


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




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

PERIZIA DI VARIANTE

<p>CONTRAENTE GENERALE:</p> 	<p><i>Il responsabile del Contraente Generale:</i></p> <p style="text-align: center;">Ing. Federico Montanari</p>	<p><i>Il responsabile Integrazioni delle Prestazioni Specialistiche:</i></p> <p style="text-align: center;">Ing. Salvatore Lieto</p>
--	---	--

PROGETTAZIONE: Associazione Temporanea di Imprese
Mandataria:

			
--	--	---	--

<p><i>RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE PER L'ATI</i></p> <p>Ing. Antonio Grimaldi</p> <p><i>GEOLOGO</i></p> <p>Dott. Geol. Fabrizio Pontoni</p> <p><i>COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</i></p> <p>Ing. Michele Curiale</p>			
---	---	--	---

<p><i>IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</i></p> <p>Ing. Iginio Farotti</p>		
---	--	--

<p>2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord</p> <p>OPERE D'ARTE MINORI: Opere di sostegno e dreni Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+707 a 6+835 Relazione tecnica e di calcolo</p>	<p><i>SCALA:</i></p> <p><i>DATA:</i></p> <p style="text-align: center;">Giugno 2020</p>
---	---

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

	Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.
Codice Elaborato:	L 0 7 0 3	2 1 2	E	1 7	O S 0 3 0 0	R E L	0 1	B

REV.	DATA	DESCRIZIONE	Redatto		Controllato	Approvato
A	Maggio 2017	Emissione per Validazione RINA	PROGIN	PROGIN	S. LIETO	A.GRIMALDI
B	Giugno 2020	Istruttoria DL n. 0440/20/PM/DLML2	PROGIN	PROGIN	S. LIETO	A.GRIMALDI

I N D I C E

1. GENERALITA'	4
1.1 DESCRIZIONE DELLE OPERE	4
2. UNITA' DI MISURA	5
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI	6
4.1 RESISTENZE DI PROGETTO	6
4.1.1 Calcestruzzo paramento muri C25/30	6
4.1.2 Calcestruzzo C32/40	7
4.1.3 Acciaio di armatura B450C	7
5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	8
5.1 CAPACITA' PORTANTE DEI PALI.....	9
6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA	12
7. VERIFICHE STRUTTURALI – CRITERI GENERALI	14
7.1 VERIFICA SLE.....	14
7.2 VERIFICHE ALLO SLU	16
8. CRITERI DI ANALISI E VERIFICA DEI MURI DI SOSTEGNO	20
8.1 STATI LIMITE E COMBINAZIONI DI CALCOLO AI SENSI DM 14.01.08	20
8.2 VERIFICHE DI STABILITA' LOCALE.....	21
8.2.1 Verifica allo scorrimento	21
8.2.2 Verifica a carico limite	23
8.2.3 Verifica al Ribaltamento.....	25
8.3 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE	26
8.3.1 Richiami teorici ed impostazione delle analisi	26
8.3.2 Il metodo di BISHOP	28
8.3.3 Prescrizioni del DM 14-01-08	28
8.3.4 Stabilità di opere di materiali sciolti e fronti di scavo	28
8.3.5 Verifiche in fase sismica	29
9. ANALISI DEI CARICHI	31
9.1 CARICHI FISSI	31
9.2 SPINTE DEL TERRENO	31
9.3 SOVRACCARICHI ACCIDENTALI	32
9.4 AZIONI SISMICHE	34
9.4.1 Forze d'inerzia.....	36
9.4.2 Effetti sismici sulle spinte del terreno	36
9.4.3 Effetti dell'Azione sismica sulla falda	36
10. COMBINAZIONI DI CALCOLO	37
11. RISULTATI ANALISI E VERIFICHE	39
11.1 RISULTATI ANALISI E VERIFICHE MURI SOTTOSCARPA TIPO 2	39
11.2 RISULTATI ANALISI E VERIFICHE MURI SOTTOSCARPA TIPO 3	ERRORE. IL
SEGNALIBRO NON È DEFINITO.	
11.1 RISULTATI ANALISI E VERIFICHE MURI SOTTOSCARPA TIPO 1	49
ALLEGATO	58

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 3 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

TABULATI DI CALCOLO MURO SOTTOSCARPA TIPO 2..... 58

ALLEGATO Errore. Il segnalibro non è definito.

TABULATI DI CALCOLO MURO SOTTOSCARPA TIPO 3..... ERRORE. IL SEGN

ALLEGATO 101

TABULATI DI CALCOLO MURO SOTTOSCARPA TIPO 1 101

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscampa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 4 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

1. GENERALITA'

Nell'ambito dei lavori di completamento della direttrice Perugia – Ancona “Pedemontana delle Marche”: Sub Lotto 2.2 Tratto Fabriano – Muccia Sfercia, è prevista la realizzazione di muri di destra situati tra Pk 0+730.40 e Pk 0+762.70. Nella presente relazione viene riportato il dimensionamento, le analisi e le verifiche strutturali e geotecniche delle opere.

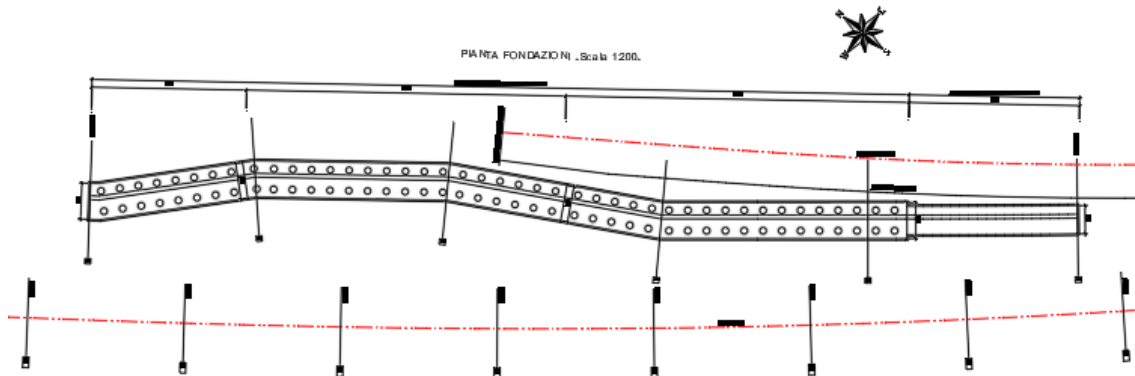
1.1 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Nella seguente tabella vengono riassunte le caratteristiche geometriche dei muri in oggetto:

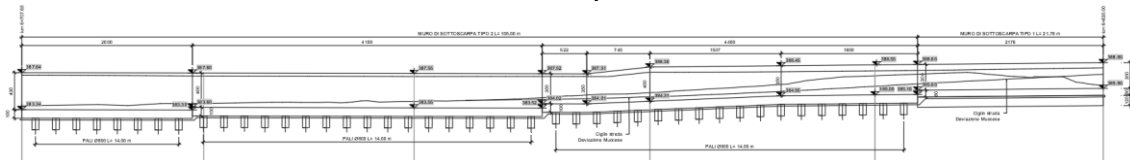
Lato	Pk. IN (Km)	Pk. FIN (Km)	Descrizione	Denominazione
SX	6+569	6+870	Muro di sottoscampa su 2 file di pali allineati	Sottoscampa Tipo 2
			Muro di sottoscampa su fondazione diretta	Sottoscampa Tipo 1

Denominazione	Hmax [m]	Lfond [m]	Sfond. [m]	n° Pali (Allineati)	Lpali [m]
Sottoscampa TIPO 2	4.50	4.6	1.0	2	14
Sottoscampa TIPO 1	3.05	3.8	0.6	-	-

Di seguito si riportano a titolo indicativo pianta e profilo dei muri in esame:



Pianta Opere



Profilo longitudinale

Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici di riferimento.

2. UNITA' DI MISURA

Nel seguito si adatteranno le seguenti unità di misura:

per le lunghezze	⇒	m, mm
per i carichi	⇒	kN, kN/m ² , kN/m ³
per le azioni di calcolo	⇒	kN, kNm
per le tensioni	⇒	MPa

3. NORMATIVA 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 (NTC).
- 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 EN1993 -1-1.
EUROCODICE 2, parte 1.1. Progettazione delle strutture in calcestruzzo. Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN1993 -1-1.
EUROCODICE 3, parte 1.1. Progettazione delle strutture in acciaio. Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN1993 -1-2.
EUROCODICE 3. Parte 2. Progettazione delle strutture in acciaio. Ponti di acciaio.
- UNI EN 1998-1.
EUROCODICE 8, parte 1. Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
- UNI EN 1998-2.
EUROCODICE 8, parte 2. Ponti.

4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

Per quanto riguarda la qualità e resistenza dei materiali utilizzati per le strutture dell'impalcato si rimanda alla relazione di calcolo specifica. Per la realizzazione delle sottostrutture sono stati previsti i seguenti materiali.

Per i controlli si fa riferimento a quanto previsto dal DM 14/01/2008

Tabella – Calcestruzzi: classi di resistenza, classi di esposizione e specifiche

Elemento	Classe	Classe di Esposizione	a/c	Tipi di cementi	Quantitativo di cemento [kg/m ³]	Classi di consistenza
Calcestruzzo per magrone di fondazione	C12/15	-	-	CEM III-IV	-	-
Calcestruzzo per strutture in Elevazione	C25/30	XC2	0.5	CEM III-IV	300	S4
Calcestruzzo armato fondazione	C32/40	XA2	0.5	CEM III-IV	360	S4

Per le barre d'armatura del calcestruzzo si utilizza acciaio ad aderenza migliorata B450C.

4.1 RESISTENZE DI PROGETTO

4.1.1 Calcestruzzo paramento muri C25/30

- $R_{ck} = 30$ MPa resistenza caratteristica cubica a 28 giorni
- $f_{ck} = 24.9$ MPa resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni
- $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 32.9$ MPa resistenza cilindrica valore medio
- $f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.56$ MPa resistenza media a trazione semplice (assiale)
- $f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 1.79$ MPa resistenza caratteristica a trazione
- $E_{cm} = 22000 [f_{cm}/10]^{0.3} = 31447$ MPa modulo elastico
- $\gamma = 25.0$ kN/m³ peso per unità di volume

Resistenze di progetto allo SLU

- $f_{cd} = 0.85 \cdot f_{ck} / \gamma_c = 14.1$ MPa; $\gamma_c = 1.50$ resistenza di progetto a compressione
- $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.19$ MPa resistenza di progetto a trazione

Resistenze di progetto allo SLE

- $\sigma_{c,r} = 0.60 \cdot f_{ck} = 14.9$ MPa tensione limite in comb. caratteristica (rara)
- $\sigma_{c,f} = 0.45 \cdot f_{ck} = 11.2$ MPa tensione limite in comb. quasi permanente
- $\sigma_t = f_{ctm} / 1.2 = 2.13$ MPa tensione limite di fessurazione (trazione)

4.1.2 Calcestruzzo C32/40

- | | |
|--|--|
| • $R_{ck} = 40$ MPa | resistenza caratteristica cubica a 28 giorni |
| • $f_{ck} = 32$ MPa | resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni |
| • $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 40$ MPa | resistenza cilindrica valore medio |
| • $f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 3.02$ MPa | resistenza media a trazione semplice (assiale) |
| • $f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.12$ MPa | resistenza caratteristica a trazione |
| • $E_{cm} = 22000 [f_{cm}/10]^{0.3} = 33346$ MPa | modulo elastico |
| • $\gamma = 25.0$ kN/m ³ | peso per unità di volume |

Resistenze di progetto allo SLU

- | | |
|---|---------------------------------------|
| • $f_{cd} = 0.85 \cdot f_{ck} / \gamma_c = 18.1$ MPa; $\gamma_c = 1.50$ | resistenza di progetto a compressione |
| • $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.41$ MPa | resistenza di progetto a trazione |

Resistenze di progetto allo SLE

- | | |
|---|--|
| • $\sigma_{c,r} = 0.60 \cdot f_{ck} = 19.2$ MPa | tensione limite in comb. caratteristica (rara) |
| • $\sigma_{c,f} = 0.45 \cdot f_{ck} = 14.4$ MPa | tensione limite in comb. quasi permanente |
| • $\sigma_t = f_{ctm} / 1.2 = 2.52$ MPa | tensione limite di fessurazione (trazione) |

4.1.3 Acciaio di armatura B450C

- | | |
|----------------------|--|
| • $f_{yk} = 450$ MPa | resistenza caratteristica di snervamento |
| • $f_{tk} = 540$ MPa | resistenza caratteristica a rottura |
| • $E_s = 210000$ MPa | modulo elastico |

Resistenza di progetto allo SLU

- | | |
|---|---------------------------------------|
| • $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391$ MPa; $\gamma_s = 1.15$ | resistenza di progetto a compressione |
|---|---------------------------------------|

Resistenza di progetto allo SLE

- | | |
|--|-------------------------------|
| • $\sigma_{s,r} = 0.80 \cdot f_{yk} = 360$ MPa | tensione limite in comb. rara |
|--|-------------------------------|

5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Nel presente paragrafo si riporta la caratterizzazione geotecnica specifica per l'opera in esame. Per dettagli si rimanda alla *Relazione Geotecnica Generale*.

La stratigrafia di progetto è indicata nelle tabelle seguenti.

Tabella 1 – Stratigrafia di riferimento

Unità geotecnica	Profondità [m] da p.c.	
Ecla	0.0÷7.0	Depositi eluvio colluviali limoso argillosi
Salt	7.0÷9.0	Substrato alterato limoso argilloso
Ap/Pa	>9.0	Substrato arenaceo pelitico / Substrato pelitico arenaceo
Falda: a p.c. (*)		

(*) per il dimensionamento delle fondazioni si assume cautelativamente il livello di falda prossimo al p.c.

Nel seguito si riassumono i parametri geotecnici di progetto per le varie unità geotecniche.

Unità Ecla - Depositi eluvio colluviali limoso argillosi

$\gamma = 18.5 \div 20.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 24 \div 27^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 5 \div 15 \text{ kPa}$	coesione drenata
$c_r' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata residua
$c_u = 50 \div 160 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 100 \div 400 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

Unità Salt – Substrato alterato argilloso limoso

$\gamma = 20.0 \div 20.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 27 \div 30^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 20 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi_r' = 19^\circ$	angolo di resistenza al taglio residuo
$c_r' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata residua
$c_u = 75 \div 430 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 150 \div 600 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

Unità Pa – Substrato pelitico arenaceo / Unità Ap – substrato arenaceo pelitico

$\gamma = 23.0 \div 23.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
per tensioni $\sigma_v' < 700 \text{ kPa}$:	
$\phi' = 31 \div 35^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 120 \div 150 \text{ kPa}$	coesione drenata
per tensioni $\sigma_v' > 700 \text{ kPa}$:	
$\phi' = 25 \div 30^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 220 \div 250 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E'_{op} = 20 + 5.75 \cdot z \text{ MPa}$ per $z < 40 \text{ m}$	modulo di deformazione elastico operativo
$E'_{op} = 250 + 0.8 \cdot z \text{ MPa}$ per $z > 40 \text{ m}$	

Nel seguito i parametri geotecnici adoperati per la valutazione delle capacità portanti dei pali di fondazione.

Tabella 2 – Parametri geotecnici per il muro di sottscarpa in sx da 6+569.54 a 6+870.34

	γ [kN/m ³]	cu [kPa]	$\sigma_{c,media}'$ [MPa]
Ecla	19.0	100 ÷ 150	-
Salt	20.0	300	-
Ap/Pa	23.0	-	1.5

γ = peso di volume naturale
 cu = resistenza al taglio in condizioni non drenate
 $\sigma_{c,media}'$ = resistenza a compressione monoassiale media

5.1 CAPACITA' PORTANTE DEI PALI

Nella seguente tabella si riportano i parametri principali per il calcolo della capacità portante dei pali dei muri (D=800 mm).

I parametri di calcolo della portanza dei pali vengono riportati nella seguente tabella, mentre per la metodologia di calcolo si rimanda alla *Relazione Geotecnica Generale*.

Tabella 3 – Parametri per il calcolo della capacità portante dei pali

Approccio	n. di verticali indagate	ξ_3	γ_s	γ_b	F _{SL} (compressione)	F _{SL} (trazione)	F _{SB}	Quota testa palo da p.c. [m]	Quota falda da p.c. [m]
2 (A1+M1+R3)	2	1.65	1.15	1.35	1.90	2.06	2.2	1.5	0

Nella tabella seguente si riportano i valori della portata di progetto (Q_d) per l'opera in esame; il significato dei termini riportati è il seguente:

- L_p = Lunghezza utile del palo
- Q_{ll} = Portata laterale limite
- Q_{bl} = Portata di base limite
- W_p = Peso efficace del palo
- Q_u = Portata totale limite
- Q_d = Portata di progetto = Q_{ll}/F_{S,l} + Q_{bl}/F_{S,b} - W_p

Tabella – Capacità portante palo D=800 mm

L _p m	Q _{ll} kN	Q _{bl} kN	W _p kN	Q _u kN	Q _d kN
.00	0.	528.	0.	528.	240.
.50	11.	554.	1.	563.	256.
1.00	25.	579.	3.	601.	274.
1.50	42.	604.	4.	643.	293.
2.00	62.	630.	5.	687.	314.
2.50	86.	655.	6.	734.	337.
3.00	112.	680.	8.	785.	361.
3.50	142.	706.	9.	838.	386.
4.00	174.	731.	10.	895.	414.
4.50	210.	772.	11.	1071.	496.
5.00	250.	1013.	13.	1250.	579.
5.50	292.	1153.	14.	1432.	664.
6.00	356.	1294.	15.	1635.	761.
6.50	527.	1437.	16.	1948.	914.

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 10 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

7.00	716.	1581.	18.	2279.	1078.
7.50	904.	1724.	19.	2609.	1241.
8.00	1093.	1867.	20.	2940.	1404.
8.50	1281.	2011.	21.	3270.	1567.
9.00	1470.	2011.	23.	3458.	1665.
9.50	1658.	2011.	24.	3645.	1763.
10.00	1847.	2011.	25.	3832.	1861.
10.50	2035.	2011.	26.	4019.	1959.
11.00	2224.	2011.	28.	4207.	2057.
11.50	2412.	2011.	29.	4394.	2155.
12.00	2601.	2011.	30.	4581.	2253.
12.50	2789.	2011.	31.	4768.	2350.
13.00	2978.	2011.	33.	4956.	2448.
13.50	3166.	2011.	34.	5143.	2546.
14.00	3355.	2011.	35.	5330.	2644.
14.50	3543.	2011.	36.	5517.	2742.
15.00	3732.	2011.	38.	5705.	2840.
15.50	3923.	2011.	39.	5895.	2940.
16.00	4134.	2111.	40.	6205.	3095.
16.50	4347.	2212.	41.	6518.	3252.
17.00	4561.	2312.	43.	6830.	3409.
17.50	4775.	2413.	44.	7143.	3566.
18.00	4988.	2513.	45.	7456.	3723.
18.50	5202.	2513.	46.	7669.	3834.
19.00	5415.	2513.	48.	7881.	3945.
19.50	5629.	2513.	49.	8093.	4056.
20.00	5843.	2513.	50.	8306.	4167.
20.50	6056.	2513.	52.	8518.	4278.
21.00	6270.	2513.	53.	8730.	4390.
21.50	6484.	2513.	54.	8943.	4501.
22.00	6697.	2513.	55.	9155.	4612.
22.50	6911.	2513.	57.	9368.	4723.
23.00	7124.	2513.	58.	9580.	4834.
23.50	7338.	2513.	59.	9792.	4946.
24.00	7552.	2513.	60.	10005.	5057.
24.50	7765.	2513.	62.	10217.	5168.
25.00	7979.	2513.	63.	10429.	5279.
25.50	8193.	2513.	64.	10642.	5390.
26.00	8406.	2513.	65.	10854.	5501.
26.50	8620.	2513.	67.	11067.	5613.
27.00	8834.	2513.	68.	11279.	5724.
27.50	9047.	2513.	69.	11491.	5835.
28.00	9261.	2513.	70.	11704.	5946.
28.50	9474.	2513.	72.	11916.	6057.

Tabella –Capacità portante a trazione palo D=800 mm

Lp m	Q11 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
.00	0.	0.	0.	0.	0.
.50	11.	0.	-4.	15.	9.
1.00	25.	0.	-8.	32.	20.
1.50	42.	0.	-11.	53.	32.
2.00	62.	0.	-15.	77.	45.
2.50	86.	0.	-19.	104.	60.
3.00	112.	0.	-23.	135.	77.
3.50	142.	0.	-26.	168.	95.
4.00	174.	0.	-30.	204.	115.
4.50	210.	0.	-34.	244.	136.
5.00	250.	0.	-38.	287.	159.
5.50	292.	0.	-41.	334.	183.
6.00	356.	0.	-45.	401.	218.
6.50	527.	0.	-49.	576.	305.
7.00	716.	0.	-53.	768.	400.
7.50	904.	0.	-57.	961.	495.
8.00	1093.	0.	-60.	1153.	591.
8.50	1281.	0.	-64.	1345.	686.
9.00	1470.	0.	-68.	1537.	781.
9.50	1658.	0.	-72.	1730.	877.
10.00	1847.	0.	-75.	1922.	972.
10.50	2035.	0.	-79.	2114.	1067.
11.00	2224.	0.	-83.	2307.	1162.
11.50	2412.	0.	-87.	2499.	1258.
12.00	2601.	0.	-90.	2691.	1353.

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	OS0300	REL	01	B	11 di 155

12.50	2789.	0.	-94.	2883.	1448.
13.00	2978.	0.	-98.	3076.	1543.
13.50	3166.	0.	-102.	3268.	1639.
14.00	3355.	0.	-106.	3460.	1734.
14.50	3543.	0.	-109.	3652.	1829.
15.00	3732.	0.	-113.	3845.	1925.
15.50	3923.	0.	-117.	4040.	2021.
16.00	4134.	0.	-121.	4254.	2127.
16.50	4347.	0.	-124.	4472.	2235.
17.00	4561.	0.	-128.	4689.	2342.
17.50	4775.	0.	-132.	4907.	2450.
18.00	4988.	0.	-136.	5124.	2557.
18.50	5202.	0.	-139.	5341.	2665.
19.00	5415.	0.	-143.	5559.	2772.
19.50	5629.	0.	-147.	5776.	2880.
20.00	5843.	0.	-151.	5994.	2987.
20.50	6056.	0.	-155.	6211.	3095.
21.00	6270.	0.	-158.	6428.	3202.
21.50	6484.	0.	-162.	6646.	3309.
22.00	6697.	0.	-166.	6863.	3417.
22.50	6911.	0.	-170.	7081.	3524.
23.00	7124.	0.	-173.	7298.	3632.
23.50	7338.	0.	-177.	7515.	3739.
24.00	7552.	0.	-181.	7733.	3847.
24.50	7765.	0.	-185.	7950.	3954.
25.00	7979.	0.	-188.	8168.	4062.
25.50	8193.	0.	-192.	8385.	4169.
26.00	8406.	0.	-196.	8602.	4277.
26.50	8620.	0.	-200.	8820.	4384.
27.00	8834.	0.	-204.	9037.	4492.
27.50	9047.	0.	-207.	9255.	4599.
28.00	9261.	0.	-211.	9472.	4707.
28.50	9474.	0.	-215.	9689.	4814.

6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

L'opera in oggetto è progettata per una vita nominale V_N pari a 50 anni. Gli si attribuisce inoltre una classe d'uso III ("Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza.") ai sensi del D. Min. 14/01/2008, da cui scaturisce un coefficiente d'uso $C_U = 1.5$.

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

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

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

- $a_{g,}$ accelerazione orizzontale massima del terreno
- $F_0,$ valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T_C^* , periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

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

In particolare, si può notare come F_0 descriva la pericolosità sismica locale del sito su cui l'opera insiste. Infatti, da quest'ultimo, attraverso le espressioni fornite dalla normativa, sono valutati i valori d'amplificazione stratigrafica e topografica. Di seguito sono riassunti i valori dei parametri assunti per l'opera in oggetto.

- Vita nominale V_N = 50 anni;
- Classe d'uso = III;
- Coefficiente d'uso C_U = 1.5;
- Periodo di riferimento V_R = 75 anni;
- $T_{R,SLV}$ = 712 anni;
- Comune = Fabriano;
- $a_{g,SLV}$ = **0.206 g**;
- $F_{0,SLV}$ = **2.526**;
- $T_{c,SLV}^*$ = **0.331 sec.**

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 13 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Accelerazione (a_g), fattore (F_0) e periodo (T^*c) per comune di riferimento - Fabriano

V_R [anni]	Stato Limite	PV_R -	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
75	SLO	81%	45	0.073	2.450	0.286
	SLD	63%	75	0.090	2.454	0.297
	SLV	10%	712	0.206	2.526	0.331
	SLC	5%	1462	0.262	2.555	0.339

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

- Categoria di suolo = B;
- Categoria topografica = T1;
- S_s , fattore stratigrafico = 1.19;
- S_T , fattore topografico = 1.0;
- C_c , fattore correttivo del periodo TC^* = 1.5.

7. VERIFICHE STRUTTURALI – CRITERI GENERALI

7.1 VERIFICA SLE

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

7.1.1 Verifiche delle tensioni

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

Per il caso in esame risulta in particolare :

CALCESTRUZZO C32/40

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

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

CALCESTRUZZO C25/30

$$\sigma_{\text{cmax QP}} = (0,45 f_{\text{ck}}) = \mathbf{11.21} \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Quasi Permanente})$$

$$\sigma_{\text{cmax R}} = (0,60 f_{\text{ck}}) = \mathbf{14.94} \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Caratteristica - Rara})$$

ACCIAIO

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

7.1.2 Verifiche a fessurazione

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

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

Gruppi di esigenza	Condizioni ambientali	Combinazione di azione	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	wd	Stato limite	wd
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto Aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Risultando in particolare: :

$$w_1 = 0.2 \text{ mm} \quad w_2 = 0.3 \text{ mm} \quad w_3 = 0.4 \text{ mm}$$

Nel caso in esame si ha:

- Per le strutture di fondazione:

Condizioni Ambientali : aggressive

Armature : Poco Sensibili

- Per le strutture in elevazione:

Condizioni Ambientali : Ordinarie

Armature : Poco Sensibili

Conseguentemente dovrà risultare:

Combinazione Quasi permanente : $w \leq 0.3 \text{ mm}$

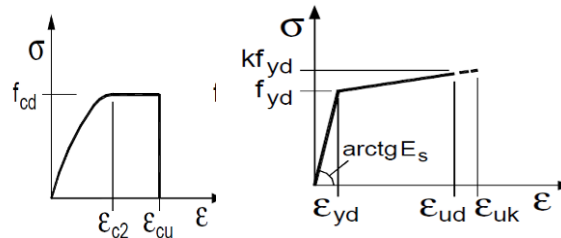
Combinazione Frequente : $w \leq 0.4 \text{ mm}$

Riguardo infine il valore di calcolo dell'ampiezza delle fessure da confrontare con i valori limite fissati dalla norma, si è utilizzata la procedura del D.M. 9 gennaio 1996, in accordo a quanto previsto al punto " C4.1.2.2.4.6 Verifica allo stato limite di fessurazione" della Circolare n.617/09.

