,4	6,9
46	0,24	55,9	0,42	10,4	0,0	0,0	0,0	29,3	0,0	11,7	4,7
47	0,28	58,0	0,53	10,1	0,0	0,0	0,0	29,3	0,0	11,6	4,6
48	0,28	60,5	0,57	7,61	0,0	0,0	0,0	29,3	0,0	9,1	3,6
49	0,28	63,1	0,62	4,85	0,0	0,0	0,0	29,3	0,0	6,0	2,4
50	0,28	66,1	0,69	1,73	0,0	0,0	0,0	29,3	0,0	2,2	0,9

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955) – CONDIZIONI SISMICHE

Calcolo eseguito secondo	NTC 2008 & Circ.
Numero di strati	4,0
Numero dei conci	50,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,1
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	-5,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	10,0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	20,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	20,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0
Coefficiente azione sismica orizzontale	0,084
Coefficiente azione sismica verticale	0,042

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	-25,0	-3,68
2	-12,11	-1,95
3	-9,34	-1,57
4	0,0	0,0
5	1,4	2,4
6	2,4	2,4
7	11,39	7,5
8	24,39	7,5
9	26,92	5,98
10	47,89	10,58

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	-25,0	-6,68
2	0,0	-2,0
3	47,89	7,58

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	-25,0	-3,68
2	-12,11	-1,95
3	-9,34	-1,57
4	0,0	0,0
5	4,0	0,0
6	5,4	2,4
7	26,92	5,98
8	47,89	10,58

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	-25,0	-10,09
2	47,89	-10,09

Vertici strato3

N	X (m)	y (m)
1	-25,0	-12,29
2	47,89	-12,29

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m ²)	Coesione non drenata (kN/m ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m ³)	Peso saturo (kN/m ³)	Litologia	
1	0		35	19	19	Rilevato	
2	10		30	19	19	Aate	
3	10		26	20	20	Salt	
4	70		36	23	23	Ap	

Terra rinforzata

No	Tipologia	Tallow (kN)	Resistenza sfilamento (kN)
1	Geogriglie	28,99	49,54669
2	Geogriglie	28,99	40,84884
3	Geogriglie	28,99	32,84129
4	Geogriglie	28,99	26,11574

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m ²)
1	12,9	7,5	22,9	7,5	30

Risultati analisi pendio [NTC 2008 & Circ.]

Fs minimo individuato	1,12
Ascissa centro superficie	0,96 m
Ordinata centro superficie	12,35 m
Raggio superficie	12,75 m

$$x_c = 0,963 \quad y_c = 12,354 \quad R_c = 12,748 \quad F_s = 1,117$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m ²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0,28	-9,2	0,28	0,25	0,02	0,01	8,0	24,8	0,0	0,6	2,3
2	0,28	-7,9	0,28	0,72	0,06	0,03	8,0	24,8	0,0	1,1	2,5
3	0,28	-6,7	0,28	1,16	0,1	0,05	8,0	24,8	0,0	1,5	2,6
4	0,38	-5,2	0,38	2,23	0,19	0,09	8,0	24,8	0,0	2,6	3,8
5	0,18	-3,9	0,18	1,75	0,15	0,07	8,0	24,8	0,0	1,9	2,1
6	0,28	-2,9	0,28	4,9	0,41	0,21	8,0	24,8	0,0	5,1	4,1
7	0,28	-1,6	0,28	7,5	0,63	0,31	8,0	24,8	0,0	7,6	5,2
8	0,28	-0,4	0,28	10,07	0,85	0,42	8,0	24,8	0,0	10,1	6,2
9	0,38	1,1	0,38	17,94	1,51	0,75	8,0	24,8	0,0	17,7	10,1
10	0,18	2,4	0,18	9,27	0,78	0,39	8,0	24,8	0,0	9,1	5,0
11	0,28	3,4	0,28	14,71	1,24	0,62	8,0	24,8	0,0	14,3	7,9
12	0,28	4,6	0,28	14,61	1,23	0,61	8,0	24,8	0,0	14,0	7,8
13	0,28	5,9	0,28	14,47	1,22	0,61	8,0	24,8	0,0	13,8	7,7
14	0,28	7,2	0,28	14,76	1,24	0,62	8,0	24,8	0,0	13,9	7,8
15	0,28	8,4	0,28	15,4	1,29	0,65	8,0	24,8	0,0	14,4	8,0
16	0,28	9,7	0,28	16,0	1,34	0,67	8,0	24,8	0,0	14,8	8,2
17	0,28	11,0	0,28	16,57	1,39	0,7	8,0	24,8	0,0	15,3	8,4
18	0,28	12,3	0,29	17,11	1,44	0,72	8,0	24,8	0,0	15,7	8,5
19	0,28	13,6	0,29	17,61	1,48	0,74	8,0	24,8	0,0	16,0	8,7
20	0,28	14,8	0,29	18,07	1,52	0,76	8,0	24,8	0,0	16,4	8,8
21	0,28	16,2	0,29	18,5	1,55	0,78	8,0	24,8	0,0	16,7	9,0
22	0,28	17,5	0,29	18,9	1,59	0,79	8,0	24,8	0,0	16,9	9,1
23	0,28	18,8	0,3	19,25	1,62	0,81	8,0	24,8	0,0	17,2	9,2
24	0,28	20,1	0,3	19,57	1,64	0,82	8,0	24,8	0,0	17,4	9,3
25	0,28	21,5	0,3	19,85	1,67	0,83	8,0	24,8	0,0	17,6	9,4
26	0,28	22,8	0,3	20,08	1,69	0,84	8,0	24,8	0,0	17,8	9,5
27	0,28	24,2	0,31	20,28	1,7	0,85	8,0	24,8	0,0	17,9	9,6
28	0,28	25,6	0,31	20,43	1,72	0,86	8,0	24,8	0,0	18,0	9,7
29	0,28	27,0	0,31	20,54	1,73	0,86	8,0	24,8	0,0	18,1	9,7
30	0,28	28,4	0,32	20,61	1,73	0,87	8,0	24,8	0,0	18,1	9,8
31	0,28	29,8	0,32	20,62	1,73	0,87	8,0	24,8	0,0	18,1	9,8
32	0,28	31,3	0,33	20,59	1,73	0,86	8,0	24,8	0,0	18,1	9,8
33	0,28	32,8	0,33	20,5	1,72	0,86	8,0	24,8	0,0	18,0	9,8
34	0,28	34,3	0,34	20,36	1,71	0,86	8,0	24,8	0,0	17,9	9,8
35	0,28	35,8	0,34	20,16	1,69	0,85	8,0	24,8	0,0	17,8	9,8
36	0,28	37,4	0,35	19,9	1,67	0,84	8,0	24,8	0,0	17,6	9,8
37	0,28	39,0	0,36	19,58	1,64	0,82	8,0	24,8	0,0	17,3	9,7
38	0,28	40,6	0,37	19,18	1,61	0,81	8,0	24,8	0,0	17,0	9,7
39	0,28	42,3	0,38	18,71	1,57	0,79	8,0	24,8	0,0	16,6	9,6
40	0,28	44,0	0,39	18,17	1,53	0,76	0,0	29,3	0,0	17,0	8,5
41	0,28	45,8	0,4	17,53	1,47	0,74	0,0	29,3	0,0	16,6	8,3
42	0,28	47,6	0,41	16,8	1,41	0,71	0,0	29,3	0,0	16,1	8,1
43	0,28	49,5	0,43	15,96	1,34	0,67	0,0	29,3	0,0	15,5	7,8
44	0,28	51,5	0,45	15,0	1,26	0,63	0,0	29,3	0,0	14,8	7,4
45	0,32	53,7	0,54	15,87	1,33	0,67	0,0	29,3	0,0	15,9	8,0
46	0,24	55,9	0,42	10,4	0,87	0,44	0,0	29,3	0,0	10,7	5,3
47	0,28	58,0	0,53	10,1	0,85	0,42	0,0	29,3	0,0	10,6	5,3
48	0,28	60,5	0,57	7,61	0,64	0,32	0,0	29,3	0,0	8,2	4,1
49	0,28	63,1	0,62	4,85	0,41	0,2	0,0	29,3	0,0	5,4	2,7
50	0,28	66,1	0,69	1,73	0,15	0,07	0,0	29,3	0,0	2,0	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: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in SX dal km 1+931 al km 2+006 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0006	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. C	Pag.di Pag. 51 di 51
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