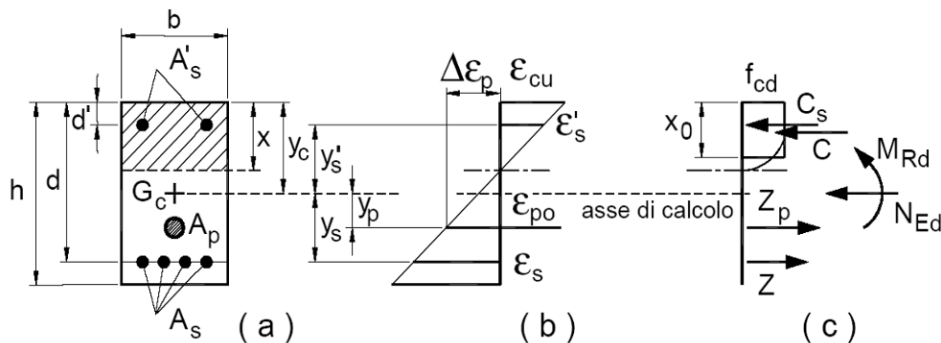
7.2 VERIFICHE ALLO SLU

7.2.1 Pressoflessione

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



Legami costitutivi Calcestruzzo ed Acciaio -



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

La verifica consisterà nel controllare il soddisfacimento della seguente condizione:

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

dove

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

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

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

7.2.2 Taglio

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

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

Dove:

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

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

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

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

Essendo:

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

Per quanto riguarda in particolare le verifiche a taglio per elementi armati a taglio, si è fatto riferimento al metodo del traliccio ad inclinazione variabile, in accordo a quanto prescritto al punto 4.1.2.1.3 delle NTC08, considerando ai fini delle verifiche, un angolo θ di inclinazione delle bielle compresse del traliccio resistente tale da rispettare la condizione.

$$1 \leq \text{ctg} \theta \leq 2,5 \quad 45^\circ \geq \theta \geq 1.8^\circ$$

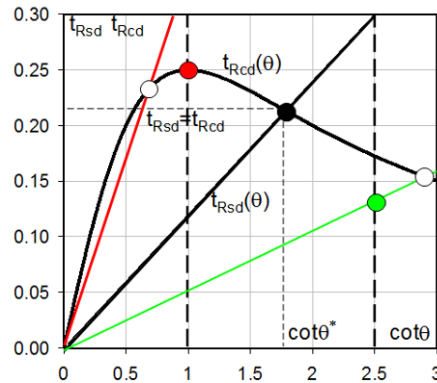
2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 18 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------



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

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

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

dove

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

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

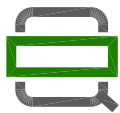
f_{cd} = resistenza a compressione di calcolo del calcestruzzo d'anima

α_c	coefficiente maggiorativo pari a	1	per membrature non compresse
		$1 + \sigma_{cp} / f_{cd}$	per $0 \leq \sigma_{cp} < 0.25 f_{cd}$
		1,25	per $0.25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0.5 f_{cd}$
		$2,5(1 - \sigma_{cp} / f_{cd})$	per $0.5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$

ω_{sw} : Percentuale meccanica di armatura trasversale.

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

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



QUADRILATERO
Merche Umbria S.p.A.

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 19 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

8. CRITERI DI ANALISI E VERIFICA DEI MURI DI SOSTEGNO

8.1 STATI LIMITE E COMBINAZIONI DI CALCOLO AI SENSI DM 14.01.08

Per i muri di sostegno o per altre strutture miste ad essi assimilabili, devono essere effettuate le verifiche con riferimento almeno ai seguenti stati limite:

- *SLU di tipo geotecnico (GEO) e di equilibrio di corpo rigido (EQU)*
 - stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;
 - scorrimento sul piano di posa;
 - collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
 - ribaltamento;
- *SLU di tipo strutturale (STR)*
 - raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata secondo l'Approccio 1 - **Combinazione 2: (A2+M2+R2)**

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

Approccio 1:

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

Approccio 2:

(A1+M1+R3)

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici, e della Tabelle 6.5.I e 6.8.I per ciò che concerne i coefficienti parziali sulle resistenze che di seguito si riportano per maggiore chiarezza.

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

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

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

Tabella 6.5.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno

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

Tabella 6.8.I – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo.

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

Nel caso in esame si è fatto riferimento all'approccio di Verifica 1,

Le verifiche in condizioni sismiche vanno infine effettuati con gli stessi criteri di cui sopra, ponendo pari dell'unità i coefficienti parziali sulle Azioni ($A1=1$ / $A2=1$), in accordo a quanto specificato al punto 7.11.1 del DM 14.01.08

8.2 VERIFICHE DI STABILITA' LOCALE

Nei riguardi della stabilità Locale dei muri di sostegno, la normativa prevede di valutare le condizioni generali di equilibrio nei confronti dei meccanismi di scorrimento, ribaltamento e carico limite secondo quanto espoto ai paragrafi seguenti

8.2.1 Verifica allo scorrimento

Per la verifica a scorrimento del muro lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere il muro deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento F_r e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere il muro F_s risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_s stabilito dalla Normativa Vigente, ovvero

$$F_r / F_s \geq \eta_s$$

Le forze che intervengono nella F_s sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 22 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta N la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con δ_f l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_r la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

$$F_r = N \operatorname{tg} \delta_f + c_a B_r$$

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle del muro.

In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 50 per cento.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione, δ_f , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_f pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

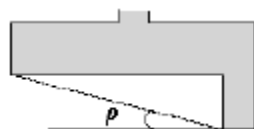
Questa verifica ha significato solo per fondazione superficiale e non per fondazione su pali.

Per i casi del muro denominato tipo 1 (S), si è invece tenuto conto della presenza del dente previsto in fondazione nei riguardi della valutazione del meccanismo di scorrimento.

Nel caso di fondazione con dente, viene calcolata la resistenza passiva sviluppatasi lungo il cuneo passante per lo spigolo inferiore del dente, inclinato dell'angolo ρ (rispetto all'orizzontale). Tale cuneo viene individuato attraverso un procedimento iterativo volto a determinare il coefficiente di sicurezza a scorrimento minimo. In dipendenza della geometria della fondazione e del dente, dei parametri geotecnici del terreno e del carico risultante in fondazione, tale cuneo può avere forma triangolare o trapezoidale. Detta N la componente normale del carico agente sul piano di posa della fondazione, Q l'aliquota di carico gravante sul cuneo passivo, S_p la resistenza passiva, L_c l'ampiezza del cuneo e indicando con δ_f l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_r la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come:

$$F_r = (N - Q) \cdot \operatorname{tg}(\delta_f) + S_p + c_a \cdot L_r$$

con $L_r = B_r - L_c$



8.2.2 Verifica a carico limite

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi dal muro sul terreno di fondazione deve essere superiore a ηq . Cioè, detto Q_u , il carico limite ed R la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$Q_u / R \geq \eta q$$

Essendo $\eta q \geq 1.0$ e comunque stabilito dalla normativa vigente.

Per le valutazioni del valore unitario del carico limite, q_u , è possibile ricorrere alle espressioni di Hansen per il calcolo della capacità portante, che si differenziano a seconda se si è in presenza di un terreno puramente coesivo ($\phi=0$) o meno e si esprimono nel modo seguente:

Caso generale

$$q_u = c N_c s_c d_c i_c g_c b_c + q N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

Caso di terreno puramente coesivo $\phi=0$

$$q_u = 5.14 c (1 + s_c + d_c - i_c - g_c - b_c) + q$$

in cui:

d_c, d_q, d_γ , sono i fattori di profondità;

s_c, s_q, s_γ , sono i fattori di forma;

i_c, i_q, i_γ , sono i fattori di inclinazione del carico;

b_c, b_q, b_γ , sono i fattori di inclinazione del piano di posa;

g_c, g_q, g_γ , sono i fattori che tengono conto del fatto che la fondazione poggia su un terreno in pendenza.

I fattori N_c, N_q, N_γ sono espressi come:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} K_p$$

$$N_c = (N_q - 1) \tan \phi$$

$$N_\gamma = 1.5 (N_q - 1) \tan \phi$$

Risulta inoltre:

Fattori di forma

$$s_c = 0.2 B/L \quad \text{per } \phi=0$$

$$s_c = 1 + (N_q/N_c) (B/L) \quad \text{per } \phi>0$$

$$s_q = 1 + (B/L) \tan \phi$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 B/L$$

Fattori di profondità

Si definisce il parametro k come:

$$k = D/B \quad \text{se } D/B \leq 1$$

$$k = \arctg(D/B) \quad \text{se } D/B > 1$$

I vari coefficienti si esprimono come:

$$d_c = 0.4k \quad \text{per } \phi=0$$

$$d_c = 1 + 0.4k \quad \text{per } \phi>0$$

$$d_q = 1 + 2\text{tg}\phi(1 - \sin\phi)^2 k$$

$$d_\gamma = 1$$

Fattori di inclinazione del carico

Indicando con V e H le componenti del carico rispettivamente perpendicolare e parallela alla base e con A_f l'area efficace della fondazione ottenuta come $A_f = B \times L'$ (B' e L' sono legate alle dimensioni effettive della fondazione B , L e all'eccentricità del carico e_B , e_L dalle relazioni $B' = B - 2e_B$ $L' = L - 2e_L$) e con η l'angolo di inclinazione della fondazione espresso in gradi ($\eta=0$ per fondazione orizzontale).

I fattori di inclinazione del carico si esprimono come:

$$i_c = 0.5 [1 - \sqrt{1 - H / (A_f c_a)}] \quad \text{per } \phi = 0$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1) \quad \text{per } \phi > 0$$

$$i_q = [1 - (0.5 H) / (V + A_f c_a \text{tg}\phi)]^5$$

$$i_\gamma = [1 - (0.7 H) / (V + A_f c_a \text{tg}\phi)]^5 \quad \text{per } \eta = 0$$

$$i_\gamma = [1 - [(0.7 - \eta^\circ / 45^\circ) H] / (V + A_f c_a \text{tg}\phi)]^5 \quad \text{per } \eta > 0$$

c_a : adesione alla base delle fondazione

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

$$b_c = \eta^\circ / 147^\circ \quad \text{per } \phi=0$$

$$b_c = 1 - \eta^\circ / 147^\circ \quad \text{per } \phi>0$$

$$b_q = e^{-2\eta \text{tg}\phi}$$

$$b_\gamma = e^{-2.7\eta \text{tg}\phi}$$

Fattori di inclinazione del terreno

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 25 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Indicando con β la pendenza del pendio i fattori g si ottengono dalle espressioni seguenti:

$$g_c = \beta^\circ / 147^\circ \quad \text{per } \phi = 0$$

$$g_c = 1 - \beta^\circ / 147^\circ \quad \text{per } \phi > 0$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0.05 \operatorname{tg} \beta)^5$$

Per poter applicare la formula di Hansen devono risultare verificate le seguenti condizioni:

$$H < V \operatorname{tg} \delta + A_r C_a$$

$$\beta \leq \phi$$

$$i_q, i_\gamma > 0$$

$$\beta + \eta \leq 90^\circ$$

Questa verifica ha significato solo per fondazione superficiale e non per fondazione su pali.

8.2.3 Verifica al Ribaltamento

La verifica a ribaltamento consiste nel determinare il momento risultante di tutte le forze che tendono a fare ribaltare il muro (momento ribaltante M_r) ed il momento risultante di tutte le forze che tendono a stabilizzare il muro (momento stabilizzante M_s) rispetto allo spigolo a valle della fondazione e verificare che il rapporto M_s/M_r sia maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_r , stabilito dalla normativa vigente.

Deve quindi essere verificata la seguente disequaglianza

$$M_s / M_r \geq \eta_r$$

Il momento ribaltante M_r è dato dalla componente orizzontale della spinta S , dalle forze di inerzia del muro e del terreno gravante sulla fondazione di monte (caso di presenza di sisma) per i rispettivi bracci. Nel momento stabilizzante interviene il peso del muro (applicato nel baricentro) ed il peso del terreno gravante sulla fondazione di monte. Per quanto riguarda invece la componente verticale della spinta essa sarà stabilizzante se l'angolo d'attrito terra-muro δ è positivo, ribaltante se δ è negativo. δ è positivo quando è il terrapieno che scorre rispetto al muro, negativo quando è il muro che tende a scorrere rispetto al terrapieno (questo può essere il caso di una spalla da ponte gravata da carichi notevoli). Se sono presenti dei tiranti essi contribuiscono al momento stabilizzante.

Questa verifica ha significato solo per fondazione superficiale e non per fondazione su pali.

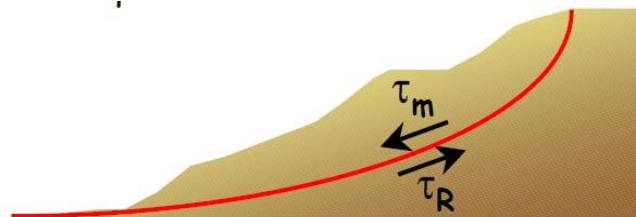
8.3 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

Nel presente paragrafo sono illustrati i criteri generali seguiti per l'effettuazione delle Verifiche di Stabilità Globale del complesso opera di sostegno-terrapieno.

8.3.1 Richiami teorici ed impostazione delle analisi

Per la analisi di stabilità globale presentate nel presente documento, si è fatto riferimento ai metodi dell'equilibrio limite, messi a punto da diversi autori tra cui, Fellenius, Bishop, Janbu, Morgenstern-Price, ecc.

In generale, ciascuno metodo va alla ricerca del potenziali superfici di scivolamento, generalmente di forma circolare, in qualche caso anche di forma diversa, rispetto a cui effettuare un equilibrio alla rotazione (o roto-traslazione) della potenziale massa di terreno coinvolta nel possibile movimento e quindi alla determinazione di un coefficiente di sicurezza coefficiente di sicurezza disponibile, espresso in via generale tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie S e quella effettivamente mobilitata lungo la stessa superficie, ovvero:



$$FS = \frac{\int_S \tau_{rott}}{\int_S \tau_{mob}}$$

Si procede generalmente suddividendo la massa di terreno coinvolta nella verifica in una serie di conci di dimensione b, interessati da azioni taglianti e normali sulle superfici di delimitazione dello stesso come di seguito rappresentato.

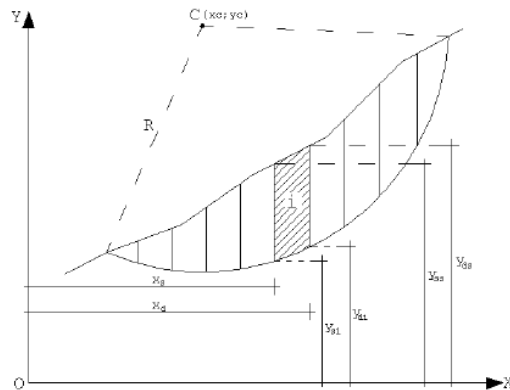
2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

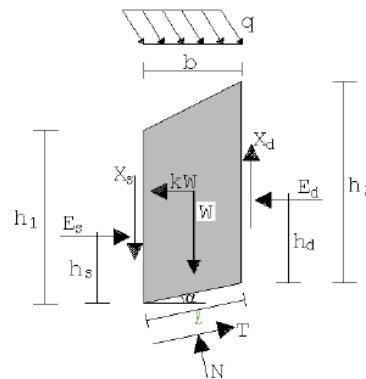
Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 27 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------



Il sistema di riferimento assunto è riportato in figura.



Per le valutazioni espone nel presente documento, si è fatto riferimento al metodo di Bishop, di cui al successivo paragrafo sono riportati alcuni richiami teorici.

La valutazione dei coefficienti di sicurezza, come evidenziato dai risultati delle analisi espone nel seguito, è stata effettuata in particolare rispetto a famiglie di superfici potenziali di rottura disegnate in maniera tale da non intersecare l'opera.

Si specifica infine che per il caso dei muri fondati su pali, tale verifica viene omessa in quanto non significativa.

8.3.2 Il metodo di BISHOP

Il coefficiente di sicurezza nei riguardi della Stabilità Globale del complesso opera-terreno si esprime secondo il metodo di Bishop, mediante la relazione:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{b_i c_i + W_i \operatorname{tg} \phi_i}{m} \right)}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i}$$

con

$$m = \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i}{\eta} \right) \cos \alpha_i$$

dove n è il numero delle strisce considerate, b_i ed α_i sono la larghezza e l'inclinazione della basedella striscia i-esima rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i-esima e c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine m che è funzione di η .

Quindi essa va risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per η da inserire nell'espressione di m ed iterare fino a quando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

8.3.3 Prescrizioni del DM 14-01-08

Il DM 14.01.08 affronta il tema della Stabilità Globale distinguendo il caso dei Pendii Naturali da quello delle opere in terra in materiali sciolti e fronti di scavo, fornendo prescrizioni differenti circa i criteri di verifica da adottare nei due casi.

Trattandosi nel caso in esame di valutare la Stabilità Globale di Opere a sostegno di scavi, si è ritenuto di dover adottare, nelle verifiche nel seguito esposte, i criteri suggeriti dalla norma per il caso dei "Fronti di Scavo e rilevati"; nel seguito si riportano dunque, per maggiore chiarezza espositiva, le specifiche normative a riguardo, ed a seguire, i risultati delle verifiche effettuate con riferimento a diversi casi di calcolo di paratie di sostegno esaminati ai paragrafi precedenti.

8.3.4 Stabilità di opere di materiali sciolti e fronti di scavo

Il punto 6.8 delle NTC e relativa circolare applicativa, tratta l'argomento della verifica di Stabilità di Materiali Sciolti e fronti di scavo, nella fattispecie, al punto 6.8.2 "Verifiche di Sicurezza (SLU)" viene prescritto quanto di seguito:

Le verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 1-Combinazione 2 (A2+M2+R2) tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I.

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 29 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

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

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano completamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

Tabella 6.8.I – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo.

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

Secondo la normativa quindi i parametri di resistenza del terreno devono essere abbattuti a mezzo dei coefficienti parziali M2, risultando pertanto

$$c'_d = c' / 1.25;$$

$$\phi'_d = \arctan (1 / 1.25 \cdot \tan \phi').$$

Il coefficiente di sicurezza F_s minimo da garantire in questo caso è pari ad 1.1 (γ_R).

8.3.5 Verifiche in fase sismica

Per ciò che concerne le verifiche in condizioni sismiche, la normativa fornisce al punto 7.11.3.5 indicazioni circa le azioni aggiuntive da considerare nell'ambito delle verifiche di Stabilità di Pendii in occasione di eventi sismici; nella fattispecie, si specifica che l'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii in condizioni sismiche può essere eseguita mediante metodi pseudostatici, metodi degli spostamenti e metodi di analisi dinamica.

Nei metodi pseudostatici, di riferimento per le analisi esposte nel seguito del documento, l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile. Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale di tali forze possono esprimersi come:

$$F_h = k_h \times W \text{ (azione sismica orizzontale)}$$

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 30 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

$$F_v = k_v \times W \text{ (azione sismica verticale)}$$

Per quanto riguarda invece il caso dei **Fronti di Scavo e Rilevati**, di riferimento per le analisi esposte nel presente documento, al punto 7.11.4 “Fronti di Scavo e Rilevati”, si specifica che il comportamento in condizioni sismiche dei fronti di scavo e dei rilevati può essere analizzato con gli stessi metodi impiegati per i pendii naturali. Nelle verifiche di sicurezza si deve controllare che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni impiegando i coefficienti parziali di cui al § 7.11.1.

Riguardo i valori dei coefficienti sismici K_h e K_v , si ritiene in questo caso di dover adottare i valori già definiti in precedenza nell’ambito del paragrafo 7.1.2 dedicato alla valutazione degli effetti sismici per il dimensionamento delle paratie, trattandosi in questo caso di una verifica di stabilità di un fronte di scavo sostenuto da un’opera di sostegno, che pertanto condizione la risposta sismica locale del volume di terreno immediatamente a monte della stessa.

7.11.1 REQUISITI NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE

Sotto l’effetto dell’azione sismica di progetto, definita al Cap. 3, le opere e i sistemi geotecnici devono rispettare gli stati limite ultimi e di esercizio definiti al § 3.2.1, con i requisiti di sicurezza indicati nel § 7.1.

Le verifiche agli stati limite ultimi devono essere effettuate ponendo pari all’unità i coefficienti parziali sulle azioni e impiegando i parametri geotecnici e le resistenze di progetto, con i valori dei coefficienti parziali indicati nel Cap. 6.

La circolare applicativa n°17 specifica ulteriormente al C7.11.4 che, Le verifiche pseudostatiche di sicurezza dei fronti di scavo e dei rilevati si eseguono con la combinazione di coefficienti parziali di cui al § 6.8.2: (A2+M2+R2), utilizzando valori unitari per i coefficienti parziali A2 come specificato al § 7.11.1.

In definitiva, per il caso dei Fronti di Scavo e Rilevati, anche in fase sismica, il coefficiente di sicurezza minimo prescritto dalla Normativa è pari a $R_2 = 1.1$ (γ_R).

9. ANALISI DEI CARICHI

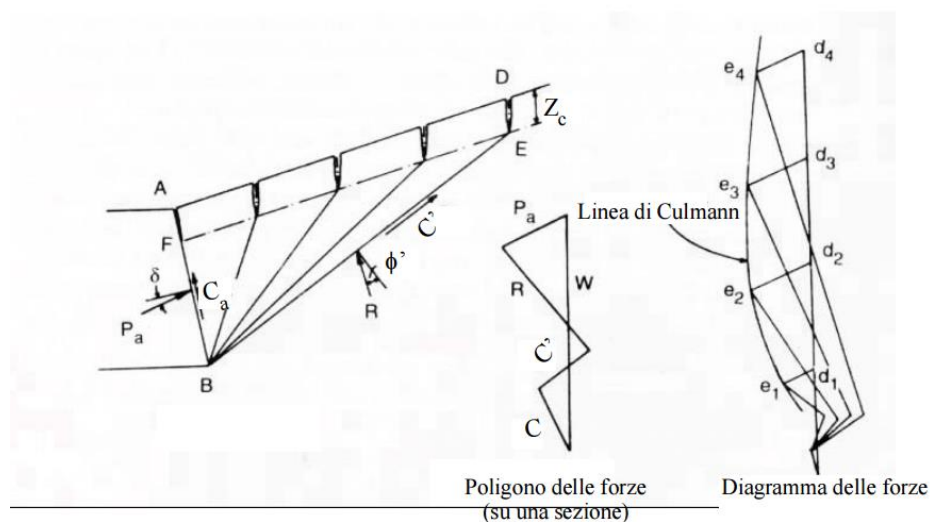
9.1 CARICHI FISSI

Per carichi fissi si intendono le azioni associate ai pesi propri del muro e del terrapieno spingente, valutati in automatico dal Software di calcolo utilizzato.

A tal riguardo, al calcestruzzo strutturale costituente il muro è stato assegnato un peso dell'unità di Volume $\gamma = 25 \text{ KN/m}^3$, mentre per il terreno si è assunto $\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$

9.2 SPINTE DEL TERRENO

Per la valutazione delle spinte del terreno in fase statica, si è fatto riferimento al metodo di Culmann, che ben si adatta a superfici di pendio a monte dell'opera di forma generica.



Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb.

La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il coefficiente di spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo).

Come il metodo di Coulomb anche questo metodo considera una superficie di rottura rettilinea.

I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione θ rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio (W), carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura (R e C') e resistenza per coesione lungo la parete (C_A);
- dal poligono di equilibrio si ricava quindi il valore della spinta S sulla parete (P_a).

+

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima. La convergenza non si raggiunge se il terrapieno risulta inclinato di un angolo maggiore dell'angolo d'attrito del terreno.

Nei casi in cui è applicabile il metodo di Coulomb (profilo a monte rettilineo e carico uniformemente distribuito) i risultati ottenuti col metodo di Culmann coincidono con quelli del metodo di Coulomb.

Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano quindi derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordinata z . Noto il diagramma delle pressioni è possibile ricavare il punto di applicazione della spinta.

Analogamente, nota la Spinta complessiva S , è possibile ricavare eventualmente in maniera indiretta, il valore del coefficiente di spinta K_a della nota espressione di Coulomb:

$$S = 1/2 \times \gamma \times H^2 \times K_a$$

Si precisa infine che per la valutazione delle spinte al terreno di rilevato sono state assegnati i seguenti parametri fisico-meccanici:

$$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$$

$$c' = 0$$

$$\varphi' = 35$$

$$\delta = 0.5\varphi' \text{ (attrito terra muro)}$$

9.3 SOVRACCARICHI ACCIDENTALI

Per la determinazione dei carichi accidentali da applicare sul terrapieno a monte delle opere di sostegno sulla zona destinata al traffico veicolare, si è fatto riferimento agli schemi di carico stabilità al punto 5.1.3.3.3 del DM 14/01/08 di cui nel seguito:

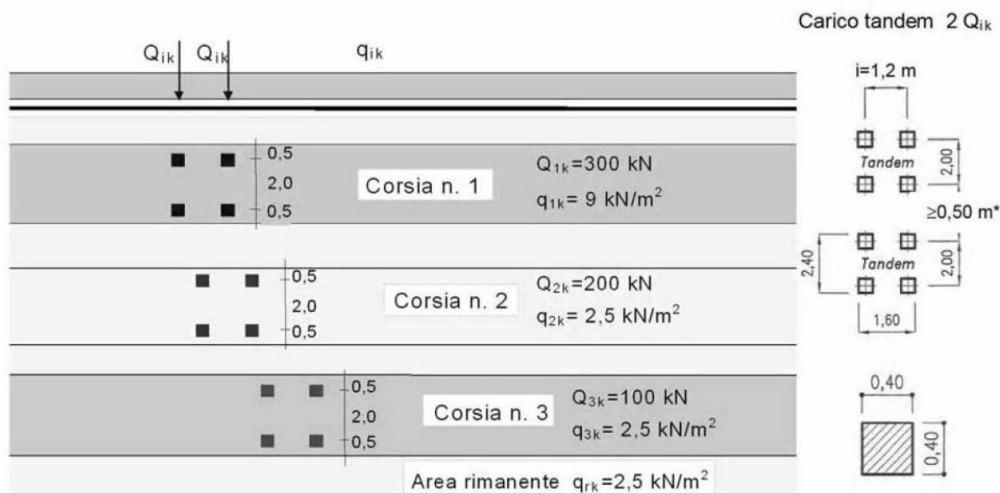


Figura 1 – Schema di carico 1

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 33 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Lo schema di carico di Normativa, è in particolare costituito dalle seguenti colonne di carico:

- una colonna di carichi (ingombro = 3 m) costituita da un automezzo convenzionale Q1k di 600 kN dotato di 2 assi di 2 ruote ciascuno, distanti 1.20 m in senso longitudinale e con interasse ruote in senso trasversale di 2.00 m; un carico ripartito q1k di 9 kN/m2 uniformemente distribuito;
- una seconda colonna di carichi (ingombro = 3 m), analoga alla precedente, ma con carichi pari rispettivamente a 400 kN di Q1k e 2.5 kN/m2 di q1k e posta ad interasse di 3.00 m. da essa;
- una terza colonna di carichi (ingombro = 3 m), analoga alla precedente, ma con carichi pari rispettivamente a 200 kN di Q1k e 2.5 kN/m2 di q1k e posta ad interasse di 3.00 m. da essa;
- un carico uniforme qrk = 2.5 kN/m2 nella zona di carreggiata non impegnata dai carichi precedenti.

Ai fini delle analisi, si è assunto di trasformare i carichi concentrati Qik, in un carichi distribuiti equivalenti,

tenendo conto tuttavia dell'effetto collaborazione dei muri in direzione longitudinale, in relazione a cui si è ipotizzato che detti carichi vadano ad interessare uno sviluppo complessivo longitudinale di muro di circa 5m, corrispondente , nel caso fondazioni su pali, alla lunghezza di un tratto tipo comprendente la singola fila di pali e le due adiacenti.