APPENDICE B

REPORT DI CALCOLO VERIFICHE STRUTTURALI

DATI GENERALI SEZIONE GENERICA NON DISSIPATIVA IN C.A.
NOME SEZIONE: D1500_20fi26

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze in campo sostanzialmente elastico
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave di fondazione in combinazione sismica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Tipo di sollecitazione:	Retta (asse neutro sempre parallelo all'asse X)
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicit�:	Comb. non sismiche

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di progetto fcd:	18.8 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	9.4 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33642.8 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.10 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.9 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.9 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.9 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00 MPa	

CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO

Forma del Dominio:	Circolare
Classe Calcestruzzo:	C32/40

Raggio circ.:	75.0 cm
X centro circ.:	0.0 cm
Y centro circ.:	0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre				
Xcentro	Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate				
Ycentro	Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate				
Raggio	Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate				
N°Barre	Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza				
Ø	Diametro [mm] della singola barra generata				

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	63.1	20	26

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 16 mm
 Passo staffe: 20.0 cm
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.		
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate		
N°Comb.	N	Mx	Vy
1	0.00	350.00	142.00
2	0.00	1056.00	316.00

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	226.00	0.00

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	226.00 (1158.22)	0.00 (0.00)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	226.00 (1158.22)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 10.6 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 17.1 cm
 Copriferro netto minimo staffe: 9.0 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
 Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
 Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000

As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex § 7.2.6 NTC

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	350.00	0.00	1751.32	5.00	58.4(35.3)
2	S	0.00	1056.00	0.00	1751.32	1.66	58.4(35.3)

METODO AGLI STATI LIMITE IN CAMPO SOSTANZIALMENTE ELASTICO - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00069	0.262	0.0	75.0	0.00047	0.0	63.1	-0.00196	0.0	-63.1
2	0.00069	0.262	0.0	75.0	0.00047	0.0	63.1	-0.00196	0.0	-63.1

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000019199	-0.000745039	0.262	0.768
2	0.000000000	0.000019199	-0.000745039	0.262	0.768

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 16 mm
Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved Taglio di progetto [kN] = V_y ortogonale all'asse neutro
Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.
La resistenza delle travi è calcolata assumendo il valore di 0.9 Dmed come coppia interna.
I pesi della media sono le lunghezze delle strisce.(Sono escluse le strisce totalmente non compresse).
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lungh.legat.proiettata sulla direz. del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	142.00	4381.72	2128.26	120.2	124.9	2.500	1.000	1.3	20.1(0.0)
2	S	316.00	4381.72	2128.26	120.2	124.9	2.500	1.000	3.0	20.1(0.0)

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel calcestruzzo [MPa]
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)

Ss min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [MPa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	1.34	0.0	0.0	-51.4	0.0	-63.1	2955	26.5

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm
 Esito della verifica
 e1 Massima deformazione di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione fessurata
 e2 Minima deformazione di trazione del cls. (in sezione fessurata), valutata nella fibra più interna dell'area Ac eff
 k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
 kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
 k2 = (e1 + e2)/(2*e1) [eq.(7.13)EC2]
 k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
 Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
 e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
 Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
 sr max Massima distanza tra le fessure [mm]
 wk Apertura fessure in mm calcolata = sr max*(e_sm - e_cm) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
 Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
 My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00029	0.00000	0.835	26.0	106	0.00015 (0.00015)	1182	0.182 (990.00)	1158.22	0.00