In questa ipotesi risulta dunque:

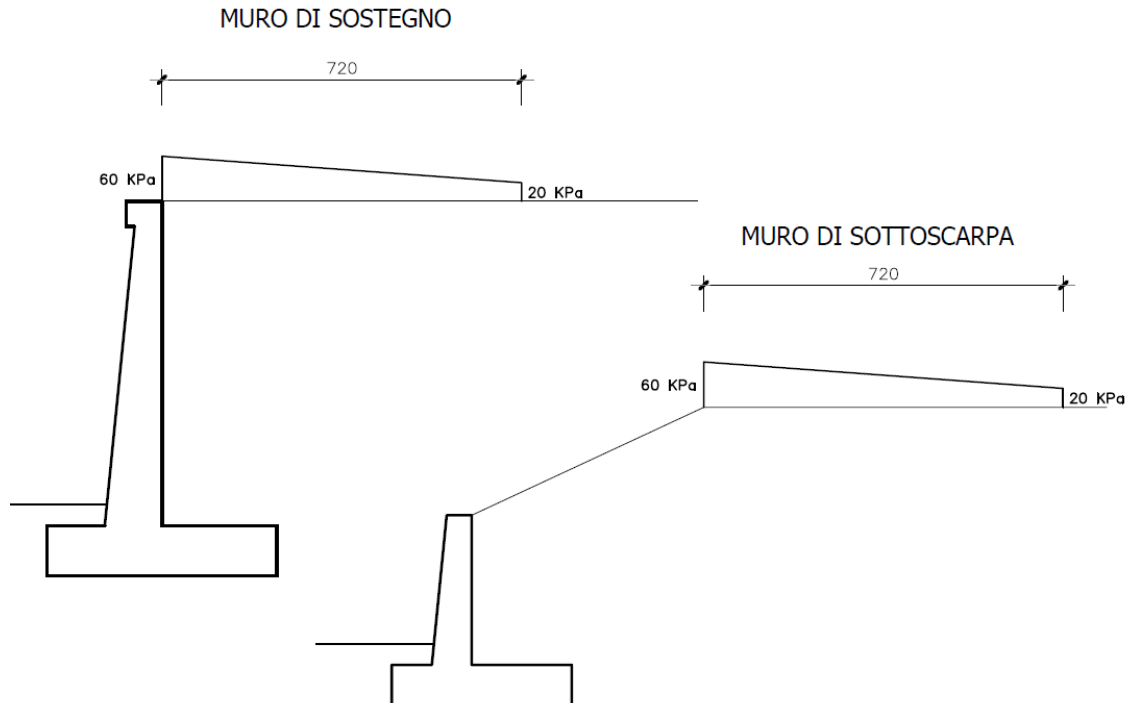
$$Q1k d = 600 / 2.40 \times 5.00 = 50 \text{ KN/m}^2$$

$$Q2k d = 400 / 2.40 \times 5.00 = 33 \text{ KN/m}^2$$

$$Q3k d = 200 / 2.40 \times 5.00 = 17 \text{ KN/m}^2$$

In aggiunta, sul lato corsia 1, va considerato un ulteriore carico distribuito di 9KN/m2, mentre sul lato corsia 3, il carico aggiuntivo è pari a 2.5 KN/m2.

In definitiva, nell'ipotesi di disporre le tre corsie in affiancamento, è possibile considerare, ai fini delle analisi, il carico uniforme equivalente negli schemi di figura seguente:



Schemi Carico Azioni da traffico Veicolare

9.4 AZIONI SISMICHE

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 NTC 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:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g} \quad (7.11.6)$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h \quad (7.11.7)$$

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

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (7.11.8)$$

dove

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_S) e dell'amplificazione topografica (S_T), di cui al § 3.2.3.2;

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

Nella precedente espressione, il coefficiente β_m assume i valori riportati nella Tab. 7.11-II.

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 35 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Tabella 7.11.II - Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	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

Tenendo tuttavia conto della specifica che prescrive, nel caso di muri che non siano in grado di subire spostamenti (quale è il caso dei muri su pali) un valore del coefficiente β_m pari ad 1.0. Assumendo tale valore si considera che, cautelativamente, il terreno di riempimento è rigidamente connesso all'opera e non subisce deformazioni o movimenti relativi rispetto ad essa.

Nel caso in specie si ha:

- Per i muri su fondazione diretta:
 - $a_g/g = 0.206$;
 - $a_{max}/g=0.285$
 - $\beta_m=0.31$;
 - $K_h=0.089$
- Per i muri su pali:
 - $a_g/g = 0.206$;
 - $a_{max}/g=0.285$
 - $\beta_m=1$;
 - $K_h=0.285$

9.4.1 Forze d'inerzia

Per le verifiche in fase sismica verranno pertanto applicate a tutti carichi fissi le seguenti forze d'inerzia:

$$F_h = K_h \cdot W_i \quad (\text{Forza d'inerzia legata alla componente orizzontale del sisma})$$

$$F_v = \pm 0.5 K_v \cdot W_i \quad (\text{Forza d'inerzia legata alla componente verticale del sisma})$$

essendo W_i il peso dell'elemento in esame o l'entità del carico fisso.

9.4.2 Effetti sismici sulle spinte del terreno

Il metodo di Culmann tiene conto automaticamente dell'incremento di spinta.

Per le verifiche in fase sismica infatti, nell'equazione risolutiva dell'equilibrio del cuneo, vengono infatti aggiunte anche le forze d'inerzia proprie del Cuneo F_h ed F_v .

La superficie di rottura nel caso di sisma risulta generalmente meno inclinata della corrispondente superficie in assenza di sisma.

9.4.3 Effetti dell'Azione sismica sulla falda

Normalmente gli effetti idrodinamici considerati per il calcolo delle paratie sono calcolati con il metodo di Westergaard (Westergaard, 1931) e sono applicate sempre come pressioni esterne. La pressione idrodinamica viene calcolata come in particolare come segue:

$$p_w = \frac{7}{8} a_x \gamma_w \sqrt{z_w H}$$

H è l'altezza del livello di falda rispetto a fondo scavo

z_w è la profondità del punto considerato dalla superficie libera della falda

10. COMBINAZIONI DI CALCOLO

Si riporta nel seguito il riepilogo delle Combinazioni di Carico esaminate per l'Analisi e Verifica dei muri di Sottscarpa.

Simbologia adottata

F/S Effetto dell'azione (FAV: Favorevole, SFAV: Sfavorevole)

γ Coefficiente di partecipazione della condizione

Ψ Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,30	1.00	1,30

Combinazione n° 2 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,30	1.00	1,30
SOVRACCARICO STRADALE	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 3 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 4 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 5 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 6 - Quasi Permanente (SLE)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 7 - Frequente (SLE)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1.00	1,00
SOVRACCARICO STRADALE	SFAV	1.00	0.75	0.75

Combinazione n° 8 - Rara (SLE)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1.00	1,00
SOVRACCARICO STRADALE	SFAV	1.00	1.00	1.00

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 38 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Si riporta nel seguito il riepilogo delle Combinazioni di Carico esaminate per l'Analisi e Verifica dei muri di sostegno.

Combinazione n° 1 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,30	1.00	1,30

Combinazione n° 2 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,30	1.00	1,30
SOVRACCARICO STRADALE	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 3 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,30	1.00	1,30
Urto Veicolo	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 4 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 5 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 6 - Quasi Permanente (SLE)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 7 - Frequente (SLE)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1.00	1,00
SOVRACCARICO STRADALE	SFAV	1.00	0.75	0.75

Combinazione n° 8 - Rara (SLE)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1.00	1,00
SOVRACCARICO STRADALE	SFAV	1.00	1.00	1.00

11. RISULTATI ANALISI E VERIFICHE

Si riportano di seguito risultati delle analisi e verifiche delle diverse sezioni tipo dei muri

11.1 RISULTATI ANALISI E VERIFICHE MURI SOTTOSCARPA TIPO 2

11.1.1 Modello di calcolo

Le sollecitazioni provenienti dal muro vengono ripartite sui pali restituendo le sollecitazioni nei pali in termini di Taglio, Momento e sforzo normale. Gli scarichi sui pali vengono determinati mediante il metodo delle rigidezze. La piastra di fondazione viene considerata infinitamente rigida (3 gradi di libertà) ed i pali vengono considerati incastrati o incernierati a tale piastra.

Viene effettuata una prima analisi di ogni palo di ciascuna fila (i pali di ogni fila hanno le stesse caratteristiche) per costruire una curva carichi-spostamenti del palo. Questa curva viene costruita considerando il palo elastico. Si tratta, in definitiva, della matrice di rigidezza del palo K_e , costruita imponendo traslazioni e rotazioni unitarie per determinare le corrispondenti sollecitazioni in testa al palo. Nota la matrice di rigidezza di ogni palo si assembla la matrice globale (di dimensioni 3x3) della palificata, K . A questo punto, note le forze agenti in fondazione (N, T, M) si possono ricavare gli spostamenti della piastra (abbassamento, traslazione e rotazione) e le forze che si scaricano su ciascun palo. Infatti indicando con p il vettore dei carichi e con u il vettore degli spostamenti della piastra abbiamo:

$$u = K^{-1}p$$

Noti gli spostamenti della piastra, e quindi della testa dei pali, abbiamo gli scarichi su ciascun palo. Allora per ciascun palo viene effettuata un'analisi elastoplastica incrementale (tramite il metodo degli elementi finiti) che, tenendo conto della plasticizzazione del terreno, calcola le sollecitazioni in tutte le sezioni del palo., le caratteristiche del terreno (rappresentate da K_h) sono tali che se non è possibile raggiungere l'equilibrio si ha collasso per rottura del terreno. In tale analisi i pali sono considerati incastrati alla fondazione di base. Di seguito si riportano i principali risultati delle analisi svolte sul muro su pali. Per ulteriori dettagli si ribanda ai tabulati in allegato.

Si riportano di seguito in forma tabellare i valori delle spinte di natura statica e sismica per le combinazioni analizzate, gli involuipi delle sollecitazioni nel muro, sulla fondazione e nei pali.

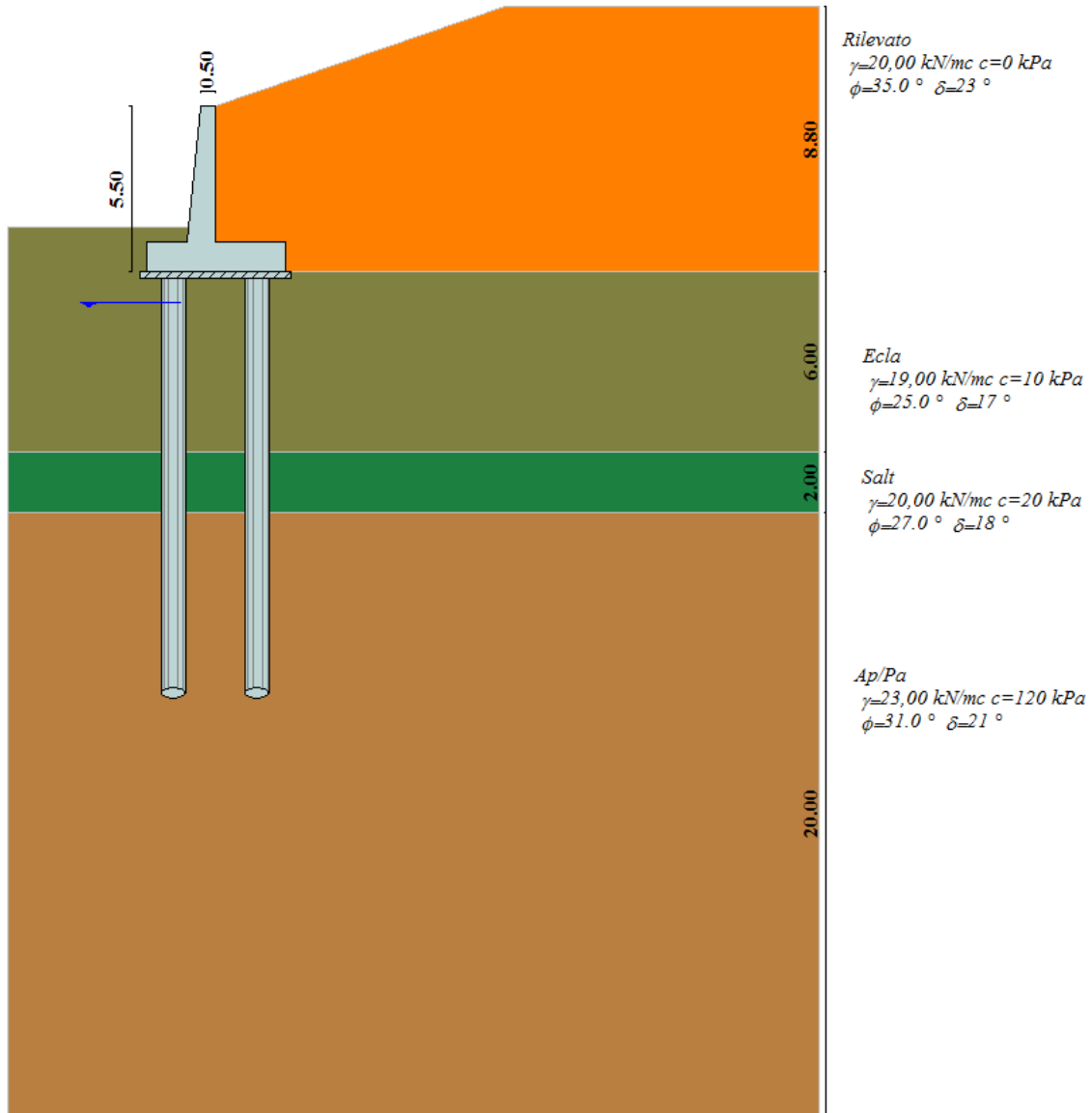
2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 40 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------



Modello di calcolo muro su PALI

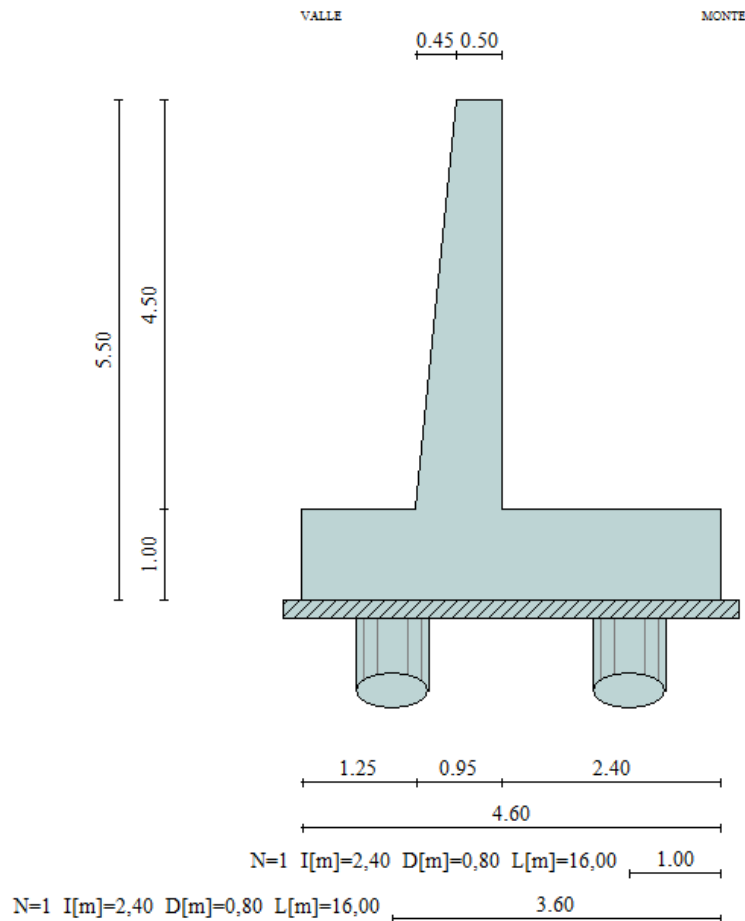
2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 41 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------



Geometria muro

Comb.	Tipo comb.	Sisma	FS (ribalt)	FS (scorr)	FS (qult)	FS (stab)	Spinta[kN]	Incr. sism.[kN]
▶ 1	A1-M1 - [1]	--	--	--	--	--	317,1581	0,0000
2	A1-M1 - [2]	--	--	--	--	--	328,0107	0,0000
3	A1-M1 - [3]	SismaH + SismaV positivo	--	--	--	--	243,9677	253,9174
4	A1-M1 - [3]	SismaH + SismaV negativo	--	--	--	--	243,9677	215,3830
5	A1-M1 - [4]	SismaH + SismaV positivo	--	--	--	--	243,9677	253,9174
6	SLEQ - [1]	--	--	--	--	--	243,9677	0,0000
7	SLEF - [1]	--	--	--	--	--	247,3666	0,0000
8	SLEP - [1]	--	--	--	--	--	250,2619	0,0000

Azioni risultanti sul muro

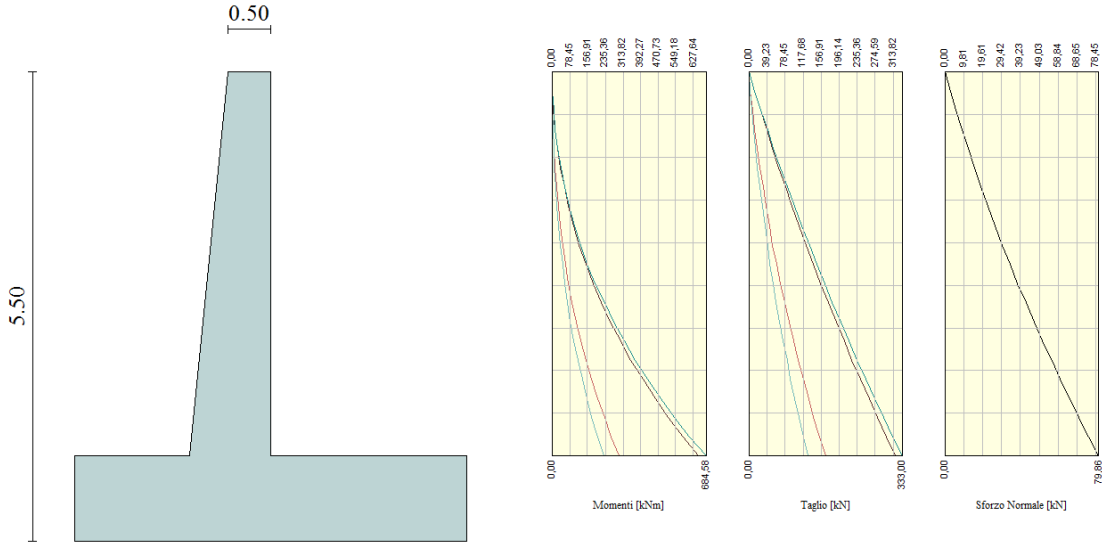
2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 42 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------



Inviluppo sollecitazioni sul muro

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 43 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

11.1.2 Verifiche strutturali

Nella tabella seguente si riportano le armature di progetto previste per la sezione di calcolo in questione, come desumibili dagli elaborati grafici di armatura delle opere relative:

Elemento	Armatura a flessione		Elemento	Armatura a flessione	
	Lato monte	Lato valle		Lato inferiore	Lato superiore
PARAMENTO	1φ22/20	1φ18/20	FONDAZIONE	1φ22/20	1φ22/10

Ai fini delle verifiche si è fatto riferimento per la parte in elevazione (paramento e fondazione muro) ad un copriferro di calcolo (asse armature) pari a 4 cm, mentre per i pali si è assunto un copriferro di calcolo pari a 7 cm.

Verifiche strutturali per paramento e fondazione

Di seguito si riporta l'involuppo delle sollecitazioni nel paramento e nella fondazione ed i risultati delle verifiche strutturali.

Involuppo Sollecitazioni paramento

Involuppo combinazioni SLU

Nr.	Y	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,23	2,8199	2,8199	0,4254	1,4453	3,9994	13,0519
3	0,45	5,7633	5,7633	1,7706	5,8384	8,4629	26,4910
4	0,68	8,8301	8,8301	4,1374	13,2643	13,3806	40,3099
5	0,90	12,0205	12,0205	7,6263	23,8067	18,7503	54,5067
6	1,13	15,3343	15,3343	12,3376	37,5493	24,5719	69,0815
7	1,35	18,7716	18,7716	18,3715	54,5756	30,8455	84,0342
8	1,57	22,3323	22,3323	25,8283	74,9694	37,5709	99,3648
9	1,80	26,0166	26,0166	34,8084	98,8143	44,7483	115,0734
10	2,02	29,8243	29,8243	45,4120	126,1938	52,3777	131,1600
11	2,25	33,7555	33,7555	57,7394	157,1918	60,4589	147,6244
12	2,48	37,8101	37,8101	71,8909	191,8917	68,9921	164,4669
13	2,70	41,9883	41,9883	87,9668	230,3772	77,9772	181,6872
14	2,93	46,2899	46,2899	106,0673	272,7321	87,4142	199,2855
15	3,15	50,7150	50,7150	126,2928	319,0398	97,3032	217,2618
16	3,38	55,2636	55,2636	148,7436	369,3842	107,6441	235,6160
17	3,60	59,9356	59,9356	173,5199	423,8487	118,4369	254,3481
18	3,83	64,7312	64,7312	200,7220	482,5170	129,6817	273,4582
19	4,05	69,6502	69,6502	230,4502	545,4729	141,3783	292,9462
20	4,28	74,6927	74,6927	262,8048	612,7999	153,5270	312,8122
21	4,50	79,8586	79,8586	297,8818	684,5783	166,0552	333,0005

Involuppo combinazioni SLE

Nr.	Y	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,23	2,8199	2,8199	0,3236	0,3236	3,0765	3,0765
3	0,45	5,7633	5,7633	1,3472	1,3472	6,5099	6,5099
4	0,68	8,8301	8,8301	3,1489	3,1489	10,2928	10,2928
5	0,90	12,0205	12,0205	5,8056	5,8056	14,4233	14,4233
6	1,13	15,3343	15,3343	9,3941	9,3941	18,9015	18,9015
7	1,35	18,7716	18,7716	13,9912	13,9912	23,7273	23,7273
8	1,57	22,3323	22,3323	19,6738	19,6738	28,9007	28,9007
9	1,80	26,0166	26,0166	26,5187	26,5187	34,4218	34,4218
10	2,02	29,8243	29,8243	34,6028	34,6028	40,2905	40,2905
11	2,25	33,7555	33,7555	44,0027	44,0027	46,5069	46,5069

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 44 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

12	2,48	37,8101	37,8101	54,7954	54,7954	53,0708	53,0708
13	2,70	41,9883	41,9883	67,0577	67,0577	59,9825	59,9825
14	2,93	46,2899	46,2899	80,8664	80,8664	67,2417	67,2417
15	3,15	50,7150	50,7150	96,2983	96,2983	74,8486	74,8486
16	3,38	55,2636	55,2636	113,4303	113,4303	82,8032	82,8032
17	3,60	59,9356	59,9356	132,3391	132,3391	91,1053	91,1053
18	3,83	64,7312	64,7312	153,1016	153,1016	99,7551	99,7551
19	4,05	69,6502	69,6502	175,7946	175,7946	108,7526	108,7526
20	4,28	74,6927	74,6927	200,4950	200,4950	118,0977	118,0977
21	4,50	79,8586	79,8586	227,2762	227,2762	127,7348	127,7348

Inviluppo armature e tensioni nei materiali del muro

L'ordinata Y (espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con CEE origine in testa al muro

B	base della sezione espressa in [m]
H	altezza della sezione espressa in [m]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [mq]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [mq]
σ _c	tensione nel calcestruzzo espressa in [kPa]
τ _c	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [kPa]
σ _{fs}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di monte in [kPa]
σ _{fi}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di valle in [kPa]
N _u	sforzo normale ultimo espresso in [kN]
M _u	momento ultimo espresso in [kNm]
CS	coefficiente sicurezza sezione
VRd	Resistenza al taglio, espresso in [kN]

Inviluppo SLU

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	N _u	M _u	CS	V _{Rd}	V _{Rcd}	V _{Rsd}
1	0,00	1,00, 0,50	0,000000	0,001272	0,00	0,00	1000,00	173,53	--	--
2	0,23	1,00, 0,52	0,001901	0,001272	1083,09	-555,12	384,09	205,59	--	--
3	0,45	1,00, 0,54	0,001901	0,001272	444,77	-450,57	77,17	210,46	--	--
4	0,68	1,00, 0,57	0,001901	0,001272	290,65	-436,60	32,92	215,26	--	--
5	0,90	1,00, 0,59	0,001901	0,001272	222,05	-439,77	18,47	220,02	--	--
6	1,13	1,00, 0,61	0,001901	0,001272	183,33	-448,92	11,96	224,72	--	--
7	1,35	1,00, 0,63	0,001901	0,001272	158,52	-460,87	8,44	229,38	--	--
8	1,57	1,00, 0,66	0,001901	0,001272	141,30	-474,35	6,33	233,99	--	--
9	1,80	1,00, 0,68	0,001901	0,001272	128,68	-488,76	4,95	238,56	--	--
10	2,02	1,00, 0,70	0,001901	0,001272	119,06	-503,77	3,99	243,10	--	--
11	2,25	1,00, 0,72	0,001901	0,001272	111,49	-519,20	3,30	247,61	--	--
12	2,48	1,00, 0,75	0,001901	0,001272	105,40	-534,94	2,79	252,08	--	--
13	2,70	1,00, 0,77	0,001901	0,001272	100,40	-550,89	2,39	256,52	--	--
14	2,93	1,00, 0,79	0,001901	0,001272	96,24	-567,02	2,08	260,94	--	--
15	3,15	1,00, 0,81	0,001901	0,001272	92,72	-583,29	1,83	265,33	--	--
16	3,38	1,00, 0,84	0,001901	0,001272	89,72	-599,66	1,62	269,70	--	--
17	3,60	1,00, 0,86	0,001901	0,001272	87,13	-616,13	1,45	274,04	--	--
18	3,83	1,00, 0,88	0,000000	0,001272	0,22	-1,66	0,00	278,77	--	--
19	4,05	1,00, 0,90	0,001901	0,001272	82,90	-649,26	1,19	284,90	--	--
20	4,28	1,00, 0,93	0,001901	0,001272	81,17	-665,91	1,09	291,03	--	--
21	4,50	1,00, 0,95	0,001901	0,001272	79,63	-682,61	1,00	297,16	--	--

Inviluppo SLE

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fs}	σ _{fi}
1	0,00	1,00, 0,50	0,000000	0,001272	0	0	0	0
2	0,23	1,00, 0,52	0,001901	0,001272	11	8	6	-155
3	0,45	1,00, 0,54	0,001901	0,001272	39	15	406	-511
4	0,68	1,00, 0,57	0,001901	0,001272	86	23	1529	-1075
5	0,90	1,00, 0,59	0,001901	0,001272	148	31	3373	-1811

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 45 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

6	1,13	1,00, 0,61	0,001901	0,001272	223	39	5915	-2705
7	1,35	1,00, 0,63	0,001901	0,001272	312	47	9138	-3746
8	1,57	1,00, 0,66	0,001901	0,001272	412	55	13031	-4929
9	1,80	1,00, 0,68	0,001901	0,001272	522	63	17585	-6246
10	2,02	1,00, 0,70	0,001901	0,001272	643	72	22793	-7691
11	2,25	1,00, 0,72	0,001901	0,001272	774	80	28647	-9259
12	2,48	1,00, 0,75	0,001901	0,001272	914	88	35143	-10946
13	2,70	1,00, 0,77	0,001901	0,001272	1063	97	42276	-12747
14	2,93	1,00, 0,79	0,001901	0,001272	1220	105	50041	-14658
15	3,15	1,00, 0,81	0,001901	0,001272	1384	114	58434	-16676
16	3,38	1,00, 0,84	0,001901	0,001272	1557	122	67453	-18797
17	3,60	1,00, 0,86	0,001901	0,001272	1737	131	77093	-21017
18	3,83	1,00, 0,88	0,000000	0,001272	325936	139	0	308858
19	4,05	1,00, 0,90	0,001901	0,001272	2118	148	98228	-25747
20	4,28	1,00, 0,93	0,001901	0,001272	2318	157	109719	-28251
21	4,50	1,00, 0,95	0,001901	0,001272	2525	165	121820	-30843

Inviluppo armature e tensioni nei materiali della fondazione

Fondazione di valle

(L'ascissa X, espressa in [m], è positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle)

Inviluppo SLU

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	N _u	M _u	CS	V _{Rd}	V _{Rcd}	V _{Rsd}
1	0,00	1,00, 1,00	0,000000	0,000000	0,00	0,00	0,00	297,79	--	--
2	0,15	1,00, 1,00	0,000000	0,000000	0,00	0,00	0,00	297,79	--	--
3	0,30	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	0,00	-1360,65	57,03	362,37	--	--
4	0,45	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	0,00	-1360,65	26,74	362,37	--	--
5	0,60	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	0,00	-1360,65	14,34	362,37	--	--
6	0,73	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	0,00	-1360,65	9,18	362,37	--	--
7	0,87	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	0,00	-1360,65	6,40	362,37	--	--
8	1,00	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	0,00	689,50	4,84	362,37	--	--
9	1,17	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	0,00	689,50	2,39	362,37	--	--
10	1,35	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	0,00	689,50	1,03	362,37	--	--

Inviluppo SLE

Nr.	X	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
11	0,00	1,00, 1,00	0,000000	0,000000	0	4	0	0
12	0,15	1,00, 1,00	0,000000	0,000000	0	10	0	0
13	0,30	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	40	23	2731	1016
14	0,45	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	84	40	5774	2402
15	0,60	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	201	69	10826	8130
16	0,73	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	257	95	17001	10423
17	0,87	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	357	215	24454	5532
18	1,00	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	472	327	32323	-5442
19	1,17	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	994	489	68019	-11452
20	1,35	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	2478	714	169594	-28553

Fondazione di monte

(L'ascissa X, espressa in [m], è positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte)

Inviluppo SLU

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	N _u	M _u	CS	V _{Rd}	V _{Rcd}	V _{Rsd}
1	0,00	1,00, 1,00	0,000000	0,000000	0,00	0,00	0,00	297,79	--	--
2	0,15	1,00, 1,00	0,000000	0,000000	0,00	0,00	0,00	297,79	--	--
3	0,30	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	0,00	-1360,65	97,06	362,37	--	--
4	0,45	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	0,00	-1360,65	75,98	362,37	--	--

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 46 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

5	0,60	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	0,00	-1360,65	32,16	362,37	--	--
6	0,73	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	0,00	-1360,65	18,51	362,37	--	--
7	0,87	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	0,00	-1360,65	11,92	362,37	--	--
8	1,00	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	0,00	-1360,65	8,25	362,37	--	--
9	1,13	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	0,00	-1360,65	6,02	362,37	--	--
10	1,27	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	0,00	-1360,65	4,58	362,37	--	--
11	1,40	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	0,00	-1360,65	3,61	297,79	--	--
12	1,55	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	0,00	-1360,65	2,86	297,79	--	--
13	1,70	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	0,00	-1360,65	2,28	362,37	--	--
14	1,85	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	0,00	-1360,65	1,88	362,37	--	--
15	2,00	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	0,00	-1360,65	1,59	362,37	--	--
16	2,15	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	0,00	-1360,65	1,37	362,37	--	--
17	2,30	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	0,00	-1360,65	1,18	362,37	--	--

Inviluppo SLE

Nr.	X	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
18	0,00	1,00, 1,00	0,000000	0,000000	0	0	0	0
19	0,15	1,00, 1,00	0,000000	0,000000	0	0	0	0
20	0,30	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	45	0	-568	1813
21	0,45	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	100	0	-1274	4065
22	0,60	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	182	0	-2308	7365
23	0,73	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	274	0	-3477	11093
24	0,87	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	385	0	-4883	15578
25	1,00	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	514	0	-6525	20819
26	1,13	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	662	0	-8404	26812
27	1,27	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	829	0	-10514	33545
28	1,40	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	1013	0	-12850	41000
29	1,55	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	1240	0	-15740	50218
30	1,70	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	1493	0	-18942	60436
31	1,85	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	1767	0	-22416	71520
32	2,00	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	2061	0	-26151	83436
33	2,15	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	2376	0	-30150	96196
34	2,30	1,00, 1,00	0,003801	0,001901	2713	0	-34426	109838

L'ordinata Y (espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

A_{fs} area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [mq]

A_{fi} area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [mq]

M_{pf} Momento di prima fessurazione espressa in [kNm]

M Momento agente nella sezione espressa in [kNm]

ε_m deformazione media espressa in [%]

S_m Distanza media tra le fessure espressa in [mm]

w Apertura media della fessura espressa in [mm]

Verifica fessurazione paramento

N°	Y	A _{fs}	A _{fi}	M _{pf}	M	ε _m	S _m	w
1	0,00	0,000000	0,001272	-59,91	0,00	0,0000	0,00	0,000
2	0,23	0,001901	0,001272	71,94	0,00	0,0000	0,00	0,000
3	0,45	0,001901	0,001272	-80,49	-0,04	0,0000	0,00	0,000
4	0,68	0,001901	0,001272	-86,94	-0,21	0,0000	0,00	0,000
5	0,90	0,001901	0,001272	-93,62	-0,57	0,0000	0,00	0,000
6	1,13	0,001901	0,001272	-100,54	-1,21	0,0000	0,00	0,000
7	1,35	0,001901	0,001272	-107,70	-2,21	0,0000	0,00	0,000
8	1,57	0,001901	0,001272	-115,10	-3,63	0,0000	0,00	0,000
9	1,80	0,001901	0,001272	-122,74	-5,56	0,0000	0,00	0,000
10	2,02	0,001901	0,001272	-130,61	-8,08	0,0000	0,00	0,000
11	2,25	0,001901	0,001272	-138,72	-11,25	0,0000	0,00	0,000
12	2,48	0,001901	0,001272	-147,07	-15,16	0,0000	0,00	0,000
13	2,70	0,001901	0,001272	-155,65	-19,89	0,0000	0,00	0,000
14	2,93	0,001901	0,001272	-164,48	-25,50	0,0000	0,00	0,000
15	3,15	0,001901	0,001272	-173,54	-32,09	0,0000	0,00	0,000
16	3,38	0,001901	0,001272	-182,84	-39,72	0,0000	0,00	0,000
17	3,60	0,001901	0,001272	-192,37	-48,47	0,0000	0,00	0,000
18	3,83	0,000000	0,001272	-185,48	-58,41	0,0000	0,00	0,000

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 47 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

19	4,05	0,001901	0,001272	-212,16	-69,64	0,0000	0,00	0,000
20	4,28	0,001901	0,001272	-222,41	-82,21	0,0000	0,00	0,000
21	4,50	0,001901	0,001272	-232,89	-96,21	0,0000	0,00	0,000

Verifica fessurazione fondazione

N°	Y	A _{fs}	A _{fi}	M _{pf}	M	ε _m	S _m	w
1	-2,30	0,000000	0,000000	235,31	0,11	0,0000	0,00	0,000
2	-2,15	0,000000	0,000000	-235,31	-1,32	0,0000	0,00	0,000
3	-2,00	0,003801	0,001901	-278,23	-2,45	0,0000	0,00	0,000
4	-1,85	0,003801	0,001901	-278,23	-5,77	0,0000	0,00	0,000
5	-1,70	0,003801	0,001901	-278,23	-17,97	0,0000	0,00	0,000
6	-1,57	0,003801	0,001901	-278,23	-23,43	0,0000	0,00	0,000
7	-1,43	0,003801	0,001901	263,35	21,44	0,0000	0,00	0,000
8	-1,30	0,003801	0,001901	263,35	28,31	0,0000	0,00	0,000
9	-1,12	0,003801	0,001901	263,35	63,12	0,0000	0,00	0,000
10	-0,95	0,003801	0,001901	263,35	165,38	0,0000	0,00	0,000
11	0,00	0,003801	0,001901	-278,23	-164,75	0,0000	0,00	0,000
12	0,15	0,003801	0,001901	-278,23	-126,47	0,0000	0,00	0,000
13	0,30	0,003801	0,001901	-278,23	-103,95	0,0000	0,00	0,000
14	0,45	0,003801	0,001901	-278,23	-87,71	0,0000	0,00	0,000
15	0,60	0,003801	0,001901	-278,23	-75,30	0,0000	0,00	0,000
16	0,75	0,003801	0,001901	-278,23	-67,66	0,0000	0,00	0,000
17	0,90	0,003801	0,001901	-278,23	-68,22	0,0000	0,00	0,000
18	1,03	0,003801	0,001901	-278,23	-69,67	0,0000	0,00	0,000
19	1,17	0,003801	0,001901	-278,23	-67,08	0,0000	0,00	0,000
20	1,30	0,003801	0,001901	-278,23	-61,61	0,0000	0,00	0,000
21	1,43	0,003801	0,001901	-278,23	-53,68	0,0000	0,00	0,000
22	1,57	0,003801	0,001901	-278,23	-42,97	0,0000	0,00	0,000
23	1,70	0,003801	0,001901	-278,23	-28,50	0,0000	0,00	0,000
24	1,85	0,003801	0,001901	-278,23	-14,40	0,0000	0,00	0,000
25	2,00	0,003801	0,001901	-278,23	-7,17	0,0000	0,00	0,000
26	2,15	0,000000	0,000000	-235,31	-2,65	0,0000	0,00	0,000
27	2,30	0,000000	0,000000	235,31	0,28	0,0000	0,00	0,000

VERIFICHE A TAGLIO

I risultati ottenuti dalle verifiche delle sezioni maggiormente sollecitate per la struttura in esame sono riepilogati nella seguente tabella.

Verifica a taglio (per metro lineare di sviluppo longitudinale)						
Sezione	V _{Ed}	b	h	V _{Rd}	ESITO	Armatura a taglio
[-]	[kN]	[cm]	[cm]	[kN]	[-]	[-]
Paramento	333	100	95	388	verificato	Spilli Φ12/40x40
Fondazione	502	100	100	737	verificato	Φ18/20

VERIFICHE STRUTTURALI PALI DI FONDAZIONE

Per i pali di fondazione si prevedono le seguenti armature:

- Gabbia superiore 26φ24 e staffa a spirale φ16/20
- Gabbia inferiore 18φ18 e staffa a spirale φ14/20

Si riportano i risultati in termini di sollecitazione sul palo e verifiche a flessione e taglio:

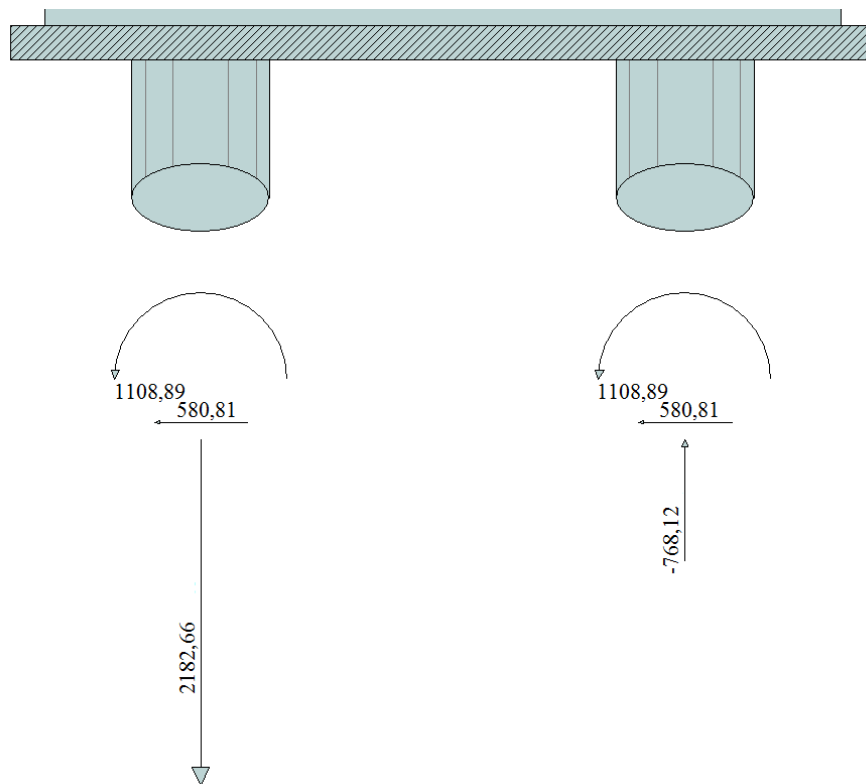
2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 48 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------



Sollecitazioni massime testa palo – SLU

Verifica a pressoflessione - SLU			Verifica a taglio - SLU		
$M_{Ed,Max}$	M_{Rd}	c.s. Flessione	$V_{Ed,Max}$	V_{Rd}	c.s. Taglio
[kNm]	[kNm]	[-]	[kNm]	[kNm]	[-]
1109	1142	1.03	580	670	1.16

Verifica tensionale - SLE			Verifica a fessurazione - SLE			
Combo Rara			Combo QP		Combo F	
$M_{Ed,Max}$	$\sigma_{c,MAX}$	$\sigma_{s,MIN}$	$M_{Ed,Max}$	w	$M_{Ed,Max}$	w
[kNm]	[MPa]	[MPa]	[kNm]	[mm]	[kNm]	[mm]
423	8.3	-160	390	0.17	412	0.19

11.1.3 Verifiche capacità portante

Nel seguito si riportano i risultati riguardanti la valutazione della lunghezza minima dei pali necessaria al soddisfacimento delle verifiche di capacità portante. In particolare da un confronto tra i valori massimi degli sforzi normali massimi attesi e le curve di capacità portante presentate nella "Relazione geotecnica generale sulle opere all'aperto" – L0703212E02GE0001REL01, con riferimento ai pali di diametro D800 si è ottenuto

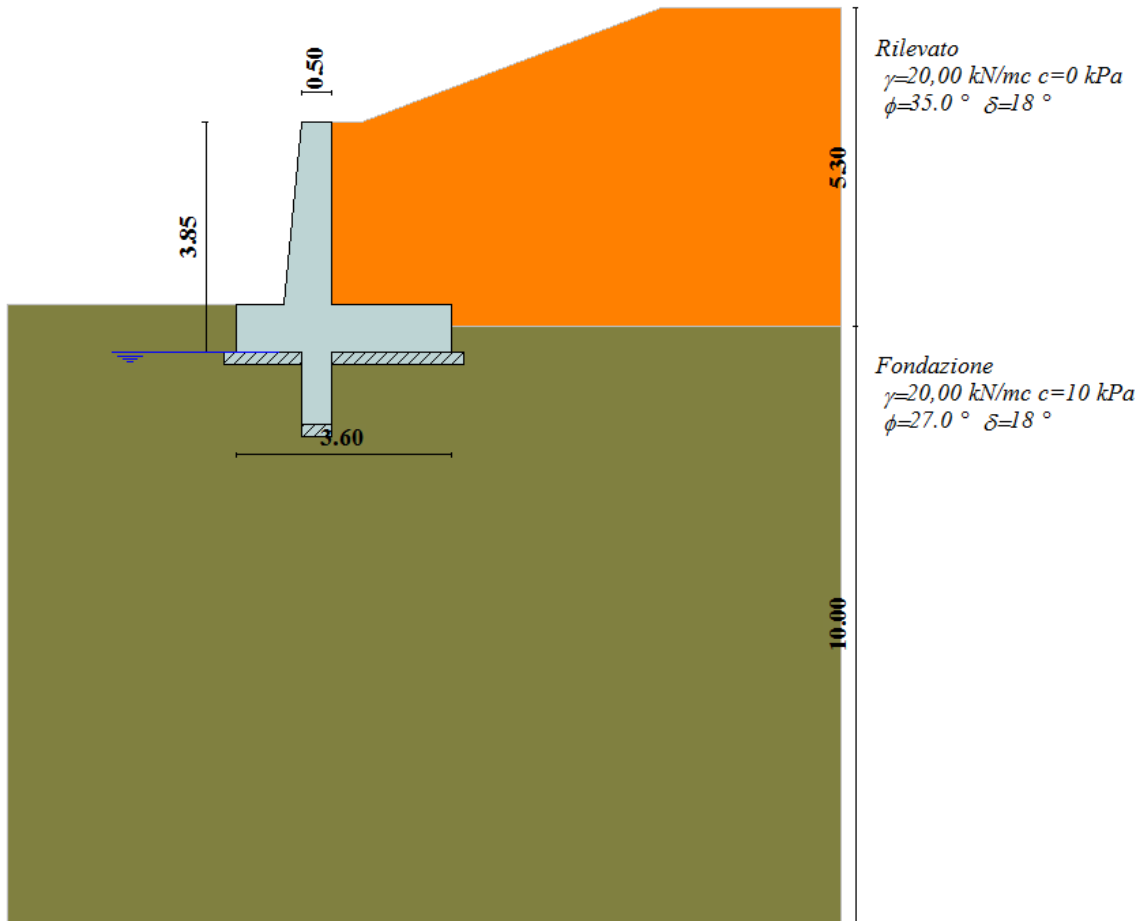
$N_{Ed,Max} = 2183$ kN; $N_{Ed,Min} = -768$ kN.

In definitiva si è assunto $L_{pali} = 14.00$ m.

11.1 RISULTATI ANALISI E VERIFICHE MURI SOTTOSCARPA TIPO 1

11.1.1 Modello di calcolo

Di seguito si riporta la rappresentazione del modello di calcolo adottato.



Modello di calcolo muro su PALLI

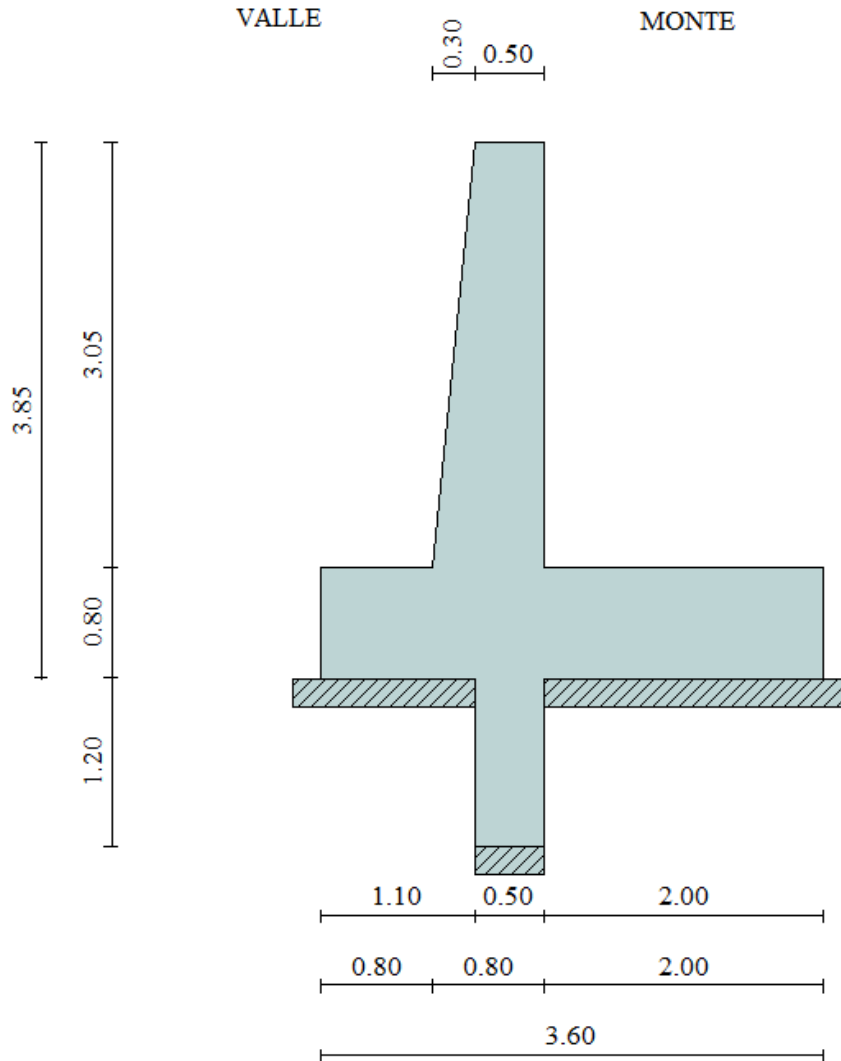
2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 50 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------



Geometria muro

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

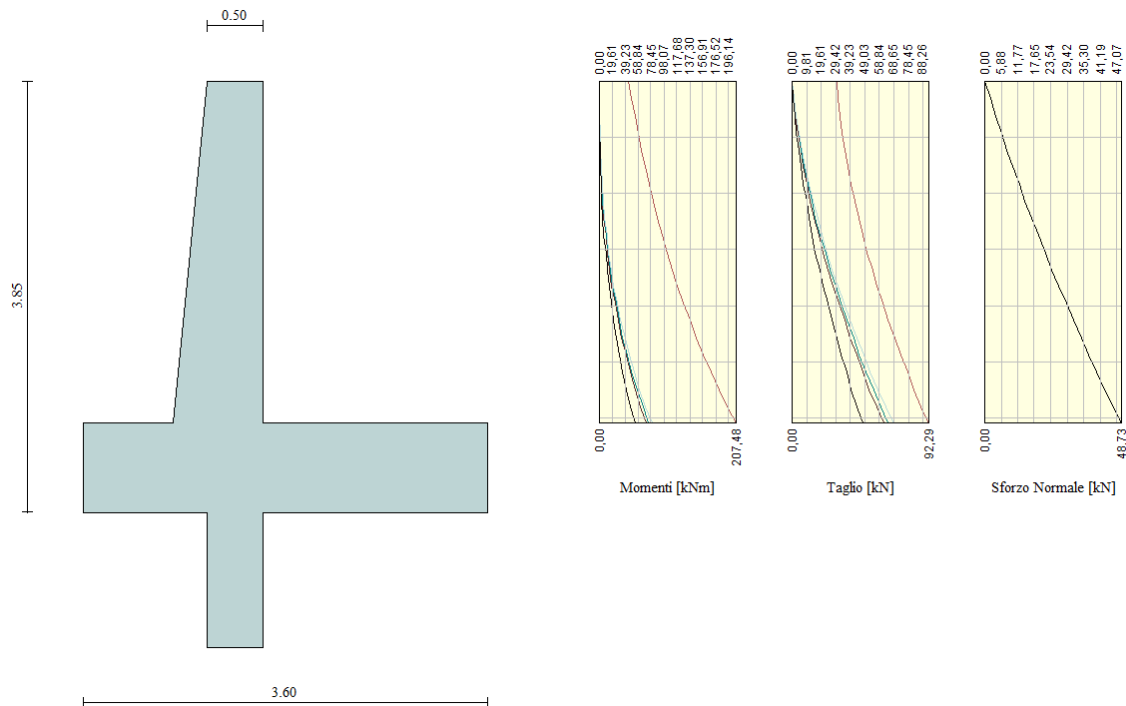
Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 51 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Comb.	Tipo comb.	Sisma	FS (ribalt)	FS (scorr)	FS (quilt)	FS (stab)	Spinta[kN]	Incr. sism.[kN]
1	A1-M1 - [1]	--	--	1,29	3,88	--	128,7059	0,0000
2	EQU - [1]	--	2,71	--	--	--	133,0897	0,0000
3	STAB - [1]	--	--	--	--	1,74	120,5694	0,0000
4	A1-M1 - [2]	--	--	1,24	3,76	--	134,2713	0,0000
5	EQU - [2]	--	2,63	--	--	--	146,2404	0,0000
6	STAB - [2]	--	--	--	--	1,62	131,8659	0,0000
7	A1-M1 - [3]	--	--	1,11	2,20	--	128,7059	0,0000
8	EQU - [3]	--	1,59	--	--	--	133,0897	0,0000
9	STAB - [3]	--	--	--	--	1,74	120,5694	0,0000
10	A1-M1 - [4]	SismaH + SismaV negativo	--	1,14	3,36	--	97,7947	19,9613
11	A1-M1 - [4]	SismaH + SismaV positivo	--	1,14	3,18	--	97,7947	28,8909
12	EQU - [4]	SismaH + SismaV negativo	2,21	--	--	--	120,5694	21,5676
13	EQU - [4]	SismaH + SismaV positivo	2,37	--	--	--	120,5694	32,4259
14	STAB - [4]	SismaH + SismaV positivo	--	--	--	1,45	120,5694	32,4259
15	STAB - [4]	SismaH + SismaV negativo	--	--	--	1,44	120,5694	21,5676
16	A1-M1 - [5]	SismaH + SismaV positivo	--	1,14	3,18	--	97,7947	28,8909
17	SLEQ - [1]	--	--	1,64	5,01	--	97,7947	0,0000
18	SLEF - [1]	--	--	1,60	4,94	--	100,2233	0,0000
19	SLER - [1]	--	--	1,58	4,90	--	101,3085	0,0000

Azioni risultanti sul muro



Involuppo sollecitazioni sul muro

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 52 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

11.1.2 Verifiche

Nella tabella seguente si riportano le armature di progetto previste per la sezione di calcolo in questione, come desumibili dagli elaborati grafici di armatura delle opere relative:

Elemento	Armatura a flessione		Elemento	Armatura a flessione	
	Lato monte	Lato valle		Lato inferiore	Lato superiore
PARAMENTO	1φ14/20	1φ12/20	FONDAZIONE	1φ14/20	1φ14/20

Ai fini delle verifiche si è fatto riferimento per la parte in elevazione (paramento e fondazione muro) ad un copriferro di calcolo (asse armature) pari a 4 cm, mentre per i pali si è assunto un copriferro di calcolo pari a 7 cm.

Verifiche strutturali per paramento e fondazione

Di seguito si riporta l'inviluppo delle sollecitazioni nel paramento e nella fondazione ed i risultati delle verifiche strutturali.