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	1.34	0.0	0.0	-51.4	0.0	-63.1	2955	26.5

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00029	0.00000	0.835	26.0	106	0.00015 (0.00015)	1182	0.182 (0.30)	1158.22	0.00

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	1.34	0.0	0.0	-51.4	0.0	-63.1	2955	26.5

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00029	0.00000	0.835	26.0	106	0.00015 (0.00015)	1182	0.182 (0.20)	1158.22	0.00

DATI GENERALI SEZIONE DI TRAVE DI FONDAZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Muro_paramento_5fi20

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze in campo sostanzialmente elastico
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave di fondazione in combinazione sismica
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inertzia
Riferimento alla sismicit�:	Comb. non sismiche
	Sezione appartenente a trave di fondazione (arm.minima ex §7.2.5NTC)

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resistenza compress. di progetto fcd:	14.16 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	7.08 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.56 MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	15.0 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	15.0 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	11.3 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1*\beta_2$:	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$:	0.50
	Comb.Rare - Sf Limite:	360.0 MPa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	75.0	cm
Barre inferiori:	5Ø20	(15.7 cm ²)
Barre superiori:	5Ø20	(15.7 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	7.6	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	7.6	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	10.0	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
MT	Momento torcente [kN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	106.00	75.00	0.00
2	0.00	287.00	158.00	0.00

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0.00	81.00

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0.00	81.00 (268.76)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0.00	81.00 (268.76)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	6.6	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	18.0	cm
Copriferro netto minimo staffe:	5.4	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata	
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)	
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico	
N Ult	Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)	
Mx re	Momento resistente sostanzialmente elastico [kNm] riferito all'asse x baricentrico	
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re, Mx re) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000	
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.	
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45	
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]	
As Tesa	Area armature long. trave [cm ²] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)	

N°Comb	Ver	N	Mx	N re	Mx re	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	0.00	106.00			3.593	60.1	0.22	0.72	15.7 (15.0)
2	S	0.00	287.00			1.327	60.1	0.22	0.72	15.7 (15.0)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

ec max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00055	75.0	0.00027	67.4	-0.00196	7.6
2	0.00055	75.0	0.00027	67.4	-0.00196	7.6

ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

Diametro staffe/legature:	12	mm	
Passo staffe:	20.0	cm	[Passo massimo di normativa = 22.6 cm]
N.Bracci staffe:	3		
Area staffe/m :	17.0	cm ² /m	[Area Staffe Minima NTC = 15.0 cm ² /m]

VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd	Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]
bw d	Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro Altezza utile sezione
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm ² /m]

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	bw d	Ctg	Acw	Ast
1	S	75.00	226.45	1480.95	1006.69	100.0 67.4	2.500	1.000	1.3
2	S	158.00	226.45	1480.95	1006.69	100.0 67.4	2.500	1.000	2.7

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Ss min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	1.54	75.0	0.00	60.3	-83.0	67.4	19.0	1900	15.7	21.2

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e2)in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00047	0.00012	0.50	0.60	0.000249 (0.000249)	636	0.158 (990.00)	268.76

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
--------	-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	---------	---------	---------

1	S	1.54	75.0	0.00	60.3	-83.0	67.4	19.0	1900	15.7	21.2
---	---	------	------	------	------	-------	------	------	------	------	------

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00047	0.00012	0.50	0.60	0.000249 (0.000249)	636	0.158 (0.30)	268.76

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	1.54	75.0	0.00	60.3	-83.0	67.4	19.0	1900	15.7	21.2

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00047	0.00012	0.50	0.40	0.000249 (0.000249)	636	0.158 (0.20)	268.76