Inviluppo combinazioni SLU

Nr.	Y	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	45,0000	0,0000	30,0000
2	0,15	1,8978	1,8978	0,0839	49,6589	1,2202	31,2202
3	0,30	3,8523	3,8523	0,3505	54,5005	2,5877	32,5877
4	0,46	5,8635	5,8635	0,8215	59,5465	4,0982	34,0982
5	0,61	7,9315	7,9315	1,5180	64,8180	5,7507	35,7507
6	0,76	10,0561	10,0561	2,4647	70,3397	7,6139	37,6139
7	0,92	12,2375	12,2375	3,7052	76,1552	9,8317	39,8317
8	1,07	14,4757	14,4757	5,2914	82,3164	12,3465	42,3465
9	1,22	16,7705	16,7705	7,2594	88,8594	15,0590	45,0590
10	1,37	19,1221	19,1221	9,6377	95,8127	17,9603	47,9603
11	1,52	21,5304	21,5304	12,4546	103,2046	21,0504	51,0504
12	1,68	23,9954	23,9954	15,7385	111,0635	24,3292	54,3292
13	1,83	26,5171	26,5171	19,5178	119,4178	27,7965	57,7965
14	1,98	29,0956	29,0956	23,8208	128,2958	31,4525	61,4525
15	2,13	31,7308	31,7308	28,6757	137,7257	35,2970	65,2970
16	2,29	34,4227	34,4227	34,1109	147,7359	39,3301	69,3301
17	2,44	37,1713	37,1713	40,1548	158,3548	43,5517	73,5517
18	2,59	39,9767	39,9767	46,8356	169,6106	47,9618	77,9618
19	2,75	42,8387	42,8387	54,1816	181,5316	52,5605	82,5605
20	2,90	45,7575	45,7575	62,2213	194,1463	57,3476	87,3476
21	3,05	48,7331	48,7331	70,9816	207,4816	62,2932	92,2932

Inviluppo combinazioni SLE

Nr.	Y	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,15	1,8978	1,8978	0,0629	0,0629	0,9386	0,9386
3	0,30	3,8523	3,8523	0,2629	0,2629	1,9905	1,9905
4	0,46	5,8635	5,8635	0,6166	0,6166	3,1525	3,1525
5	0,61	7,9315	7,9315	1,1403	1,1403	4,4236	4,4236
6	0,76	10,0561	10,0561	1,8527	1,8527	5,8568	5,8568
7	0,92	12,2375	12,2375	2,7872	2,7872	7,5629	7,5629
8	1,07	14,4757	14,4757	3,9839	3,9839	9,4973	9,4973
9	1,22	16,7705	16,7705	5,4702	5,4702	11,5838	11,5838
10	1,37	19,1221	19,1221	7,2680	7,2680	13,8156	13,8156
11	1,52	21,5304	21,5304	9,3990	9,3990	16,1926	16,1926
12	1,68	23,9954	23,9954	11,8850	11,8850	18,7147	18,7147

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 53 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

13	1,83	26,5171	26,5171	14,7476	14,7476	21,3819	21,3819
14	1,98	29,0956	29,0956	18,0086	18,0086	24,1942	24,1942
15	2,13	31,7308	31,7308	21,6895	21,6895	27,1515	27,1515
16	2,29	34,4227	34,4227	25,8122	25,8122	30,2539	30,2539
17	2,44	37,1713	37,1713	30,3982	30,3982	33,5013	33,5013
18	2,59	39,9767	39,9767	35,4692	35,4692	36,8937	36,8937
19	2,75	42,8387	42,8387	41,0471	41,0471	40,4311	40,4311
20	2,90	45,7575	45,7575	47,1533	47,1533	44,1136	44,1136
21	3,05	48,7331	48,7331	53,8087	53,8087	47,9178	47,9178

Inviluppo armature e tensioni nei materiali del muro

L'ordinata Y (espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

B	base della sezione espressa in [m]
H	altezza della sezione espressa in [m]
A _{fs}	area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [mq]
A _{fi}	area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [mq]
σ _c	tensione nel calcestruzzo espressa in [kPa]
τ _c	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [kPa]
σ _{fs}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di monte in [kPa]
σ _{fi}	tensione nell'armatura disposta sul lembo di valle in [kPa]
N _u	sforzo normale ultimo espresso in [kN]
M _u	momento ultimo espresso in [kNm]
CS	coefficiente sicurezza sezione
VRd	Resistenza al taglio, espresso in [kN]

Inviluppo SLU

Inviluppo SLU

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	N _u	M _u	CS	V _{Rd}	V _{Rcd}	V _{Rsd}
1	0,00	1,00, 0,50	0,000770	0,000565	0,00	0,00	2,96	173,53	--	--
2	0,15	1,00, 0,52	0,000770	0,000565	5,31	-139,00	2,80	177,82	--	--
3	0,30	1,00, 0,53	0,000770	0,000565	10,22	-144,62	2,65	182,09	--	--
4	0,46	1,00, 0,55	0,000770	0,000565	14,79	-150,23	2,52	186,34	--	--
5	0,61	1,00, 0,56	0,000770	0,000565	19,07	-155,84	2,40	190,59	--	--
6	0,76	1,00, 0,58	0,000770	0,000565	23,08	-161,46	2,30	194,83	--	--
7	0,92	1,00, 0,59	0,000770	0,000565	26,85	-167,06	2,19	199,06	--	--
8	1,07	1,00, 0,61	0,000770	0,000565	30,36	-172,65	2,10	203,28	--	--
9	1,22	1,00, 0,62	0,000770	0,000565	33,64	-178,24	2,01	207,49	--	--
10	1,37	1,00, 0,64	0,000770	0,000565	36,68	-183,80	1,92	211,70	--	--
11	1,52	1,00, 0,65	0,000770	0,000565	39,50	-189,35	1,83	215,90	--	--
12	1,68	1,00, 0,67	0,000770	0,000565	42,10	-194,88	1,75	220,09	--	--
13	1,83	1,00, 0,68	0,000770	0,000565	44,50	-200,38	1,68	224,28	--	--
14	1,98	1,00, 0,70	0,000770	0,000565	46,68	-205,86	1,60	228,46	--	--
15	2,13	1,00, 0,71	0,000770	0,000565	48,68	-211,30	1,53	232,64	--	--
16	2,29	1,00, 0,73	0,001539	0,001131	99,62	-427,57	2,89	236,82	--	--
17	2,44	1,00, 0,74	0,001539	0,001131	102,89	-438,32	2,77	240,99	--	--
18	2,59	1,00, 0,76	0,000770	0,001131	53,63	-227,55	1,34	245,16	--	--
19	2,75	1,00, 0,77	0,000770	0,000565	54,94	-232,81	1,28	249,32	--	--
20	2,90	1,00, 0,79	0,000770	0,000565	56,12	-238,11	1,23	253,49	--	--
21	3,05	1,00, 0,80	0,000770	0,000565	57,16	-243,37	1,17	257,65	--	--

Inviluppo SLE

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fs}	σ _{fi}
1	0,00	1,00, 0,50	0,000770	0,000565	0	0	0	0
2	0,15	1,00, 0,52	0,000770	0,000565	5	2	-36	-71
3	0,30	1,00, 0,53	0,000770	0,000565	12	5	-38	-173
4	0,46	1,00, 0,55	0,000770	0,000565	22	7	-5	-306
5	0,61	1,00, 0,56	0,000770	0,000565	36	10	109	-487

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 54 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

6	0,76	1,00, 0,58	0,000770	0,000565	55	13	405	-737
7	0,92	1,00, 0,59	0,000770	0,000565	83	16	1034	-1075
8	1,07	1,00, 0,61	0,000770	0,000565	119	20	2148	-1506
9	1,22	1,00, 0,62	0,000770	0,000565	163	23	3818	-2019
10	1,37	1,00, 0,64	0,000770	0,000565	215	27	6050	-2603
11	1,52	1,00, 0,65	0,000770	0,000565	273	31	8837	-3253
12	1,68	1,00, 0,67	0,000770	0,000565	338	35	12175	-3966
13	1,83	1,00, 0,68	0,000770	0,000565	408	39	16060	-4742
14	1,98	1,00, 0,70	0,000770	0,000565	484	43	20493	-5579
15	2,13	1,00, 0,71	0,000770	0,000565	566	47	25474	-6477
16	2,29	1,00, 0,73	0,001539	0,001131	493	52	16345	-6010
17	2,44	1,00, 0,74	0,001539	0,001131	560	56	19473	-6821
18	2,59	1,00, 0,76	0,000770	0,001131	807	60	43401	-9010
19	2,75	1,00, 0,77	0,000770	0,000565	948	65	50926	-10675
20	2,90	1,00, 0,79	0,000770	0,000565	1057	69	58681	-11874
21	3,05	1,00, 0,80	0,000770	0,000565	1170	74	66995	-13130

Inviluppo armature e tensioni nei materiali della fondazione

Fondazione di valle

(L'ascissa X, espressa in [m], è positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle)

Inviluppo SLU

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	N _u	M _u	CS	V _{Rd}	V _{Rcd}	V _{Rsd}
1	0,00	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0,00	0,00	1000,00	249,62	--	--
2	0,08	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0,00	222,38	405,19	249,62	--	--
3	0,16	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0,00	222,38	102,27	249,62	--	--
4	0,24	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0,00	222,38	45,89	249,62	--	--
5	0,32	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0,00	222,38	26,07	249,62	--	--
6	0,40	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0,00	222,38	16,85	249,62	--	--
7	0,48	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0,00	222,38	11,82	249,62	--	--
8	0,56	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0,00	222,38	8,77	249,62	--	--
9	0,64	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0,00	222,38	6,78	249,62	--	--
10	0,72	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0,00	222,38	5,41	249,62	--	--
11	0,80	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0,00	222,38	4,43	249,62	--	--

Inviluppo SLE

Nr.	X	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
12	0,00	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0	0	0	0
13	0,08	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	5	10	450	-52
14	0,16	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	21	19	1793	-208
15	0,24	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	48	29	4022	-466
16	0,32	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	85	38	7128	-826
17	0,40	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	132	47	11103	-1287
18	0,48	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	189	57	15940	-1847
19	0,56	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	256	66	21629	-2506
20	0,64	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	334	75	28163	-3264
21	0,72	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	421	84	35534	-4118
22	0,80	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	519	93	43734	-5068

Fondazione di monte

(L'ascissa X, espressa in [m], è positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte)

Inviluppo SLU

Nr.	Y	B, H	A _{fs}	A _{fi}	N _u	M _u	CS	V _{Rd}	V _{Rcd}	V _{Rsd}
1	0,00	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0,00	0,00	1000,00	249,62	--	--
2	0,20	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0,00	-222,38	98,33	249,62	--	--

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 55 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

3	0,40	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0,00	-222,38	24,73	249,62	--	--
4	0,60	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0,00	-222,38	11,07	249,62	--	--
5	0,80	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0,00	-222,38	6,33	249,62	--	--
6	1,00	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0,00	-222,38	4,15	249,62	--	--
7	1,20	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0,00	-222,38	2,97	249,62	--	--
8	1,40	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0,00	-222,38	2,26	249,62	--	--
9	1,60	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0,00	-222,38	1,80	249,62	--	--
10	1,80	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0,00	-222,38	1,48	249,62	--	--
11	2,00	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0,00	-222,38	1,26	249,62	--	--

Inviluppo SLE

Nr.	X	B, H	A _{fs}	A _{fi}	σ _c	τ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
12	0,00	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	0	0	0	0
13	0,20	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	11	-8	-106	915
14	0,40	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	42	-14	-406	3501
15	0,60	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	89	-20	-871	7520
16	0,80	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	151	-25	-1476	12733
17	1,00	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	224	-28	-2190	18903
18	1,20	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	306	-31	-2989	25789
19	1,40	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	393	-32	-3842	33155
20	1,60	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	483	-33	-4724	40764
21	1,80	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	574	-33	-5612	48432
22	2,00	1,00, 0,80	0,000770	0,000770	664	-32	-6493	56028

VERIFICHE A TAGLIO

I risultati ottenuti dalle verifiche delle sezioni maggiormente sollecitate per la struttura in esame sono ripilogati nella seguente tabella.

Verifica a taglio (per metro lineare di sviluppo longitudinale)						
Sezione	V _{Ed}	b	h	V _{Rd}	ESITO	Armatura a taglio
[-]	[kN]	[cm]	[cm]	[kN]	[-]	[-]
Paramento	92	100	80	245	verificato	Spilli Φ10/40x40
Fondazione	135	100	100	320	verificato	Elemento non armato a taglio

VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE

L'analisi di stabilità globale condotta secondo il metodo di Bishop semplificato a portato alla seguente superficie di scorrimento critica:

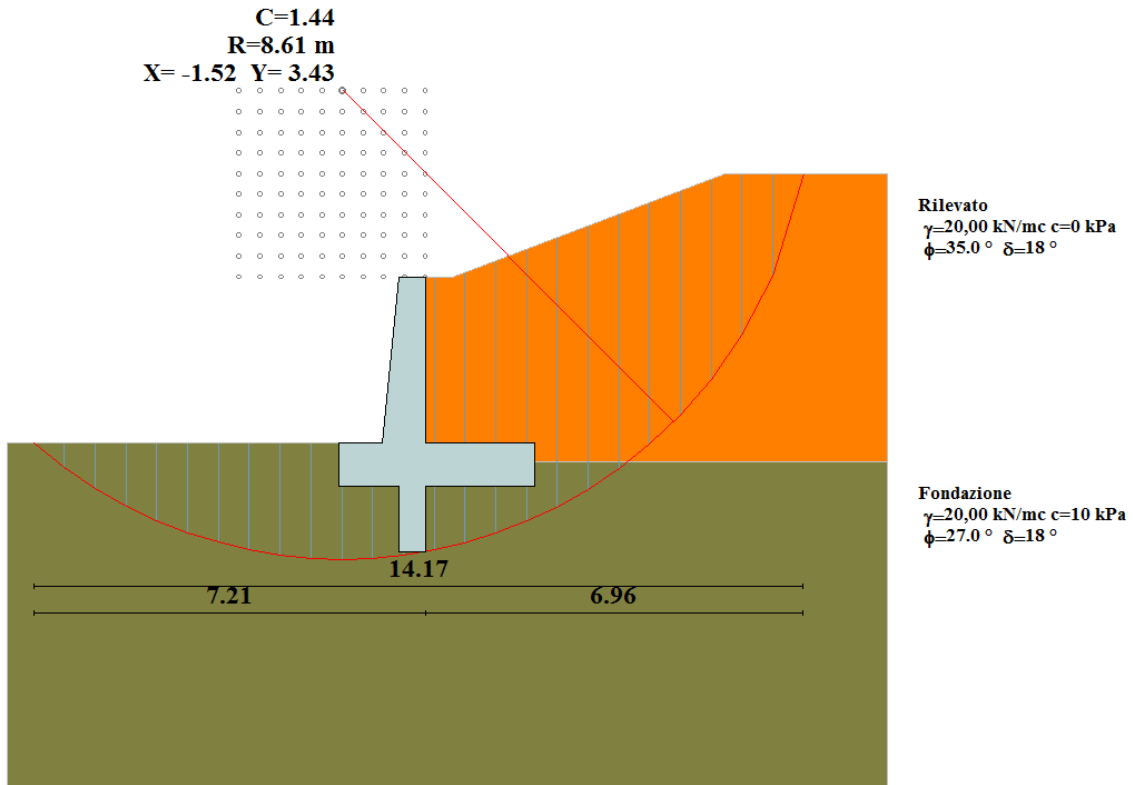
2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 56 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------



Verifica di stabilità globale

VERIFICHE STRUTTURALI DEL DENTE DI FONDAZIONE

La verifica del dente di fondazione è condotta considerando agente a valle del dente la spinta passiva secondo una distribuzione triangolare di pendenza " γK_p ", dove il coefficiente di spinta passiva è stato valutato secondo la formulazione di Rankine:

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

In tal modo si sono ottenute le seguenti sollecitazioni per metro di lunghezza:

$$V_{sd} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot K_p \cdot h_d^2 = 35,95 \text{ kN/m}$$

$$M_{sd} = \frac{1}{6} \cdot \gamma \cdot K_p \cdot h_d^3 = 14,4 \text{ kNm/m}$$

dove h_d è l'altezza del dente di fondazione pari a 120 cm.

Con queste sollecitazioni si sono effettuate le verifiche allo SLU e allo SLE ottenendo i seguenti risultati:

Geometrie				
b (cm)	H (cm)	c (cm)	d (cm)	Ac (mm ²)
50	100	5	115,0	500000

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 57 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Armature							
Armature taglio					Armature longitudinali .		
nb	∅	p(cm)	Asw(mm2)	a°	n	∅	mm2
2,5	10,0	40	196,35	90	5	14	769,7

Verifiche allo SLU

Mx (daN*cm/cm)	My (daN*cm/cm)	N (daN/cm)	CS,Ncost
144000	0	0	18.83 > 1

Vsd (KN)	VRcd (KN)	VRsd (KN)	Vrd (KN)	C (Vrd/Vsd)	Esito
35.95	1159,25	194,48	194,48	5,40	Soddisfatta

Verifiche a fessurazione

Unità di misura daN, cm

Sollecitazioni riferite al baricentro

Me	Ne	Es/Ec	Wk(mm)	Srm(mm)	fctd
135000	0	15	0	0	14.1

VERIFICHE GETECNICHE

Si riportano di seguito i coefficienti di sicurezza per la valutazione della capacità portante nonché i coefficienti di sicurezzi minimi provenienti dalla analisi.

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante

$N_c = 23.94$

$N_q = 13.20$

$N_\gamma = 9.46$

Fattori forma

$s_c = 1,00$

$s_q = 1,00$

$s_\gamma = 1,00$

Fattori inclinazione

$i_c = 0,76$

$i_q = 0,76$

$i_\gamma = 0,32$

Fattori profondità

$d_c = 1,10$

$d_q = 1,05$

$d_\gamma = 1,05$

I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.

$N'_c = 19.95$

$N'_q = 10.50$

$N'_\gamma = 3.22$

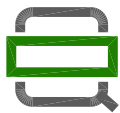
COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento

2.22

Coefficiente di sicurezza a carico ultimo

6.32



QUADRILATERO
Merche Umbria S.p.A.

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 58 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

ALLEGATO

TABULATI DI CALCOLO MURO SOTTOSCARPA TIPO 2

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 59 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.
Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Legge nr. 64 del 02/02/1974.
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.
Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 9 Gennaio 1996
Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996
- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
- Circolare C.S.L.P. 02/02/2009 n.617 - Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008

Il calcolo dei muri di sostegno viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della spinta del terreno
 - Verifica a ribaltamento
 - Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa
 - Verifica della stabilità complesso fondazione terreno (carico limite)
 - Verifica della stabilità globale
- Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione, progetto delle armature e relative verifiche dei materiali

Calcolo della spinta sul muro

Valori caratteristici e valori di calcolo

Effettuando il calcolo tramite gli Eurocodici è necessario fare la distinzione fra i parametri caratteristici ed i valori di calcolo (o di progetto) sia delle azioni che delle resistenze.

I valori di calcolo si ottengono dai valori caratteristici mediante l'applicazione di opportuni coefficienti di sicurezza parziali γ . In particolare si distinguono combinazioni di carico di tipo **A1-M1** nelle quali vengono incrementati i carichi e lasciati inalterati i parametri di resistenza del terreno e combinazioni di carico di tipo **A2-M2** nelle quali vengono ridotti i parametri di resistenza del terreno e incrementati i soli carichi variabili.

Metodo di Culmann

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb. La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il coefficiente di spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo). Come il metodo di Coulomb anche questo metodo considera una superficie di rottura rettilinea.

I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione ρ rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio (W), carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura (R e C) e resistenza per coesione lungo la parete (A);
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta S sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima.

La convergenza non si raggiunge se il terrapieno risulta inclinato di un angolo maggiore dell'angolo d'attrito del terreno.

Nei casi in cui è applicabile il metodo di Coulomb (profilo a monte rettilineo e carico uniformemente distribuito) i risultati ottenuti col metodo di Culmann coincidono con quelli del metodo di Coulomb.

Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordinata z . Noto il diagramma delle pressioni è possibile ricavare il punto di applicazione della spinta.

Spinta in presenza di sisma

Per tener conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana).

La Normativa Italiana suggerisce di tener conto di un incremento di spinta dovuto al sisma nel modo seguente.

Detta ε l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e β l'inclinazione della parete rispetto alla verticale, si calcola la spinta S' considerando un'inclinazione del terrapieno e della parte pari a

$$\varepsilon' = \varepsilon + \theta$$

$$\beta' = \beta + \theta$$

dove $\theta = \arctg(k_h/(1 \pm k_v))$ essendo k_h il coefficiente sismico orizzontale e k_v il coefficiente sismico verticale, definito in funzione di k_h .

In presenza di falda a monte, θ assume le seguenti espressioni:

Terreno a bassa permeabilità

$$\theta = \arctg\left[\frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - \gamma_w} * (k_h / (1 \pm k_v))\right]$$

Terreno a permeabilità elevata

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 61 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

$$\theta = \arctg[(\gamma/(\gamma_{sat}-\gamma_w)) * (k_h/(1 \pm k_v))]$$

Detta S la spinta calcolata in condizioni statiche l'incremento di spinta da applicare è espresso da

$$\Delta S = AS' - S$$

dove il coefficiente A vale

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta)}{\cos^2\beta \cos\theta}$$

In presenza di falda a monte, nel coefficiente A si tiene conto dell'influenza dei pesi di volume nel calcolo di θ .

Adottando il metodo di Mononobe-Okabe per il calcolo della spinta, il coefficiente A viene posto pari a 1.

Tale incremento di spinta è applicato a metà altezza della parete di spinta nel caso di forma rettangolare del diagramma di incremento sismico, allo stesso punto di applicazione della spinta statica nel caso in cui la forma del diagramma di incremento sismico è uguale a quella del diagramma statico.

Oltre a questo incremento bisogna tener conto delle forze d'inerzia orizzontali e verticali che si destano per effetto del sisma. Tali forze vengono valutate come

$$F_{IH} = k_h W \quad F_{IV} = \pm k_v W$$

dove W è il peso del muro, del terreno soprastante la mensola di monte ed i relativi sovraccarichi e va applicata nel baricentro dei pesi.

Il metodo di Culmann tiene conto automaticamente dell'incremento di spinta. Basta inserire nell'equazione risolutiva la forza d'inerzia del cuneo di spinta. La superficie di rottura nel caso di sisma risulta meno inclinata della corrispondente superficie in assenza di sisma.

Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso muro+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a η_g

Eseguito il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_g \geq 1.0$

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento viene supposta circolare e determinata in modo tale da non avere intersezione con il profilo del muro o con i pali di fondazione. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 10x10 posta in prossimità della sommità del muro. Il numero di strisce è pari a 50.

Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop.

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di Bishop si esprime secondo la seguente formula:

$$\eta = \frac{\sum_i \left(\frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) \operatorname{tg} \phi_i}{m} \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove il termine m è espresso da

$$m = \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \phi_i \operatorname{tg} \alpha_i}{\eta} \right) \cos \alpha_i$$

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 62 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

In questa espressione n è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i -esima rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i -esima, c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed u_i è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine m che è funzione di η . Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per η da inserire nell'espressione di m ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

Analisi dei pali

Per l'analisi della capacità portante dei pali occorre determinare alcune caratteristiche del terreno in cui si va ad operare. In particolare bisogna conoscere l'angolo d'attrito ϕ e la coesione c . Per pali soggetti a carichi trasversali è necessario conoscere il modulo di reazione laterale o il modulo elastico laterale.

La capacità portante di un palo solitamente viene valutata come somma di due contributi: portata di base (o di punta) e portata per attrito laterale lungo il fusto. Cioè si assume valida l'espressione:

$$Q_T = Q_P + Q_L - W_P$$

dove:

- Q_T portanza totale del palo
- Q_P portanza di base del palo
- Q_L portanza per attrito laterale del palo
- W_P peso proprio del palo

e le due componenti Q_P e Q_L sono calcolate in modo indipendente fra loro.

Dalla capacità portante del palo si ricava il carico ammissibile del palo Q_A applicando il coefficiente di sicurezza della portanza alla punta η_p ed il coefficiente di sicurezza della portanza per attrito laterale η_l .

Palo compresso:

$$Q_A = Q_P / \eta_p + Q_L / \eta_l - W_P$$

Palo teso:

$$Q_A = Q_L / \eta_l + W_P$$

Capacità portante di punta

In generale la capacità portante di punta viene calcolata tramite l'espressione:

$$Q_P = A_p (cN'_c + qN'_q + 1/2B\gamma N'_\gamma)$$

dove A_p è l'area portante efficace della punta del palo, c è la coesione, q è la pressione geostatica alla quota della punta del palo, γ è il peso specifico del terreno, D è il diametro del palo ed i coefficienti N'_c , N'_q , N'_γ sono i coefficienti delle formule della capacità portante corretti per tener conto degli effetti di forma e di profondità. Possono essere utilizzati sia i coefficienti di Hansen che quelli di Vesic con i corrispondenti fattori correttivi per la profondità e la forma.

Il parametro η che compare nell'espressione assume il valore:

$$\eta = \frac{1 + 2K_0}{3}$$

quando si usa la formula di Vesic e viene posto uguale ad 1 per le altre formule.

K_0 rappresenta il coefficiente di spinta a riposo che può essere espresso come: $K_0 = 1 - \sin\phi$.

Capacità portante per resistenza laterale

La resistenza laterale è data dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali palo-terreno in condizioni limite:

$$Q_L = \int \tau_a dS$$

dove τ_a è dato dalla nota relazione di Coulomb

$$\tau_a = c_a + \sigma_n \tan \delta$$

dove c_a è l'adesione palo-terreno, δ è l'angolo di attrito palo-terreno, γ è il peso specifico del terreno, z è la generica quota a partire dalla testa del palo, L e P sono rispettivamente la lunghezza ed il perimetro del palo, K_s è il coefficiente di spinta che dipende dalle caratteristiche meccaniche e fisiche del terreno dal suo stato di addensamento e dalle modalità di realizzazione del palo.

Portanza trasversale dei pali - Analisi ad elementi finiti

Nel modello di terreno alla Winkler il terreno viene schematizzato come una serie di molle elastiche indipendenti fra di loro. Le molle che schematizzano il terreno vengono caratterizzate tramite una costante elastica K espressa in $\text{Kg/cm}^2/\text{cm}$ che rappresenta la pressione (in Kg/cm^2) che bisogna applicare per ottenere l'abbassamento di 1 cm.

Nel metodo degli elementi finiti occorre discretizzare il particolare problema. Nel caso specifico il palo viene suddiviso in un certo numero di elementi di eguale lunghezza. Ogni elemento è caratterizzato da una sezione avente area ed inerzia coincidente con quella del palo.

Il terreno viene schematizzato come una serie di molle orizzontali che reagiscono agli spostamenti nei due versi. La rigidità assiale della singola molla è proporzionale alla costante di Winkler orizzontale del terreno, al diametro del palo ed alla lunghezza dell'elemento. La molla, però, non viene vista come un elemento infinitamente elastico ma come un elemento con comportamento del tipo elastoplastico perfetto (diagramma sforzi-deformazioni di tipo bilatero). Essa presenta una resistenza crescente al crescere degli spostamenti fino a che l'entità degli spostamenti si mantiene al di sotto di un certo spostamento limite, X_{\max} oppure fino a quando non si raggiunge il valore della pressione limite. Superato tale limite non si ha un incremento di resistenza. E' evidente che assumendo un comportamento di questo tipo ci si addentra in un tipico problema non lineare che può essere risolto solo mediante una analisi al passo.

Questa modellazione presenta il notevole vantaggio di poter schematizzare tutti quei comportamenti individuati da Broms e che sarebbe impossibile trattare in un modello numerico. In particolare risulta automatico analizzare casi in cui si ha insufficiente portanza non per rottura del palo ma per rottura del terreno (vedi il caso di un palo molto rigido in un terreno molle).

Determinazione degli scarichi sul palo.

Gli scarichi sui pali vengono determinati mediante il metodo delle rigidità.

La piastra di fondazione viene considerata infinitamente rigida (3 gradi di libertà) ed i pali vengono considerati incastrati o incernierati (la scelta del vincolo viene fatta dall'Utente nella tabella CARATTERISTICHE del sottomenu PALI) a tale piastra.

Viene effettuata una prima analisi di ogni palo di ciascuna fila (i pali di ogni fila hanno le stesse caratteristiche) per costruire una curva carichi-spostamenti del palo. Questa curva viene costruita considerando il palo elastico. Si tratta, in definitiva, della matrice di rigidità del palo K_e , costruita imponendo traslazioni e rotazioni unitarie per determinare le corrispondenti sollecitazioni in testa al palo.

Nota la matrice di rigidità di ogni palo si assembla la matrice globale (di dimensioni 3×3) della palificata, K .

A questo punto, note le forze agenti in fondazione (N , T , M) si possono ricavare gli spostamenti della piastra (abbassamento, traslazione e rotazione) e le forze che si scaricano su ciascun palo. Infatti indicando con p il vettore dei carichi e con u il vettore degli spostamenti della piastra abbiamo:

$$u = K^{-1}p$$

Noti gli spostamenti della piastra, e quindi della testa dei pali, abbiamo gli scarichi su ciascun palo. Allora per ciascun palo viene effettuata un'analisi elastoplastica incrementale (tramite il metodo degli elementi finiti) che, tenendo conto della plasticizzazione del terreno, calcola le sollecitazioni in tutte le sezioni del palo., le caratteristiche del terreno (rappresentate da K_h) sono tali che se non è possibile raggiungere l'equilibrio si ha collasso per rottura del terreno.

Normativa

N.T.C. 2008 - Approccio 2

Simbologia adottata

γ_{Gsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
γ_{Gfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
γ_{Qsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
γ_{Qfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{tan\phi'}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
γ_c	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
γ_{cu}	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
γ_{qu}	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
γ_γ	Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniaxiale delle rocce

Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto		A1	A2	EQU	HYD
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00	0,90	0,90
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00	1,10	1,30
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,30	1,50	1,50

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri			M1	M2	M2	M1
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$		1,00	1,25	1,25	1,00
Coesione efficace	γ_c		1,00	1,25	1,25	1,00
Resistenza non drenata	γ_{cu}		1,00	1,40	1,40	1,00
Resistenza a compressione uniaxiale	γ_{qu}		1,00	1,60	1,60	1,00
Peso dell'unità di volume	γ_γ		1,00	1,00	1,00	1,00

Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto		A1	A2	EQU	HYD
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00	1,00	0,90
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00	1,00	1,30
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,00	1,00	1,00	1,50

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri			M1	M2	M2	M1
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$		1,00	1,25	1,25	1,00
Coesione efficace	γ_c		1,00	1,25	1,25	1,00
Resistenza non drenata	γ_{cu}		1,00	1,40	1,40	1,00
Resistenza a compressione uniaxiale	γ_{qu}		1,00	1,60	1,60	1,00
Peso dell'unità di volume	γ_γ		1,00	1,00	1,00	1,00

FONDAZIONE SUPERFICIALE

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO

Verifica

	Coefficienti parziali		
	R1	R2	R3
Capacità portante della fondazione	1,00	1,00	1,40
Scorrimento	1,00	1,00	1,10
Resistenza del terreno a valle	1,00	1,00	1,40
Stabilità globale		1,10	

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 65 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

PALI DI FONDAZIONE

CARICHI VERTICALI. Coefficienti parziali γ_R per le verifiche dei pali

Pali trivellati

		R1	R2	R3
Punta	γ_b	1,00	1,70	1,35
Laterale compressione	γ_s	1,00	1,45	1,15
Totale compressione	γ_t	1,00	1,60	1,30
Laterale trazione	γ_{st}	1,00	1,60	1,25

CARICHI TRASVERSALI. Coefficienti parziali γ_T per le verifiche dei pali.

		R1	R2	R3
	γ_T	1,00	1,60	1,30

Coefficienti di riduzione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica dei pali

Numero di verticali indagate	3	$\xi_3=1,60$	$\xi_4=1,48$
------------------------------	---	--------------	--------------

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 66 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Geometria muro e fondazione

Descrizione

	Muro a mensola in c.a.
Altezza del paramento	4,50 [m]
Spessore in sommità	0,50 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0,95 [m]
Inclinazione paramento esterno	5,70 [°]
Inclinazione paramento interno	0,00 [°]
Lunghezza del muro	7,20 [m]

Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	1,35 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	2,30 [m]
Lunghezza totale fondazione	4,60 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0,00 [°]
Spessore fondazione	1,00 [m]
Spessore magrone	0,20 [m]

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 67 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Descrizione pali di fondazione

Pali in c.a.	
Numero di file di pali	2
Vincolo pali/fondazione	Incastro
Tipo di portanza	Portanza di punta

Simbologia adottata

N	numero d'ordine della fila
X	ascissa della fila misurata dallo spigolo di monte della fondazione espressa in [m]
nr.	Numero di pali della fila
D	diametro dei pali della fila espresso in [m]
L	lunghezza dei pali della fila espressa in [m]
alfa	inclinazione dei pali della fila rispetto alla verticale espressa in [°]
ALL	allineamento dei pali della fila rispetto al baricentro della fondazione (CENTRATI o SFALSATI)

N	X	Nr.	D	L	alfa	ALL
1	0,90	3	0,8000	14,00	0,00	Centrati
2	3,70	3	0,8000	14,00	0,00	Centrati

Materiali utilizzati per la struttura

Calcestruzzo

Peso specifico	24,517 [kN/mc]
Classe di Resistenza	C25/30
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck}	30000 [kPa]
Modulo elastico E	31447048 [kPa]

Acciaio

Tipo	B450C
Tensione di snervamento σ_{fa}	449936 [kPa]

Calcestruzzo utilizzato per i pali

Classe di Resistenza	C32/40
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck}	40000 [kPa]
Modulo elastico E	33642648 [kPa]

Acciaio utilizzato per i pali

Tipo	B450C
Tensione ammissibile σ_{fa}	449936 [kPa]
Tensione di snervamento σ_{fa}	449936 [kPa]

Geometria profilo terreno a monte del muro

Simbologia adottata e sistema di riferimento

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto
 X ascissa del punto espressa in [m]
 Y ordinata del punto espressa in [m]
 A inclinazione del tratto espressa in [°]

N	X	Y	A
1	9,62	3,30	18,93
2	20,00	3,30	0,00

Terreno a valle del muro

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale	0,00	[°]
Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento	0,50	[m]

Falda

Quota della falda a valle del muro rispetto al piano di posa della fondazione	-1,00	[m]
---	-------	-----

Descrizione terreni

Simbologia adottata

Nr.	Descrizione terreno	Indice del terreno
γ		Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
γ_s		Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
ϕ		Angolo d'attrito interno espresso in [°]
δ		Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 69 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

c Coesione espressa in [kPa]
 c_a Adesione terra-muro espressa in [kPa]

Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c	c _a
Rilevato	20,00	20,00	35.00	23.33	0,0	0,0
Ala	19,00	20,00	25.00	16.67	2,0	0,0
Salt	20,00	20,00	27.00	18.00	20,0	0,0
Ap/Pa	23,00	23,00	31.00	20.67	120,0	0,0

Parametri medi

Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c	c _a
Rilevato	20,00	20,00	35.00	23.33	0,0	0,0
Ala	19,00	20,00	25.00	16.67	2,0	0,0
Salt	20,00	20,00	27.00	18.00	20,0	0,0
Ap/Pa	23,00	23,00	31.00	20.67	120,0	0,0

Parametri minimi

Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c	c _a
Rilevato	20,00	20,00	30.00	20.00	0,0	0,0
Ala	19,00	20,00	25.00	16.67	2,0	0,0
Salt	20,00	20,00	27.00	18.00	20,0	0,0
Ap/Pa	23,00	23,00	31.00	20.67	120,0	0,0

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

X	Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m]
F _x	Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kN]
F _y	Componente verticale del carico concentrato espressa in [kN]
M	Momento espresso in [kNm]
X _i	Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m]
X _f	Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m]
Q _i	Intensità del carico per x=X _i espressa in [kN/m]
Q _f	Intensità del carico per x=X _f espressa in [kN/m]
D/C	Tipo carico : D=distribuito C=concentrato

Condizione n° 1 (SOVRACCARICO STRADALE)

D	Profilo	X _i =9,65	X _f =17,45	Q _i =60,0000	Q _f =20,0000
---	---------	----------------------	-----------------------	-------------------------	-------------------------

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

F/S	Effetto dell'azione (FAV: Favorevole, SFAV: Sfavorevole)
γ	Coefficiente di partecipazione della condizione
Ψ	Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,30	1.00	1,30

Combinazione n° 2 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,30	1.00	1,30
SOVRACCARICO STRADALE	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 3 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 4 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 5 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 6 - Quasi Permanente (SLE)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 7 - Frequente (SLE)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1.00	1,00
SOVRACCARICO STRADALE	SFAV	1.00	0.75	0.75

Combinazione n° 8 - Rara (SLE)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1.00	1,00
SOVRACCARICO STRADALE	SFAV	1.00	1.00	1.00

Impostazioni analisi pali

<u>Numero elementi palo</u>	40
<u>Tipo carico palo</u>	Distribuito
<u>Calcolo della portanza</u>	metodo di Vesic
<u>Costante di Winkler</u>	da Strato

Criterio di rottura del sistema terreno-palo

Spostamento limite pari a 0,0150 m

Pressione limite passiva con moltiplicatore pari a 1,00

Andamento pressione verticale

Geostatica

Impostazioni di analisi

Metodo verifica sezioni

Stato limite

Impostazioni verifiche SLU

Coefficienti parziali per resistenze di calcolo dei materiali

Coefficiente di sicurezza calcestruzzo a compressione	1.50
Coefficiente di sicurezza calcestruzzo a trazione	1.50
Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15
Fattore riduzione da resistenza cubica a cilindrica	0.83
Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo	0.85
Coefficiente di sicurezza per la sezione	1.00

Impostazioni verifiche SLE

Condizioni ambientali

Aggressive

Armatura ad aderenza migliorata

Verifica fessurazione

Sensibilità delle armature

Poco sensibile

Valori limite delle aperture delle fessure

$w_1 = 0.20$

$w_2 = 0.30$

$w_3 = 0.40$

Metodo di calcolo aperture delle fessure

Circ. Min. 252 (15/10/1996)

Verifica delle tensioni

Combinazione di carico

Rara $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$ - $\sigma_f < 0.80 f_{yk}$

Quasi permanente $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$

Impostazioni avanzate

Terreno a monte a elevata permeabilità

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 72 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

Simbologia adottata

<i>C</i>	Identificativo della combinazione
<i>Tipo</i>	Tipo combinazione
<i>Sisma</i>	Combinazione sismica
<i>CS_{SCO}</i>	Coeff. di sicurezza allo scorrimento
<i>CS_{RIB}</i>	Coeff. di sicurezza al ribaltamento
<i>CS_{QLIM}</i>	Coeff. di sicurezza a carico limite
<i>CS_{STAB}</i>	Coeff. di sicurezza a stabilità globale

C	Tipo	Sisma	CS_{SCO}	CS_{RIB}	CS_{QLIM}	CS_{STAB}
1	A1-M1 - [1]	--	--	--	--	--
2	A1-M1 - [2]	--	--	--	--	--
3	A1-M1 - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	--
4	A1-M1 - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	--
5	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	--
6	SLEQ - [1]	--	--	--	--	--
7	SLEF - [1]	--	--	--	--	--
8	SLER - [1]	--	--	--	--	--

Analisi della spinta e verifiche

Sistema di riferimento adottato per le coordinate :
 Origine in testa al muro (spigolo di monte)
 Ascisse X (espresse in [m]) positive verso monte
 Ordinate Y (espresse in [m]) positive verso l'alto
 Le forze orizzontali sono considerate positive se agenti da monte verso valle
 Le forze verticali sono considerate positive se agenti dall'alto verso il basso

Calcolo riferito ad 1 metro di muro

Tipo di analisi

Calcolo della spinta	metodo di Culmann
Calcolo della stabilità globale	metodo di Bishop
Calcolo della spinta in condizioni di	Spinta a riposo

Sisma

Combinazioni SLU

Accelerazione al suolo a_g	2.06 [m/s ²]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.19
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione (β_m)	0.31
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S) = 7.59$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 3.79$

Forma diagramma incremento sismico	Rettangolare
------------------------------------	--------------

Partecipazione spinta passiva (percento)	0,0
Lunghezza del muro	7,20 [m]

Peso muro	192,6981 [kN]
Baricentro del muro	X=-0,15 Y=-3,96

Superficie di spinta

Punto inferiore superficie di spinta	X = 2,30	Y = -5,50
Punto superiore superficie di spinta	X = 2,30	Y = 0,79
Altezza della superficie di spinta	6,29 [m]	
Inclinazione superficie di spinta(rispetto alla verticale)	0,00 [°]	

COMBINAZIONE n° 1

Peso muro favorevole e Peso terrapieno favorevole

Valore della spinta statica	255,5081	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	234,6117	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	101,2016	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2,30	[m]	Y = -3,02	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	23,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	54,19	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2,30	[m]	Y = -5,50	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	225,1466	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,18	[m]	Y = -2,05	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	234,6117	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	519,0462	[kN]

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	OS0300	REL	01	B	74 di 155

Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	519,0462	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	234,6117	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,22	[m]
Lunghezza fondazione reagente	4,60	[m]
Risultante in fondazione	569,6066	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	24,32	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	113,1162	[kNm]

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 75 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 1

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,23	2,8199	0,3414	3,2405
3	0,45	5,7633	1,4236	6,8727
4	0,68	8,8301	3,3325	10,8887
5	0,90	12,0205	6,1527	15,2866
6	1,13	15,3343	9,9688	20,0664
7	1,35	18,7716	14,8652	25,2281
8	1,57	22,3323	20,9265	30,7717
9	1,80	26,0166	28,2372	36,6971
10	2,02	29,8243	36,8818	43,0045
11	2,25	33,7555	46,9450	49,6937
12	2,48	37,8101	58,5112	56,7649
13	2,70	41,9883	71,6649	64,2179
14	2,93	46,2899	86,4907	72,0529
15	3,15	50,7150	103,0731	80,2697
16	3,38	55,2636	121,4966	88,8684
17	3,60	59,9356	141,8458	97,8490
18	3,83	64,7312	164,2052	107,2116
19	4,05	69,6502	188,6593	116,9560
20	4,28	74,6927	215,2927	127,0823
21	4,50	79,8586	244,1862	137,5293

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 76 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

Combinazione n° 1

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 4.60

Origine all'attacco con il muro all'estremità sinistra del muro

Ascissa X positiva verso destra

Ordinata Y positiva dall'attacco con il muro verso l'estremo libero

I momenti negativi tendono le fibre superiori

Sollecitazioni in direzione Y

Nr.	Y	M _{ymin}	M _{ymax}	T _{ymin}	T _{ymax}
1	0,00	-0,2063	0,2311	-4,9898	8,8450
2	0,17	-2,4889	3,8771	-40,5877	28,5527
3	0,33	-4,4736	8,2933	-95,0260	57,4275
4	0,50	-21,5309	17,7612	-123,3435	85,5328
5	0,63	-30,9424	28,6899	0,0000	119,8643
6	0,77	-20,4518	42,2942	0,0000	191,6835
7	0,90	0,0000	57,1261	0,0000	351,6258
8	1,03	0,0000	76,8635	0,0000	513,0102
9	1,17	0,0000	131,9058	0,0000	704,9084
10	1,30	0,0000	256,2767	-48,0632	984,0450
11	1,35	0,0000	318,3585	-48,9443	982,8268
12	2,30	-344,6657	0,0000	-315,4168	0,0000
13	2,44	-300,5225	0,0000	-295,2445	0,0000
14	2,58	-260,7866	0,0000	-266,2548	0,0000
15	2,73	-224,6552	0,0000	-241,6284	0,0000
16	2,87	-191,7838	0,0000	-220,5175	0,0000
17	3,01	-161,9176	0,0000	-201,7915	0,0000
18	3,16	-135,2046	0,0000	-183,6386	0,0000
19	3,30	-113,4231	0,0000	-165,8026	0,0000
20	3,43	-95,6548	0,0000	-149,8284	0,0000
21	3,57	-78,4819	0,0000	-133,9739	0,0000
22	3,70	-62,4066	0,0000	-120,8788	0,0000
23	3,83	-47,5656	0,0000	-113,6247	0,0000
24	3,97	-33,8716	0,0000	-106,7463	0,0000
25	4,10	-20,8920	0,0000	-101,3034	0,0000
26	4,27	-9,0903	0,0000	-66,0555	0,0000
27	4,43	-2,5344	0,0000	-32,6648	0,0000
28	4,60	0,0000	0,3856	-5,0061	0,0000

Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M _{xmin}	M _{xmax}	T _{xmin}	T _{xmax}
1	0,00	-0,8296	2,3100	-10,5373	159,6984
2	0,40	-2,0682	13,2613	-123,0306	247,7248
3	0,80	-27,4696	8,6132	-230,9075	246,9365
4	1,20	-51,6949	1,0789	-179,3556	175,2375
5	1,60	-23,4167	9,3543	-263,3437	252,5157
6	1,92	-2,1899	22,4145	-264,2229	158,1479
7	2,24	0,0000	30,4853	-98,0375	56,8624
8	2,56	0,0000	30,5293	-55,5724	95,0030
9	2,88	-2,1827	22,4051	-156,5941	260,8103
10	3,20	-23,1102	9,3262	-236,5458	259,9326
11	3,60	-50,2189	1,0758	-175,8887	175,8887
12	4,00	-23,1102	9,3262	-259,9326	236,5458
13	4,32	-2,1827	22,4051	-260,8103	156,5941
14	4,64	0,0000	30,5293	-95,0030	55,5724
15	4,96	0,0000	30,4853	-56,8624	98,0375
16	5,28	-2,1899	22,4145	-158,1479	264,2229

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	OS0300	REL	01	B	77 di 155

17	5,60	-23,4167	9,3543	-252,5157	263,3437
18	6,00	-51,6949	1,0789	-175,2375	179,3556
19	6,40	-27,4696	8,6132	-246,9365	230,9075
20	6,80	-2,0682	13,2613	-247,7248	123,0306
21	7,20	-0,8296	2,3100	-159,6984	10,5373

COMBINAZIONE n° 2

Peso muro favorevole e Peso terrapieno favorevole

Valore della spinta statica	255,5081	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	234,6117	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	101,2016	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2,30	[m]	Y = -3,02	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	23,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	54,19	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2,30	[m]	Y = -5,50	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	225,1466	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,18	[m]	Y = -2,05	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	234,6117	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	519,0462	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	519,0462	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	234,6117	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,22	[m]
Lunghezza fondazione reagente	4,60	[m]
Risultante in fondazione	569,6066	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	24,32	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	113,1162	[kNm]

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 78 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 2

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,23	2,8199	0,3414	3,2405
3	0,45	5,7633	1,4236	6,8727
4	0,68	8,8301	3,3325	10,8887
5	0,90	12,0205	6,1527	15,2866
6	1,13	15,3343	9,9688	20,0664
7	1,35	18,7716	14,8652	25,2281
8	1,57	22,3323	20,9265	30,7717
9	1,80	26,0166	28,2372	36,6971
10	2,02	29,8243	36,8818	43,0045
11	2,25	33,7555	46,9450	49,6937
12	2,48	37,8101	58,5112	56,7649
13	2,70	41,9883	71,6649	64,2179
14	2,93	46,2899	86,4907	72,0529
15	3,15	50,7150	103,0731	80,2697
16	3,38	55,2636	121,4966	88,8684
17	3,60	59,9356	141,8458	97,8490
18	3,83	64,7312	164,2052	107,2116
19	4,05	69,6502	188,6593	116,9560
20	4,28	74,6927	215,2927	127,0823
21	4,50	79,8586	244,1862	137,5293

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 79 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

Combinazione n° 2

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 4.60

Origine all'attacco con il muro all'estremità sinistra del muro

Ascissa X positiva verso destra

Ordinata Y positiva dall'attacco con il muro verso l'estremo libero

I momenti negativi tendono le fibre superiori

Sollecitazioni in direzione Y

Nr.	Y	M _{ymin}	M _{ymax}	T _{ymin}	T _{ymax}
1	0,00	-0,2063	0,2311	-4,9898	8,8450
2	0,17	-2,4889	3,8771	-40,5877	28,5527
3	0,33	-4,4736	8,2933	-95,0260	57,4275
4	0,50	-21,5309	17,7612	-123,3435	85,5328
5	0,63	-30,9424	28,6899	0,0000	119,8643
6	0,77	-20,4518	42,2942	0,0000	191,6835
7	0,90	0,0000	57,1261	0,0000	351,6258
8	1,03	0,0000	76,8635	0,0000	513,0102
9	1,17	0,0000	131,9058	0,0000	704,9084
10	1,30	0,0000	256,2767	-48,0632	984,0450
11	1,35	0,0000	318,3585	-48,9443	982,8268
12	2,30	-344,6657	0,0000	-315,4168	0,0000
13	2,44	-300,5225	0,0000	-295,2445	0,0000
14	2,58	-260,7866	0,0000	-266,2548	0,0000
15	2,73	-224,6552	0,0000	-241,6284	0,0000
16	2,87	-191,7838	0,0000	-220,5175	0,0000
17	3,01	-161,9176	0,0000	-201,7915	0,0000
18	3,16	-135,2046	0,0000	-183,6386	0,0000
19	3,30	-113,4231	0,0000	-165,8026	0,0000
20	3,43	-95,6548	0,0000	-149,8284	0,0000
21	3,57	-78,4819	0,0000	-133,9739	0,0000
22	3,70	-62,4066	0,0000	-120,8788	0,0000
23	3,83	-47,5656	0,0000	-113,6247	0,0000
24	3,97	-33,8716	0,0000	-106,7463	0,0000
25	4,10	-20,8920	0,0000	-101,3034	0,0000
26	4,27	-9,0903	0,0000	-66,0555	0,0000
27	4,43	-2,5344	0,0000	-32,6648	0,0000
28	4,60	0,0000	0,3856	-5,0061	0,0000

Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M _{xmin}	M _{xmax}	T _{xmin}	T _{xmax}
1	0,00	-0,8296	2,3100	-10,5373	159,6984
2	0,40	-2,0682	13,2613	-123,0306	247,7248
3	0,80	-27,4696	8,6132	-230,9075	246,9365
4	1,20	-51,6949	1,0789	-179,3556	175,2375
5	1,60	-23,4167	9,3543	-263,3437	252,5157
6	1,92	-2,1899	22,4145	-264,2229	158,1479
7	2,24	0,0000	30,4853	-98,0375	56,8624
8	2,56	0,0000	30,5293	-55,5724	95,0030
9	2,88	-2,1827	22,4051	-156,5941	260,8103
10	3,20	-23,1102	9,3262	-236,5458	259,9326
11	3,60	-50,2189	1,0758	-175,8887	175,8887
12	4,00	-23,1102	9,3262	-259,9326	236,5458
13	4,32	-2,1827	22,4051	-260,8103	156,5941
14	4,64	0,0000	30,5293	-95,0030	55,5724
15	4,96	0,0000	30,4853	-56,8624	98,0375
16	5,28	-2,1899	22,4145	-158,1479	264,2229

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	OS0300	REL	01	B	80 di 155

17	5,60	-23,4167	9,3543	-252,5157	263,3437
18	6,00	-51,6949	1,0789	-175,2375	179,3556
19	6,40	-27,4696	8,6132	-246,9365	230,9075
20	6,80	-2,0682	13,2613	-247,7248	123,0306
21	7,20	-0,8296	2,3100	-159,6984	10,5373

COMBINAZIONE n° 3

Valore della spinta statica	196,5447	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	180,4705	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	77,8474	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2,30	[m]	Y = -3,02	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	23,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	54,19	[°]		
Incremento sismico della spinta	211,9216	[kN]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 2,30	[m]	Y = -2,36	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	43,32	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2,30	[m]	Y = -5,50	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	225,1466	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,18	[m]	Y = -2,05	[m]
Inerzia del muro	47,2951	[kN]		
Inerzia verticale del muro	23,6476	[kN]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	55,2592	[kN]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	27,6296	[kN]		
<u>Risultanti</u>				
Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	477,6146	[kN]		
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	630,9070	[kN]		
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	630,9070	[kN]		
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	477,6146	[kN]		
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	1,09	[m]		
Lunghezza fondazione reagente	3,64	[m]		
Risultante in fondazione	791,3024	[kN]		
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	37,13	[°]		
Momento rispetto al baricentro della fondazione	686,3311	[kNm]		

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 81 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 3

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,23	2,8199	1,1225	10,1731
3	0,45	5,7633	4,5388	20,6777
4	0,68	8,8301	10,3215	31,5079
5	0,90	12,0205	18,5422	42,6622
6	1,13	15,3343	29,2724	54,1405
7	1,35	18,7716	42,5836	65,9429
8	1,57	22,3323	58,5474	78,0694
9	1,80	26,0166	77,2352	90,5199
10	2,02	29,8243	98,7187	103,2945
11	2,25	33,7555	123,0692	116,3932
12	2,48	37,8101	150,3584	129,8160
13	2,70	41,9883	180,6578	143,5628
14	2,93	46,2899	214,0388	157,6337
15	3,15	50,7150	250,5730	172,0287
16	3,38	55,2636	290,3319	186,7477
17	3,60	59,9356	333,3871	201,7908
18	3,83	64,7312	379,8100	217,1580
19	4,05	69,6502	429,6721	232,8492
20	4,28	74,6927	483,0451	248,8645
21	4,50	79,8586	539,9976	265,1569

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 82 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

Combinazione n° 3

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 4.60

Origine all'attacco con il muro all'estremità sinistra del muro

Ascissa X positiva verso destra

Ordinata Y positiva dall'attacco con il muro verso l'estremo libero

I momenti negativi tendono le fibre superiori

Sollecitazioni in direzione Y

Nr.	Y	M _{ymin}	M _{ymax}	T _{ymin}	T _{ymax}
1	0,00	-0,4465	0,3903	-8,0770	17,5357
2	0,17	-4,4887	7,6458	-73,0626	58,4986
3	0,33	-7,3689	17,0484	-173,3492	117,1025
4	0,50	-38,3389	36,6653	-216,4609	174,2845
5	0,63	-54,6066	59,1804	0,0000	243,1344
6	0,77	-32,5244	87,1877	0,0000	385,3356
7	0,90	0,0000	117,9217	0,0000	691,3505
8	1,03	0,0000	158,3866	0,0000	1001,6578
9	1,17	0,0000	266,6443	0,0000	1370,3345
10	1,30	0,0000	507,5235	-63,1700	1905,7676
11	1,35	0,0000	627,4276	-63,9456	1904,5490
12	2,30	-714,9904	0,0000	-605,2842	0,0000
13	2,44	-629,4421	0,0000	-589,0716	0,0000
14	2,58	-552,0063	0,0000	-560,1307	0,0000
15	2,73	-479,0692	0,0000	-534,8688	0,0000
16	2,87	-409,3817	0,0000	-520,0127	0,0000
17	3,01	-341,8730	0,0000	-514,7626	0,0000
18	3,16	-275,1287	0,0000	-521,4383	0,0000
19	3,30	-219,4509	0,0000	-540,0114	0,0000
20	3,43	-173,8367	0,0000	-445,4029	0,0000
21	3,57	-133,2470	0,0000	-359,1711	0,0000
22	3,70	-98,0459	0,0000	-275,1806	0,0000
23	3,83	-68,5390	0,0000	-213,6905	0,0000
24	3,97	-44,5872	0,0000	-172,8693	0,0000
25	4,10	-26,0018	0,0000	-133,4791	11,0132
26	4,27	-11,0112	0,0000	-88,1458	6,0427
27	4,43	-6,1176	1,8126	-41,7655	0,0000
28	4,60	0,0000	0,4045	-10,0469	2,1829

Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M _{xmin}	M _{xmax}	T _{xmin}	T _{xmax}
1	0,00	-1,8707	2,5871	-95,0314	305,3986
2	0,40	-3,9399	25,1647	-235,6286	471,9850
3	0,80	-52,4379	36,2569	-467,3061	471,2277
4	1,20	-98,6085	57,6960	-342,2983	334,2651
5	1,60	-44,7063	27,5000	-502,8190	506,9382
6	1,92	-17,8119	42,7637	-503,6640	302,8774
7	2,24	-30,4308	58,1533	-186,0757	109,8928
8	2,56	-31,2674	58,2365	-107,4259	180,2735
9	2,88	-20,1888	42,7447	-299,9325	497,1398
10	3,20	-44,1245	22,7135	-473,8738	496,2966
11	3,60	-95,7990	49,4185	-335,6824	335,6824
12	4,00	-44,1245	22,7135	-496,2966	473,8738
13	4,32	-20,1888	42,7447	-497,1398	299,9325
14	4,64	-31,2674	58,2365	-180,2735	107,4259
15	4,96	-30,4308	58,1533	-109,8928	186,0757
16	5,28	-17,8119	42,7637	-302,8774	503,6640

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	Nl. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	OS0300	REL	01	B	83 di 155

17	5,60	-44,7063	27,5000	-506,9382	502,8190
18	6,00	-98,6085	57,6960	-334,2651	342,2983
19	6,40	-52,4379	36,2569	-471,2277	467,3061
20	6,80	-3,9399	25,1647	-471,9850	235,6286
21	7,20	-1,8707	2,5871	-305,3986	95,0314

COMBINAZIONE n° 4

Valore della spinta statica	196,5447	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	180,4705	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	77,8474	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2,30	[m]	Y = -3,02	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	23,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	54,19	[°]		
Incremento sismico della spinta	181,0184	[kN]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 2,30	[m]	Y = -2,36	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	39,69	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2,30	[m]	Y = -5,50	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	225,1466	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,18	[m]	Y = -2,05	[m]
Inerzia del muro	47,2951	[kN]		
Inerzia verticale del muro	-23,6476	[kN]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	55,2592	[kN]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	-27,6296	[kN]		
<u>Risultanti</u>				
Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	449,2388	[kN]		
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	516,1126	[kN]		
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	516,1126	[kN]		
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	449,2388	[kN]		
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	1,32	[m]		
Lunghezza fondazione reagente	2,93	[m]		
Risultante in fondazione	684,2424	[kN]		
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	41,04	[°]		
Momento rispetto al baricentro della fondazione	683,1387	[kNm]		

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 84 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 4

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,23	2,8199	1,0616	9,6318
3	0,45	5,7633	4,2952	19,5951
4	0,68	8,8301	9,7734	29,8840
5	0,90	12,0205	17,5678	40,4970
6	1,13	15,3343	27,7500	51,4341
7	1,35	18,7716	40,3914	62,6952
8	1,57	22,3323	55,5635	74,2803
9	1,80	26,0166	73,3380	86,1896
10	2,02	29,8243	93,7862	98,4229
11	2,25	33,7555	116,9797	110,9803
12	2,48	37,8101	142,9901	123,8618
13	2,70	41,9883	171,8889	137,0673
14	2,93	46,2899	203,7475	150,5969
15	3,15	50,7150	238,6375	164,4506
16	3,38	55,2636	276,6305	178,6283
17	3,60	59,9356	317,7979	193,1301
18	3,83	64,7312	362,2113	207,9560
19	4,05	69,6502	409,9421	223,1060
20	4,28	74,6927	461,0619	238,5800
21	4,50	79,8586	515,6395	254,3311

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	Nl. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 85 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	-----------------	-----------	---------------------------

Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

Combinazione n° 4

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 4.60

Origine all'attacco con il muro all'estremità sinistra del muro

Ascissa X positiva verso destra

Ordinata Y positiva dall'attacco con il muro verso l'estremo libero

I momenti negativi tendono le fibre superiori

Sollecitazioni in direzione Y

Nr.	Y	M _{ymin}	M _{ymax}	T _{ymin}	T _{ymax}
1	0,00	-0,4017	0,3606	-7,5052	15,9192
2	0,17	-4,1155	6,9426	-67,0055	52,9132
3	0,33	-6,8286	15,4147	-158,7360	105,9686
4	0,50	-35,2026	33,1379	-199,1397	157,7242
5	0,63	-50,1909	53,4911	0,0000	220,1345
6	0,77	-30,2717	78,8108	0,0000	349,2140
7	0,90	0,0000	106,5775	0,0000	627,9614
8	1,03	0,0000	143,1747	0,0000	910,4790
9	1,17	0,0000	241,5027	0,0000	1246,1689
10	1,30	0,0000	460,6420	-60,3539	1733,7784
11	1,35	0,0000	569,7567	-61,1436	1732,5598
12	2,30	-768,6333	0,0000	-650,2599	0,0000
13	2,44	-676,6326	0,0000	-634,0622	0,0000
14	2,58	-593,5328	0,0000	-603,3769	0,0000
15	2,73	-515,2096	0,0000	-576,9846	0,0000
16	2,87	-440,2491	0,0000	-562,5184	0,0000
17	3,01	-367,4326	0,0000	-558,9326	0,0000
18	3,16	-295,1464	0,0000	-568,9842	0,0000
19	3,30	-235,0894	0,0000	-592,4661	0,0000
20	3,43	-185,9899	0,0000	-486,8560	0,0000
21	3,57	-142,3184	0,0000	-390,7907	0,0000
22	3,70	-104,4829	0,0000	-297,2079	0,0000
23	3,83	-72,8298	0,0000	-229,8538	0,0000
24	3,97	-47,1990	0,0000	-185,6795	0,0000
25	4,10	-27,3726	0,0000	-143,1410	16,2621
26	4,27	-11,5912	0,0000	-94,4479	15,9069
27	4,43	-6,7643	2,2739	-44,5605	0,0000
28	4,60	0,0000	0,4191	-10,9745	2,3333

Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M _{xmin}	M _{xmax}	T _{xmin}	T _{xmax}
1	0,00	-1,6764	2,3865	-107,2783	278,2336
2	0,40	-3,8913	22,9436	-214,6235	430,1378
3	0,80	-47,7790	41,1921	-422,9718	429,3773
4	1,20	-89,8546	65,6629	-311,8941	304,5915
5	1,60	-40,7337	31,2665	-458,1354	459,2779
6	1,92	-20,2837	38,9666	-458,9839	275,8768
7	2,24	-34,6626	52,9906	-169,6353	100,0053
8	2,56	-35,6122	53,0665	-97,7581	164,3492
9	2,88	-22,9816	38,9494	-273,1916	453,0404
10	3,20	-40,2033	25,8344	-429,4275	452,1936
11	3,60	-87,2940	56,2734	-305,8658	305,8658
12	4,00	-40,2033	25,8344	-452,1936	429,4275
13	4,32	-22,9816	38,9494	-453,0404	273,1916
14	4,64	-35,6122	53,0665	-164,3492	97,7581
15	4,96	-34,6626	52,9906	-100,0053	169,6353
16	5,28	-20,2837	38,9666	-275,8768	458,9839

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	Nl. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	OS0300	REL	01	B	86 di 155

17	5,60	-40,7337	31,2665	-459,2779	458,1354
18	6,00	-89,8546	65,6629	-304,5915	311,8941
19	6,40	-47,7790	41,1921	-429,3773	422,9718
20	6,80	-3,8913	22,9436	-430,1378	214,6235
21	7,20	-1,6764	2,3865	-278,2336	107,2783

COMBINAZIONE n° 5

Peso muro favorevole e Peso terrapieno favorevole

Valore della spinta statica	196,5447	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	180,4705	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	77,8474	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2,30	[m]	Y = -3,02	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	23,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	54,19	[°]		
Incremento sismico della spinta	211,9216	[kN]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 2,30	[m]	Y = -2,36	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	43,32	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2,30	[m]	Y = -5,50	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	225,1466	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,18	[m]	Y = -2,05	[m]
Inerzia del muro	47,2951	[kN]		
Inerzia verticale del muro	23,6476	[kN]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	55,2592	[kN]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	27,6296	[kN]		
Risultanti				
Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	477,6146	[kN]		
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	630,9070	[kN]		
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	630,9070	[kN]		
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	477,6146	[kN]		
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	1,09	[m]		
Lunghezza fondazione reagente	3,64	[m]		
Risultante in fondazione	791,3024	[kN]		
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	37,13	[°]		
Momento rispetto al baricentro della fondazione	686,3311	[kNm]		

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 87 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 5

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,23	2,8199	1,1225	10,1731
3	0,45	5,7633	4,5388	20,6777
4	0,68	8,8301	10,3215	31,5079
5	0,90	12,0205	18,5422	42,6622
6	1,13	15,3343	29,2724	54,1405
7	1,35	18,7716	42,5836	65,9429
8	1,57	22,3323	58,5474	78,0694
9	1,80	26,0166	77,2352	90,5199
10	2,02	29,8243	98,7187	103,2945
11	2,25	33,7555	123,0692	116,3932
12	2,48	37,8101	150,3584	129,8160
13	2,70	41,9883	180,6578	143,5628
14	2,93	46,2899	214,0388	157,6337
15	3,15	50,7150	250,5730	172,0287
16	3,38	55,2636	290,3319	186,7477
17	3,60	59,9356	333,3871	201,7908
18	3,83	64,7312	379,8100	217,1580
19	4,05	69,6502	429,6721	232,8492
20	4,28	74,6927	483,0451	248,8645
21	4,50	79,8586	539,9976	265,1569

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 88 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

Combinazione n° 5

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 4.60

Origine all'attacco con il muro all'estremità sinistra del muro

Ascissa X positiva verso destra

Ordinata Y positiva dall'attacco con il muro verso l'estremo libero

I momenti negativi tendono le fibre superiori

Sollecitazioni in direzione Y

Nr.	Y	M _{ymin}	M _{ymax}	T _{ymin}	T _{ymax}
1	0,00	-0,4465	0,3903	-8,0770	17,5357
2	0,17	-4,4887	7,6458	-73,0626	58,4986
3	0,33	-7,3689	17,0484	-173,3492	117,1025
4	0,50	-38,3389	36,6653	-216,4609	174,2845
5	0,63	-54,6066	59,1804	0,0000	243,1344
6	0,77	-32,5244	87,1877	0,0000	385,3356
7	0,90	0,0000	117,9217	0,0000	691,3505
8	1,03	0,0000	158,3866	0,0000	1001,6578
9	1,17	0,0000	266,6443	0,0000	1370,3345
10	1,30	0,0000	507,5235	-63,1700	1905,7676
11	1,35	0,0000	627,4276	-63,9456	1904,5490
12	2,30	-714,9904	0,0000	-605,2842	0,0000
13	2,44	-629,4421	0,0000	-589,0716	0,0000
14	2,58	-552,0063	0,0000	-560,1307	0,0000
15	2,73	-479,0692	0,0000	-534,8688	0,0000
16	2,87	-409,3817	0,0000	-520,0127	0,0000
17	3,01	-341,8730	0,0000	-514,7626	0,0000
18	3,16	-275,1287	0,0000	-521,4383	0,0000
19	3,30	-219,4509	0,0000	-540,0114	0,0000
20	3,43	-173,8367	0,0000	-445,4029	0,0000
21	3,57	-133,2470	0,0000	-359,1711	0,0000
22	3,70	-98,0459	0,0000	-275,1806	0,0000
23	3,83	-68,5390	0,0000	-213,6905	0,0000
24	3,97	-44,5872	0,0000	-172,8693	0,0000
25	4,10	-26,0018	0,0000	-133,4791	11,0132
26	4,27	-11,0112	0,0000	-88,1458	6,0427
27	4,43	-6,1176	1,8126	-41,7655	0,0000
28	4,60	0,0000	0,4045	-10,0469	2,1829

Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M _{xmin}	M _{xmax}	T _{xmin}	T _{xmax}
1	0,00	-1,8707	2,5871	-95,0314	305,3986
2	0,40	-3,9399	25,1647	-235,6286	471,9850
3	0,80	-52,4379	36,2569	-467,3061	471,2277
4	1,20	-98,6085	57,6960	-342,2983	334,2651
5	1,60	-44,7063	27,5000	-502,8190	506,9382
6	1,92	-17,8119	42,7637	-503,6640	302,8774
7	2,24	-30,4308	58,1533	-186,0757	109,8928
8	2,56	-31,2674	58,2365	-107,4259	180,2735
9	2,88	-20,1888	42,7447	-299,9325	497,1398
10	3,20	-44,1245	22,7135	-473,8738	496,2966
11	3,60	-95,7990	49,4185	-335,6824	335,6824
12	4,00	-44,1245	22,7135	-496,2966	473,8738
13	4,32	-20,1888	42,7447	-497,1398	299,9325
14	4,64	-31,2674	58,2365	-180,2735	107,4259
15	4,96	-30,4308	58,1533	-109,8928	186,0757
16	5,28	-17,8119	42,7637	-302,8774	503,6640

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	OS0300	REL	01	B	89 di 155

17	5,60	-44,7063	27,5000	-506,9382	502,8190
18	6,00	-98,6085	57,6960	-334,2651	342,2983
19	6,40	-52,4379	36,2569	-471,2277	467,3061
20	6,80	-3,9399	25,1647	-471,9850	235,6286
21	7,20	-1,8707	2,5871	-305,3986	95,0314

COMBINAZIONE n° 6

Valore della spinta statica	196,5447	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	180,4705	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	77,8474	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2,30	[m]	Y = -3,02	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	23,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	54,19	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2,30	[m]	Y = -5,50	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	225,1466	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,18	[m]	Y = -2,05	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	180,4705	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	495,6920	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	495,6920	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	180,4705	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,07	[m]
Lunghezza fondazione reagente	4,60	[m]
Risultante in fondazione	527,5227	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	20,01	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	32,5838	[kNm]

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 90 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 6

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,23	2,8199	0,2590	2,4927
3	0,45	5,7633	1,0803	5,2867
4	0,68	8,8301	2,5298	8,3759
5	0,90	12,0205	4,6721	11,7589
6	1,13	15,3343	7,5719	15,4357
7	1,35	18,7716	11,2941	19,4062
8	1,57	22,3323	15,9032	23,6705
9	1,80	26,0166	21,4639	28,2286
10	2,02	29,8243	28,0411	33,0804
11	2,25	33,7555	35,6993	38,2260
12	2,48	37,8101	44,5033	43,6653
13	2,70	41,9883	54,5178	49,3984
14	2,93	46,2899	65,8074	55,4253
15	3,15	50,7150	78,4369	61,7459
16	3,38	55,2636	92,4710	68,3603
17	3,60	59,9356	107,9744	75,2685
18	3,83	64,7312	125,0118	82,4704
19	4,05	69,6502	143,6478	89,9661
20	4,28	74,6927	163,9472	97,7556
21	4,50	79,8586	185,9719	105,7918

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 91 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

Combinazione n° 6

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 4.60

Origine all'attacco con il muro all'estremità sinistra del muro

Ascissa X positiva verso destra

Ordinata Y positiva dall'attacco con il muro verso l'estremo libero

I momenti negativi tendono le fibre superiori

Sollecitazioni in direzione Y

Nr.	Y	M _{ymin}	M _{ymax}	T _{ymin}	T _{ymax}
1	0,00	-0,1623	0,2019	-4,4110	7,2325
2	0,17	-2,1219	3,1855	-34,6201	23,0486
3	0,33	-3,9422	6,6864	-80,6464	46,4711
4	0,50	-18,4460	14,2916	-106,1073	69,2422
5	0,63	-26,5992	23,0937	0,0000	97,2339
6	0,77	-18,2360	34,0545	0,0000	156,0991
7	0,90	0,0000	45,9678	0,0000	289,2669
8	1,03	0,0000	61,9009	0,0000	423,3229
9	1,17	0,0000	107,1761	0,0000	582,7774
10	1,30	0,0000	210,1632	-45,2844	814,8733
11	1,35	0,0000	261,6324	-46,1971	813,6553
12	2,30	-204,9944	0,0000	-218,8540	0,0000
13	2,44	-170,2957	0,0000	-203,1448	0,0000
14	2,58	-143,8078	0,0000	-166,1090	0,0000
15	2,73	-121,8934	0,0000	-140,0345	0,0000
16	2,87	-103,2587	0,0000	-121,8960	0,0000
17	3,01	-87,1996	0,0000	-109,3699	0,0000
18	3,16	-74,2978	0,0000	-98,4000	0,0000
19	3,30	-67,4534	0,0000	-88,4647	0,0000
20	3,43	-62,7727	0,0000	-80,5639	0,0000
21	3,57	-56,0223	0,0000	-73,2590	0,0000
22	3,70	-48,1889	0,0000	-68,2694	0,0000
23	3,83	-39,5340	0,0000	-79,1966	0,0000
24	3,97	-29,8551	0,0000	-90,9302	0,0000
25	4,10	-18,2516	0,0000	-105,9563	0,0000
26	4,27	-8,0213	0,0000	-68,2159	0,0000
27	4,43	-2,8668	0,4435	-32,9193	0,0000
28	4,60	0,0000	0,3302	-6,9513	0,0000

Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M _{xmin}	M _{xmax}	T _{xmin}	T _{xmax}
1	0,00	-0,6385	2,0481	-8,7421	132,9085
2	0,40	-1,9875	11,0766	-102,3478	206,5685
3	0,80	-22,8869	7,1795	-188,1122	205,7663
4	1,20	-43,0845	0,8977	-149,4489	146,0494
5	1,60	-19,5092	7,7882	-219,3863	206,3199
6	1,92	-1,8236	18,6796	-220,2806	131,5680
7	2,24	0,0000	25,4072	-81,9285	47,1043
8	2,56	0,0000	25,4440	-46,0301	79,4039
9	2,88	-1,8176	18,6720	-130,2690	217,4392
10	3,20	-19,2533	7,7646	-193,4238	216,5462
11	3,60	-41,8532	0,8949	-146,5600	146,5600
12	4,00	-19,2533	7,7646	-216,5462	193,4238
13	4,32	-1,8176	18,6720	-217,4392	130,2690
14	4,64	0,0000	25,4440	-79,4039	46,0301
15	4,96	0,0000	25,4072	-47,1043	81,9285
16	5,28	-1,8236	18,6796	-131,5680	220,2806

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	OS0300	REL	01	B	92 di 155

17	5,60	-19,5092	7,7882	-206,3199	219,3863
18	6,00	-43,0845	0,8977	-146,0494	149,4489
19	6,40	-22,8869	7,1795	-205,7663	188,1122
20	6,80	-1,9875	11,0766	-206,5685	102,3478
21	7,20	-0,6385	2,0481	-132,9085	8,7421

COMBINAZIONE n° 7

Valore della spinta statica	196,5447	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	180,4705	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	77,8474	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2,30	[m]	Y = -3,02	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	23,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	54,19	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2,30	[m]	Y = -5,50	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	225,1466	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,18	[m]	Y = -2,05	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	180,4705	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	495,6920	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	495,6920	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	180,4705	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,07	[m]
Lunghezza fondazione reagente	4,60	[m]
Risultante in fondazione	527,5227	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	20,01	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	32,5838	[kNm]

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 93 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 7

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,23	2,8199	0,2590	2,4927
3	0,45	5,7633	1,0803	5,2867
4	0,68	8,8301	2,5298	8,3759
5	0,90	12,0205	4,6721	11,7589
6	1,13	15,3343	7,5719	15,4357
7	1,35	18,7716	11,2941	19,4062
8	1,57	22,3323	15,9032	23,6705
9	1,80	26,0166	21,4639	28,2286
10	2,02	29,8243	28,0411	33,0804
11	2,25	33,7555	35,6993	38,2260
12	2,48	37,8101	44,5033	43,6653
13	2,70	41,9883	54,5178	49,3984
14	2,93	46,2899	65,8074	55,4253
15	3,15	50,7150	78,4369	61,7459
16	3,38	55,2636	92,4710	68,3603
17	3,60	59,9356	107,9744	75,2685
18	3,83	64,7312	125,0118	82,4704
19	4,05	69,6502	143,6478	89,9661
20	4,28	74,6927	163,9472	97,7556
21	4,50	79,8586	185,9719	105,7918

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 94 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

Combinazione n° 7

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 4.60

Origine all'attacco con il muro all'estremità sinistra del muro

Ascissa X positiva verso destra

Ordinata Y positiva dall'attacco con il muro verso l'estremo libero

I momenti negativi tendono le fibre superiori

Sollecitazioni in direzione Y

Nr.	Y	M _{ymin}	M _{ymax}	T _{ymin}	T _{ymax}
1	0,00	-0,1623	0,2019	-4,4110	7,2325
2	0,17	-2,1219	3,1855	-34,6201	23,0486
3	0,33	-3,9422	6,6864	-80,6464	46,4711
4	0,50	-18,4460	14,2916	-106,1073	69,2422
5	0,63	-26,5992	23,0937	0,0000	97,2339
6	0,77	-18,2360	34,0545	0,0000	156,0991
7	0,90	0,0000	45,9678	0,0000	289,2669
8	1,03	0,0000	61,9009	0,0000	423,3229
9	1,17	0,0000	107,1761	0,0000	582,7774
10	1,30	0,0000	210,1632	-45,2844	814,8733
11	1,35	0,0000	261,6324	-46,1971	813,6553
12	2,30	-204,9944	0,0000	-218,8540	0,0000
13	2,44	-170,2957	0,0000	-203,1448	0,0000
14	2,58	-143,8078	0,0000	-166,1090	0,0000
15	2,73	-121,8934	0,0000	-140,0345	0,0000
16	2,87	-103,2587	0,0000	-121,8960	0,0000
17	3,01	-87,1996	0,0000	-109,3699	0,0000
18	3,16	-74,2978	0,0000	-98,4000	0,0000
19	3,30	-67,4534	0,0000	-88,4647	0,0000
20	3,43	-62,7727	0,0000	-80,5639	0,0000
21	3,57	-56,0223	0,0000	-73,2590	0,0000
22	3,70	-48,1889	0,0000	-68,2694	0,0000
23	3,83	-39,5340	0,0000	-79,1966	0,0000
24	3,97	-29,8551	0,0000	-90,9302	0,0000
25	4,10	-18,2516	0,0000	-105,9563	0,0000
26	4,27	-8,0213	0,0000	-68,2159	0,0000
27	4,43	-2,8668	0,4435	-32,9193	0,0000
28	4,60	0,0000	0,3302	-6,9513	0,0000

Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M _{xmin}	M _{xmax}	T _{xmin}	T _{xmax}
1	0,00	-0,6385	2,0481	-8,7421	132,9085
2	0,40	-1,9875	11,0766	-102,3478	206,5685
3	0,80	-22,8869	7,1795	-188,1122	205,7663
4	1,20	-43,0845	0,8977	-149,4489	146,0494
5	1,60	-19,5092	7,7882	-219,3863	206,3199
6	1,92	-1,8236	18,6796	-220,2806	131,5680
7	2,24	0,0000	25,4072	-81,9285	47,1043
8	2,56	0,0000	25,4440	-46,0301	79,4039
9	2,88	-1,8176	18,6720	-130,2690	217,4392
10	3,20	-19,2533	7,7646	-193,4238	216,5462
11	3,60	-41,8532	0,8949	-146,5600	146,5600
12	4,00	-19,2533	7,7646	-216,5462	193,4238
13	4,32	-1,8176	18,6720	-217,4392	130,2690
14	4,64	0,0000	25,4440	-79,4039	46,0301
15	4,96	0,0000	25,4072	-47,1043	81,9285
16	5,28	-1,8236	18,6796	-131,5680	220,2806

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	OS0300	REL	01	B	95 di 155

17	5,60	-19,5092	7,7882	-206,3199	219,3863
18	6,00	-43,0845	0,8977	-146,0494	149,4489
19	6,40	-22,8869	7,1795	-205,7663	188,1122
20	6,80	-1,9875	11,0766	-206,5685	102,3478
21	7,20	-0,6385	2,0481	-132,9085	8,7421

COMBINAZIONE n° 8

Valore della spinta statica	196,5447	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	180,4705	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	77,8474	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2,30	[m]	Y = -3,02	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	23,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	54,19	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2,30	[m]	Y = -5,50	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	225,1466	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,18	[m]	Y = -2,05	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	180,4705	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	495,6920	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	495,6920	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	180,4705	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,07	[m]
Lunghezza fondazione reagente	4,60	[m]
Risultante in fondazione	527,5227	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	20,01	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	32,5838	[kNm]

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 96 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 8

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,23	2,8199	0,2590	2,4927
3	0,45	5,7633	1,0803	5,2867
4	0,68	8,8301	2,5298	8,3759
5	0,90	12,0205	4,6721	11,7589
6	1,13	15,3343	7,5719	15,4357
7	1,35	18,7716	11,2941	19,4062
8	1,57	22,3323	15,9032	23,6705
9	1,80	26,0166	21,4639	28,2286
10	2,02	29,8243	28,0411	33,0804
11	2,25	33,7555	35,6993	38,2260
12	2,48	37,8101	44,5033	43,6653
13	2,70	41,9883	54,5178	49,3984
14	2,93	46,2899	65,8074	55,4253
15	3,15	50,7150	78,4369	61,7459
16	3,38	55,2636	92,4710	68,3603
17	3,60	59,9356	107,9744	75,2685
18	3,83	64,7312	125,0118	82,4704
19	4,05	69,6502	143,6478	89,9661
20	4,28	74,6927	163,9472	97,7556
21	4,50	79,8586	185,9719	105,7918

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 97 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

Combinazione n° 8

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 4.60

Origine all'attacco con il muro all'estremità sinistra del muro

Ascissa X positiva verso destra

Ordinata Y positiva dall'attacco con il muro verso l'estremo libero

I momenti negativi tendono le fibre superiori

Sollecitazioni in direzione Y

Nr.	Y	M _{ymin}	M _{ymax}	T _{ymin}	T _{ymax}
1	0,00	-0,1623	0,2019	-4,4110	7,2325
2	0,17	-2,1219	3,1855	-34,6201	23,0486
3	0,33	-3,9422	6,6864	-80,6464	46,4711
4	0,50	-18,4460	14,2916	-106,1073	69,2422
5	0,63	-26,5992	23,0937	0,0000	97,2339
6	0,77	-18,2360	34,0545	0,0000	156,0991
7	0,90	0,0000	45,9678	0,0000	289,2669
8	1,03	0,0000	61,9009	0,0000	423,3229
9	1,17	0,0000	107,1761	0,0000	582,7774
10	1,30	0,0000	210,1632	-45,2844	814,8733
11	1,35	0,0000	261,6324	-46,1971	813,6553
12	2,30	-204,9944	0,0000	-218,8540	0,0000
13	2,44	-170,2957	0,0000	-203,1448	0,0000
14	2,58	-143,8078	0,0000	-166,1090	0,0000
15	2,73	-121,8934	0,0000	-140,0345	0,0000
16	2,87	-103,2587	0,0000	-121,8960	0,0000
17	3,01	-87,1996	0,0000	-109,3699	0,0000
18	3,16	-74,2978	0,0000	-98,4000	0,0000
19	3,30	-67,4534	0,0000	-88,4647	0,0000
20	3,43	-62,7727	0,0000	-80,5639	0,0000
21	3,57	-56,0223	0,0000	-73,2590	0,0000
22	3,70	-48,1889	0,0000	-68,2694	0,0000
23	3,83	-39,5340	0,0000	-79,1966	0,0000
24	3,97	-29,8551	0,0000	-90,9302	0,0000
25	4,10	-18,2516	0,0000	-105,9563	0,0000
26	4,27	-8,0213	0,0000	-68,2159	0,0000
27	4,43	-2,8668	0,4435	-32,9193	0,0000
28	4,60	0,0000	0,3302	-6,9513	0,0000

Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M _{xmin}	M _{xmax}	T _{xmin}	T _{xmax}
1	0,00	-0,6385	2,0481	-8,7421	132,9085
2	0,40	-1,9875	11,0766	-102,3478	206,5685
3	0,80	-22,8869	7,1795	-188,1122	205,7663
4	1,20	-43,0845	0,8977	-149,4489	146,0494
5	1,60	-19,5092	7,7882	-219,3863	206,3199
6	1,92	-1,8236	18,6796	-220,2806	131,5680
7	2,24	0,0000	25,4072	-81,9285	47,1043
8	2,56	0,0000	25,4440	-46,0301	79,4039
9	2,88	-1,8176	18,6720	-130,2690	217,4392
10	3,20	-19,2533	7,7646	-193,4238	216,5462
11	3,60	-41,8532	0,8949	-146,5600	146,5600
12	4,00	-19,2533	7,7646	-216,5462	193,4238
13	4,32	-1,8176	18,6720	-217,4392	130,2690
14	4,64	0,0000	25,4440	-79,4039	46,0301
15	4,96	0,0000	25,4072	-47,1043	81,9285
16	5,28	-1,8236	18,6796	-131,5680	220,2806

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	OS0300	REL	01	B	98 di 155

17	5,60	-19,5092	7,7882	-206,3199	219,3863
18	6,00	-43,0845	0,8977	-146,0494	149,4489
19	6,40	-22,8869	7,1795	-205,7663	188,1122
20	6,80	-1,9875	11,0766	-206,5685	102,3478
21	7,20	-0,6385	2,0481	-132,9085	8,7421

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 99 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

Inviluppo Sollecitazioni paramento

L'ordinata Y (espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in [kNm]

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in [kN]

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in [kN]

Inviluppo combinazioni SLU

Nr.	Y	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,23	2,8199	2,8199	0,3414	1,1225	3,2405	10,1731
3	0,45	5,7633	5,7633	1,4236	4,5388	6,8727	20,6777
4	0,68	8,8301	8,8301	3,3325	10,3215	10,8887	31,5079
5	0,90	12,0205	12,0205	6,1527	18,5422	15,2866	42,6622
6	1,13	15,3343	15,3343	9,9688	29,2724	20,0664	54,1405
7	1,35	18,7716	18,7716	14,8652	42,5836	25,2281	65,9429
8	1,57	22,3323	22,3323	20,9265	58,5474	30,7717	78,0694
9	1,80	26,0166	26,0166	28,2372	77,2352	36,6971	90,5199
10	2,02	29,8243	29,8243	36,8818	98,7187	43,0045	103,2945
11	2,25	33,7555	33,7555	46,9450	123,0692	49,6937	116,3932
12	2,48	37,8101	37,8101	58,5112	150,3584	56,7649	129,8160
13	2,70	41,9883	41,9883	71,6649	180,6578	64,2179	143,5628
14	2,93	46,2899	46,2899	86,4907	214,0388	72,0529	157,6337
15	3,15	50,7150	50,7150	103,0731	250,5730	80,2697	172,0287
16	3,38	55,2636	55,2636	121,4966	290,3319	88,8684	186,7477
17	3,60	59,9356	59,9356	141,8458	333,3871	97,8490	201,7908
18	3,83	64,7312	64,7312	164,2052	379,8100	107,2116	217,1580
19	4,05	69,6502	69,6502	188,6593	429,6721	116,9560	232,8492
20	4,28	74,6927	74,6927	215,2927	483,0451	127,0823	248,8645
21	4,50	79,8586	79,8586	244,1862	539,9976	137,5293	265,1569

Inviluppo combinazioni SLE

Nr.	Y	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,23	2,8199	2,8199	0,2590	0,2590	2,4927	2,4927
3	0,45	5,7633	5,7633	1,0803	1,0803	5,2867	5,2867
4	0,68	8,8301	8,8301	2,5298	2,5298	8,3759	8,3759
5	0,90	12,0205	12,0205	4,6721	4,6721	11,7589	11,7589
6	1,13	15,3343	15,3343	7,5719	7,5719	15,4357	15,4357
7	1,35	18,7716	18,7716	11,2941	11,2941	19,4062	19,4062
8	1,57	22,3323	22,3323	15,9032	15,9032	23,6705	23,6705
9	1,80	26,0166	26,0166	21,4639	21,4639	28,2286	28,2286
10	2,02	29,8243	29,8243	28,0411	28,0411	33,0804	33,0804
11	2,25	33,7555	33,7555	35,6993	35,6993	38,2260	38,2260
12	2,48	37,8101	37,8101	44,5033	44,5033	43,6653	43,6653
13	2,70	41,9883	41,9883	54,5178	54,5178	49,3984	49,3984
14	2,93	46,2899	46,2899	65,8074	65,8074	55,4253	55,4253
15	3,15	50,7150	50,7150	78,4369	78,4369	61,7459	61,7459
16	3,38	55,2636	55,2636	92,4710	92,4710	68,3603	68,3603
17	3,60	59,9356	59,9356	107,9744	107,9744	75,2685	75,2685
18	3,83	64,7312	64,7312	125,0118	125,0118	82,4704	82,4704
19	4,05	69,6502	69,6502	143,6478	143,6478	89,9661	89,9661
20	4,28	74,6927	74,6927	163,9472	163,9472	97,7556	97,7556
21	4,50	79,8586	79,8586	185,9719	185,9719	105,7918	105,7918

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord**

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 100 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2008 (punto 10.2)**Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo**

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

Tipo di analisi svolta

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

Il calcolo dei muri di sostegno viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della spinta del terreno
- Verifica a ribaltamento
- Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa
- Verifica della stabilità complesso fondazione terreno (carico limite)
- Verifica della stabilità globale
- Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione, progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.
- Calcolo della portanza assiale e trasversale dei pali. Progetto e verifica delle armature dei pali inseriti.

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

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

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo	MAX - Analisi e Calcolo Muri di Sostegno
Versione	10.10
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	PROGIN S.P.A.
Licenza	AIU01054U

Affidabilità dei codici di calcolo

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

Modalità di presentazione dei risultati

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

Informazioni generali sull'elaborazione

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

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

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

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 101 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

ALLEGATO

TABULATI DI CALCOLO MURO SOTTOSCARPA TIPO 1

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 102 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.
- Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Legge nr. 64 del 02/02/1974.
- Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.
- Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.
- Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 9 Gennaio 1996
- Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche
- D.M. 16 Gennaio 1996
- Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'
- D.M. 16 Gennaio 1996
- Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
- Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
- Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996
- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
- Circolare C.S.L.P. 02/02/2009 n.617 - Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008

Il calcolo dei muri di sostegno viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della spinta del terreno
 - Verifica a ribaltamento
 - Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa
 - Verifica della stabilità complesso fondazione terreno (carico limite)
 - Verifica della stabilità globale
- Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione, progetto delle armature e relative verifiche dei materiali

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 103 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Calcolo della spinta sul muro

Valori caratteristici e valori di calcolo

Effettuando il calcolo tramite gli Eurocodici è necessario fare la distinzione fra i parametri caratteristici ed i valori di calcolo (o di progetto) sia delle azioni che delle resistenze.

I valori di calcolo si ottengono dai valori caratteristici mediante l'applicazione di opportuni coefficienti di sicurezza parziali γ . In particolare si distinguono combinazioni di carico di tipo **A1-M1** nelle quali vengono incrementati i carichi e lasciati inalterati i parametri di resistenza del terreno e combinazioni di carico di tipo **A2-M2** nelle quali vengono ridotti i parametri di resistenza del terreno e incrementati i soli carichi variabili.

Metodo di Culmann

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb. La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il coefficiente di spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cono di tentativo). Come il metodo di Coulomb anche questo metodo considera una superficie di rottura rettilinea.

I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione ρ rispetto all'orizzontale) e si considera il cono di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cono di spinta e cioè peso proprio (W), carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura (R e C) e resistenza per coesione lungo la parete (A);
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta S sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima.

La convergenza non si raggiunge se il terrapieno risulta inclinato di un angolo maggiore dell'angolo d'attrito del terreno.

Nei casi in cui è applicabile il metodo di Coulomb (profilo a monte rettilineo e carico uniformemente distribuito) i risultati ottenuti col metodo di Culmann coincidono con quelli del metodo di Coulomb.

Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordinata z . Noto il diagramma delle pressioni è possibile ricavare il punto di applicazione della spinta.

Spinta in presenza di sisma

Per tener conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana).

La Normativa Italiana suggerisce di tener conto di un incremento di spinta dovuto al sisma nel modo seguente.

Detta ε l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e β l'inclinazione della parete rispetto alla verticale, si calcola la spinta S' considerando un'inclinazione del terrapieno e della parte pari a

$$\varepsilon' = \varepsilon + \theta$$

$$\beta' = \beta + \theta$$

dove $\theta = \arctg(k_h/(1 \pm k_v))$ essendo k_h il coefficiente sismico orizzontale e k_v il coefficiente sismico verticale, definito in funzione di k_h . In presenza di falda a monte, θ assume le seguenti espressioni:

Terreno a bassa permeabilità

$$\theta = \arctg\left[\frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - \gamma_w} * (k_h / (1 \pm k_v))\right]$$

Terreno a permeabilità elevata

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 104 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

$$\theta = \arctg[(\gamma/(\gamma_{sat}-\gamma_w)) * (k_r/(1 \pm k_v))]$$

Detta S la spinta calcolata in condizioni statiche l'incremento di spinta da applicare è espresso da

$$\Delta S = AS' - S$$

dove il coefficiente A vale

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta)}{\cos^2\beta \cos\theta}$$

In presenza di falda a monte, nel coefficiente A si tiene conto dell'influenza dei pesi di volume nel calcolo di θ .

Adottando il metodo di Mononobe-Okabe per il calcolo della spinta, il coefficiente A viene posto pari a 1.

Tale incremento di spinta è applicato a metà altezza della parete di spinta nel caso di forma rettangolare del diagramma di incremento sismico, allo stesso punto di applicazione della spinta statica nel caso in cui la forma del diagramma di incremento sismico è uguale a quella del diagramma statico.

Oltre a questo incremento bisogna tener conto delle forze d'inerzia orizzontali e verticali che si destano per effetto del sisma. Tali forze vengono valutate come

$$F_{IH} = k_H W \quad F_{IV} = \pm k_V W$$

dove W è il peso del muro, del terreno soprastante la mensola di monte ed i relativi sovraccarichi e va applicata nel baricentro dei pesi.

Il metodo di Culmann tiene conto automaticamente dell'incremento di spinta. Basta inserire nell'equazione risolutiva la forza d'inerzia del cuneo di spinta. La superficie di rottura nel caso di sisma risulta meno inclinata della corrispondente superficie in assenza di sisma.

Verifica a ribaltamento

La verifica a ribaltamento consiste nel determinare il momento risultante di tutte le forze che tendono a fare ribaltare il muro (momento ribaltante M_r) ed il momento risultante di tutte le forze che tendono a stabilizzare il muro (momento stabilizzante M_s) rispetto allo spigolo a valle della fondazione e verificare che il rapporto M_s/M_r sia maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_r .

Eseguito il calcolo mediante gli eurocodici si può impostare $\eta_r \geq 1.0$.

Deve quindi essere verificata la seguente disuguaglianza

$$\frac{M_s}{M_r} \geq \eta_r$$

Il momento ribaltante M_r è dato dalla componente orizzontale della spinta S , dalle forze di inerzia del muro e del terreno gravante sulla fondazione di monte (caso di presenza di sisma) per i rispettivi bracci. Nel momento stabilizzante interviene il peso del muro (applicato nel baricentro) ed il peso del terreno gravante sulla fondazione di monte. Per quanto riguarda invece la componente verticale della spinta essa sarà stabilizzante se l'angolo d'attrito terra-muro δ è positivo, ribaltante se δ è negativo. δ è positivo quando è il terrapieno che scorre rispetto al muro, negativo quando è il muro che tende a scorrere rispetto al terrapieno (questo può essere il caso di una spalla da ponte gravata da carichi notevoli). Se sono presenti dei tiranti essi contribuiscono al momento stabilizzante.

Questa verifica ha significato solo per fondazione superficiale e non per fondazione su pali.

Verifica a scorrimento

Per la verifica a scorrimento del muro lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere il muro deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 105 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

risultante delle forze resistenti allo scivolamento F_r e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere il muro F_s risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_s

Eseguido il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_s \geq 1.0$

$$\frac{F_r}{F_s} \geq \eta_s$$

Le forze che intervengono nella F_s sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta N la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con δ_r l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_r la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

$$F_r = N \operatorname{tg} \delta_r + c_a B_r$$

Nel caso di fondazione con dente, viene calcolata la resistenza passiva sviluppatasi lungo il cuneo passante per lo spigolo inferiore del dente, inclinato dell'angolo ρ (rispetto all'orizzontale). Tale cuneo viene individuato attraverso un procedimento iterativo. In dipendenza della geometria della fondazione e del dente, dei parametri geotecnici del terreno e del carico risultante in fondazione, tale cuneo può avere forma triangolare o trapezoidale. Detta N la componente normale del carico agente sul piano di posa della fondazione, Q l'aliquota di carico gravante sul cuneo passivo, S_p la resistenza passiva, L_c l'ampiezza del cuneo e indicando con δ_r l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_r la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

$$F_r = (N-Q) \operatorname{tg} \delta_r + S_p + c_a L_r$$

con $L_r = B_r - L_c$

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle del muro. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 50 per cento.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione, δ_r , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_r pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

Verifica al carico limite

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi dal muro sul terreno di fondazione deve essere superiore a η_q . Cioè, detto Q_u , il carico limite ed R la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$\frac{Q_u}{R} \geq \eta_q$$

Eseguido il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_q \geq 1.0$

Si adotta per il calcolo del carico limite in fondazione il metodo di MEYERHOF.

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$Q_u = c N_c d_{c,ic} + q N_q d_{q,iq} + 0.5 \gamma B N_\gamma d_{\gamma,i\gamma}$$

In questa espressione

- c coesione del terreno in fondazione;
- ϕ angolo di attrito del terreno in fondazione;
- γ peso di volume del terreno in fondazione;
- B larghezza della fondazione;
- D profondità del piano di posa;

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 106 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

q pressione geostatica alla quota del piano di posa.

I vari fattori che compaiono nella formula sono dati da:

$$A = e^{\pi \operatorname{tg} \phi}$$

$$N_q = A \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \operatorname{tg} (1.4\phi)$$

Indichiamo con K_p il coefficiente di spinta passiva espresso da:

$$K_p = \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2)$$

I fattori d e i che compaiono nella formula sono rispettivamente i fattori di profondità ed i fattori di inclinazione del carico espressi dalle seguenti relazioni:

Fattori di profondità

$$d_q = 1 + 0.2 \frac{D}{B} \sqrt{K_p}$$

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad \text{per } \phi = 0$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 \frac{D}{B} \sqrt{K_p} \quad \text{per } \phi > 0$$

Fattori di inclinazione

Indicando con θ l'angolo che la risultante dei carichi forma con la verticale (espresso in gradi) e con ϕ l'angolo d'attrito del terreno di posa abbiamo:

$$i_c = i_q = (1 - \theta^\circ/90)^\circ$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{\phi^\circ}\right)^\circ \quad \text{per } \phi > 0$$

$$i_\gamma = 0 \quad \text{per } \phi = 0$$

Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso muro+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a η_g

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_g \geq 1.0$

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento viene supposta circolare e determinata in modo tale da non avere intersezione con il profilo del muro o con i pali di fondazione. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 10x10 posta in prossimità della sommità del muro. Il numero di strisce è pari a 50.

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 107 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop.

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di Bishop si esprime secondo la seguente formula:

$$\eta = \frac{\sum_i \left(\frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) \operatorname{tg} \phi_i}{m} \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove il termine m è espresso da

$$m = \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \phi_i \operatorname{tg} \alpha_i}{\eta} \right) \cos \alpha_i$$

In questa espressione n è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i -esima rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i -esima, c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed u_i è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine m che è funzione di η . Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per η da inserire nell'espressione di m ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 108 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Normativa

N.T.C. 2008 - Approccio 2

Simbologia adottata

γ_{Gsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
γ_{Gfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
γ_{Qsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
γ_{Qfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{tan\phi'}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
γ_c	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
γ_{cu}	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
γ_{qu}	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
γ_γ	Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniaxiale delle rocce

Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto		A1	A2	EQU	HYD
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00	0,90	0,90
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00	1,10	1,30
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,30	1,50	1,50

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		M1	M2	M2	M1
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1,00	1,25	1,25	1,00
Coesione efficace	γ_c	1,00	1,25	1,25	1,00
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40	1,40	1,00
Resistenza a compressione uniaxiale	γ_{qu}	1,00	1,60	1,60	1,00
Peso dell'unità di volume	γ_γ	1,00	1,00	1,00	1,00

Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto		A1	A2	EQU	HYD
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00	1,00	0,90
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00	1,00	1,30
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,00	1,00	1,00	1,50

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		M1	M2	M2	M1
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1,00	1,25	1,25	1,00
Coesione efficace	γ_c	1,00	1,25	1,25	1,00
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40	1,40	1,00
Resistenza a compressione uniaxiale	γ_{qu}	1,00	1,60	1,60	1,00
Peso dell'unità di volume	γ_γ	1,00	1,00	1,00	1,00

FONDAZIONE SUPERFICIALE

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO

Verifica

	R1	R2	R3
Capacità portante della fondazione	1,00	1,00	1,40
Scorrimento	1,00	1,00	1,10
Resistenza del terreno a valle	1,00	1,00	1,40
Stabilità globale		1,10	

Coefficienti parziali



QUADRILATERO

Marche Umbria S.p.A.

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 109 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 110 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Geometria muro e fondazione

Descrizione

Altezza del paramento	3,05 [m]
Spessore in sommità	0,50 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0,80 [m]
Inclinazione paramento esterno	5,70 [°]
Inclinazione paramento interno	0,00 [°]
Lunghezza del muro	10,00 [m]

Muro a mensola in c.a.

Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	0,80 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	2,00 [m]
Lunghezza totale fondazione	3,60 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0,00 [°]
Spessore fondazione	0,80 [m]
Spessore magrone	0,20 [m]
Altezza dello sperone di fondazione	1,20 [m]
Spessore dello sperone di fondazione	0,50 [m]

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 111 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Materiali utilizzati per la struttura

Calcestruzzo

Peso specifico	24,517 [kN/mc]
Classe di Resistenza	C25/30
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck}	30000 [kPa]
Modulo elastico E	31447048 [kPa]

Acciaio

Tipo	B450C
Tensione di snervamento σ_{fa}	449936 [kPa]

Geometria profilo terreno a monte del muro

Simbologia adottata e sistema di riferimento

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto

X ascissa del punto espressa in [m]

Y ordinata del punto espressa in [m]

A inclinazione del tratto espressa in [°]

N	X	Y	A
1	0,50	0,00	0,00
2	5,50	1,90	20,81
3	8,50	1,90	0,00

Terreno a valle del muro

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale	0,00	[°]
Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento	0,00	[m]

Falda

Quota della falda a valle del muro rispetto al piano di posa della fondazione	0,00	[m]
---	------	-----

Descrizione terreni

Simbologia adottata

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
γ_s	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
ϕ	Angolo d'attrito interno espresso in [°]
δ	Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c	Coesione espressa in [kPa]
c_a	Adesione terra-muro espressa in [kPa]

Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c	c_a
Rilevato	20,00	20,00	35.00	17.50	0,0	0,0
Fondazione	20,00	20,00	27.00	18.00	10,0	0,0

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 112 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Stratigrafia

Simbologia adottata

N	Indice dello strato
H	Spessore dello strato espresso in [m]
a	Inclinazione espressa in [°]
Kw	Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm ² /cm
Ks	Coefficiente di spinta
Terreno	Terreno dello strato

Nr.	H	a	Kw	Ks	Terreno
1	3,40	0,00	10,20	50,00	Rilevato
2	10,00	0,00	3,54	50,00	Fondazione

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 113 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

X Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m]

F_x Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kN]

F_y Componente verticale del carico concentrato espressa in [kN]

M Momento espresso in [kNm]

X_i Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m]

X_f Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m]

Q_i Intensità del carico per $x=X_i$ espressa in [kN/m]

Q_f Intensità del carico per $x=X_f$ espressa in [kN/m]

D/C Tipo carico : D=distribuito C=concentrato

Condizione n° 1 (SOVRACCARICO STRADALE)

D	Profilo	$X_i=5,50$	$X_f=8,50$	$Q_i=20,0000$	$Q_f=20,0000$
---	---------	------------	------------	---------------	---------------

Condizione n° 2 (URTO)

C	Paramento	$X=0,00$	$Y=0,00$	$F_x=20,0000$	$F_y=0,0000$
		$M=30,0000$			

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 114 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

F/S	Effetto dell'azione (FAV: Favorevole, SFAV: Sfavorevole)
γ	Coefficiente di partecipazione della condizione
Ψ	Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,30	1.00	1,30

Combinazione n° 2 - Caso EQU (SLU)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	0,90	1.00	0,90
Peso proprio terrapieno	FAV	0,90	1.00	0,90
Spinta terreno	SFAV	1,10	1.00	1,10

Combinazione n° 3 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00

Combinazione n° 4 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,30	1.00	1,30
SOVRACCARICO STRADALE	SFAV	1,50	1.00	1,50

Combinazione n° 5 - Caso EQU (SLU)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	0,90	1.00	0,90
Peso proprio terrapieno	FAV	0,90	1.00	0,90
Spinta terreno	SFAV	1,10	1.00	1,10
SOVRACCARICO STRADALE	SFAV	1,50	1.00	1,50

Combinazione n° 6 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1.00	1,00
SOVRACCARICO STRADALE	SFAV	1,30	1.00	1,30

Combinazione n° 7 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,30	1.00	1,30
URTO	SFAV	1,50	1.00	1,50

Combinazione n° 8 - Caso EQU (SLU)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	0,90	1.00	0,90
Peso proprio terrapieno	FAV	0,90	1.00	0,90
Spinta terreno	SFAV	1,10	1.00	1,10
URTO	SFAV	1,50	1.00	1,50

Combinazione n° 9 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 115 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1,00	1,00
URTO	SFAV	1,30	1,00	1,30

Combinazione n° 10 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1,00	1,00

Combinazione n° 11 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1,00	1,00

Combinazione n° 12 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1,00	1,00

Combinazione n° 13 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1,00	1,00

Combinazione n° 14 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1,00	1,00

Combinazione n° 15 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. negativo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1,00	1,00

Combinazione n° 16 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	FAV	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	SFAV	1,00	1,00	1,00

Combinazione n° 17 - Quasi Permanente (SLE)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1,00	1,00

Combinazione n° 18 - Frequente (SLE)

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1,00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1,00	1,00
SOVRACCARICO STRADALE	SFAV	1,00	0,75	0,75

Combinazione n° 19 - Rara (SLE)

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 116 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

	S/F	γ	Ψ	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1,00	1.00	1,00
Peso proprio terrapieno	--	1,00	1.00	1,00
Spinta terreno	--	1,00	1.00	1,00
SOVRACCARICO STRADALE	SFAV	1.00	1.00	1.00

Impostazioni di analisi

Metodo verifica sezioni

Stato limite

Impostazioni verifiche SLU

Coefficienti parziali per resistenze di calcolo dei materiali

Coefficiente di sicurezza calcestruzzo a compressione	1.50
Coefficiente di sicurezza calcestruzzo a trazione	1.50
Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15
Fattore riduzione da resistenza cubica a cilindrica	0.83
Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo	0.85
Coefficiente di sicurezza per la sezione	1.00

Impostazioni verifiche SLE

Condizioni ambientali

Aggressive

Armatura ad aderenza migliorata

Verifica fessurazione

Sensibilità delle armature

Poco sensibile

Valori limite delle aperture delle fessure

$w_1 = 0.20$

$w_2 = 0.30$

$w_3 = 0.40$

Metodo di calcolo aperture delle fessure

Circ. Min. 252 (15/10/1996)

Verifica delle tensioni

Combinazione di carico

Rara $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$ - $\sigma_f < 0.80 f_{yk}$

Quasi permanente $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$

Calcolo della portanza

metodo di Meyerhof

Coefficiente correttivo su N_γ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLU): 1,00

Coefficiente correttivo su N_γ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLE): 1,00

Impostazioni avanzate

Terreno a monte a elevata permeabilità

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 117 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

Simbologia adottata

C	Identificativo della combinazione
Tipo	Tipo combinazione
Sisma	Combinazione sismica
CS_{SCO}	Coeff. di sicurezza allo scorrimento
CS_{RIB}	Coeff. di sicurezza al ribaltamento
CS_{QUIM}	Coeff. di sicurezza a carico limite
CS_{STAB}	Coeff. di sicurezza a stabilità globale

C	Tipo	Sisma	CS_{SCO}	CS_{RIB}	CS_{qlim}	CS_{STAB}
1	A1-M1 - [1]	--	1,29	--	3,88	--
2	EQU - [1]	--	--	2,71	--	--
3	STAB - [1]	--	--	--	--	1,74
4	A1-M1 - [2]	--	1,24	--	3,76	--
5	EQU - [2]	--	--	2,63	--	--
6	STAB - [2]	--	--	--	--	1,62
7	A1-M1 - [3]	--	1,11	--	2,20	--
8	EQU - [3]	--	--	1,59	--	--
9	STAB - [3]	--	--	--	--	1,74
10	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	1,14	--	3,36	--
11	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	1,14	--	3,18	--
12	EQU - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	--	2,21	--	--
13	EQU - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	--	2,37	--	--
14	STAB - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1,45
15	STAB - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1,44
16	A1-M1 - [5]	Orizzontale + Verticale positivo	1,14	--	3,18	--
17	SLEQ - [1]	--	1,64	--	5,01	--
18	SLEF - [1]	--	1,60	--	4,94	--
19	SLER - [1]	--	1,58	--	4,90	--

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 118 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Analisi della spinta e verifiche

Sistema di riferimento adottato per le coordinate :

Origine in testa al muro (spigolo di monte)

Ascisse X (espresse in [m]) positive verso monte

Ordinate Y (espresse in [m]) positive verso l'alto

Le forze orizzontali sono considerate positive se agenti da monte verso valle

Le forze verticali sono considerate positive se agenti dall'alto verso il basso

Calcolo riferito ad 1 metro di muro

Tipo di analisi

Calcolo della spinta

Calcolo del carico limite

Calcolo della stabilità globale

Calcolo della spinta in condizioni di

metodo di Culmann

metodo di Meyerhof

metodo di Bishop

Spinta a riposo

Sisma

Combinazioni SLU

Accelerazione al suolo a_g

2.06 [m/s²]

Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)

1.19

Coefficiente di amplificazione topografica (St)

1.00

Coefficiente riduzione (β_m)

1.00

Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale

0.50

Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)

$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S) = 24.51$

Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)

$k_v=0.50 * k_h = 12.25$

Forma diagramma incremento sismico

Rettangolare

Partecipazione spinta passiva (percento)

50,0

Lunghezza del muro

10,00 [m]

Peso muro

134,1767 [kN]

Baricentro del muro

X=-0,04 Y=-2,90

Superficie di spinta

Punto inferiore superficie di spinta

X = 2,00 Y = -3,85

Punto superiore superficie di spinta

X = 2,00 Y = 0,57

Altezza della superficie di spinta

4,42 [m]

Inclinazione superficie di spinta (rispetto alla verticale)

0,00 [°]

COMBINAZIONE n° 1

Peso muro favorevole e Peso terrapieno favorevole

Valore della spinta statica

128,7059 [kN]

Componente orizzontale della spinta statica

122,7037 [kN]

Componente verticale della spinta statica

38,8463 [kN]

Punto d'applicazione della spinta

X = 2,00 [m] Y = -2,10 [m]

Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie

17,57 [°]

Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche

51,51 [°]

Punto d'applicazione della spinta della falda

X = 2,00 [m] Y = -3,85 [m]

Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte

130,5500 [kN]

Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte

X = 1,03 [m] Y = -1,41 [m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale

122,7037 [kN]

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 119 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	303,5730	[kN]
Resistenza passiva a valle del muro	-8,5214	[kN]
Resistenza passiva dente di fondazione	-89,0653	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	303,5730	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	122,7037	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,22	[m]
Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]
Risultante in fondazione	327,4336	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	22,01	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	67,8667	[kNm]
Carico ultimo della fondazione	1176,4010	[kN]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	115,56	[kPa]
Tensione terreno allo spigolo di monte	52,88	[kPa]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	$N_c = 23.94$	$N_q = 13.20$	$N_\gamma = 9.46$
Fattori forma	$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
Fattori inclinazione	$i_c = 0,57$	$i_q = 0,57$	$i_\gamma = 0,03$
Fattori profondità	$d_c = 1,12$	$d_q = 1,06$	$d_\gamma = 1,06$
I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.			
	$N'_c = 15.32$	$N'_q = 7.99$	$N'_\gamma = 0.34$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.29
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	3.88

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 120 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 1

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm

Forzo normale positivo di compressione, espresso in kN

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,15	1,8978	0,0839	1,2202
3	0,30	3,8523	0,3505	2,5877
4	0,46	5,8635	0,8215	4,0982
5	0,61	7,9315	1,5180	5,7507
6	0,76	10,0561	2,4647	7,6139
7	0,92	12,2375	3,7052	9,8317
8	1,07	14,4757	5,2914	12,3465
9	1,22	16,7705	7,2594	15,0590
10	1,37	19,1221	9,6377	17,9603
11	1,52	21,5304	12,4546	21,0504
12	1,68	23,9954	15,7385	24,3292
13	1,83	26,5171	19,5178	27,7965
14	1,98	29,0956	23,8208	31,4525
15	2,13	31,7308	28,6757	35,2970
16	2,29	34,4227	34,1109	39,3301
17	2,44	37,1713	40,1548	43,5517
18	2,59	39,9767	46,8356	47,9618
19	2,75	42,8387	54,1816	52,5605
20	2,90	45,7575	62,2213	57,3476
21	3,05	48,7331	70,9816	62,2932

Sollecitazioni fondazione di valle

Combinazione n° 1

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,08	0,3056	7,6204
3	0,16	1,2163	15,1296
4	0,24	2,7233	22,5274
5	0,32	4,8177	29,8139
6	0,40	7,4906	36,9892
7	0,48	10,7330	44,0531
8	0,56	14,5361	51,0057
9	0,64	18,8910	57,8470
10	0,72	23,7887	64,5770
11	0,80	29,2203	71,1957

Sollecitazioni fondazione di monte

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 121 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Combinazione n° 1

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,20	-1,1807	-11,6254
3	0,40	-4,5774	-22,1599
4	0,60	-9,9720	-31,6036
5	0,80	-17,1461	-39,9564
6	1,00	-25,8818	-47,2184
7	1,20	-35,9608	-53,3896
8	1,40	-47,1649	-58,4699
9	1,60	-59,2777	-62,5087
10	1,80	-72,1204	-65,8026
11	2,00	-85,5523	-68,4007

COMBINAZIONE n° 2

Valore della spinta statica	133,0897	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	129,0164	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	32,6748	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2,00	[m]	Y = -2,09	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	14,21	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	48,31	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2,00	[m]	Y = -3,85	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	117,4950	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,03	[m]	Y = -1,41	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	129,0164	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	270,9288	[kN]
Resistenza passiva a valle del muro	-6,3725	[kN]
Resistenza passiva dente di fondazione	-69,9857	[kN]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	227,1443	[kNm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	616,0791	[kNm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	270,9288	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	129,0164	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,37	[m]
Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]
Risultante in fondazione	300,0794	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	25,46	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	99,3373	[kNm]

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	2.71
--	------

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 122 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Stabilità globale muro + terreno

Combinazione n° 3

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Origine in testa al muro (spigolo contro terra)

W	peso della striscia espresso in [kN]
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
ϕ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]

Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= -1,52 Y[m]= 3,43

Raggio del cerchio R[m]= 8,61

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -7,21

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 6,96

Larghezza della striscia dx[m]= 0,57

Coefficiente di sicurezza C= 1.74

Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	$\alpha(^{\circ})$	Wsin α	b/cos α	ϕ	c	u
1	10,5902	73.12	10,1339	0,0191	29.26	0	0
2	27,4008	62.68	24,3440	0,0121	29.26	0	0
3	38,0318	55.25	31,2505	0,0098	29.26	0	0
4	44,3289	49.06	33,4880	0,0085	29.26	0	0
5	48,6500	43.58	33,5378	0,0077	29.26	0	0
6	51,8278	38.56	32,3083	0,0071	27.25	2	0
7	54,1051	33.88	30,1599	0,0067	22.18	8	0
8	55,6342	29.44	27,3449	0,0064	22.18	8	2
9	57,0350	25.19	24,2747	0,0061	22.18	8	5
10	58,8737	21.08	21,1781	0,0060	22.18	8	7
11	58,6582	17.09	17,2361	0,0058	22.18	8	9
12	58,4057	13.18	13,3144	0,0057	22.18	8	11
13	67,3844	9.33	10,9224	0,0056	22.18	8	12
14	44,2874	5.52	4,2614	0,0056	22.18	8	13
15	26,1639	1.74	0,7942	0,0056	22.18	8	13
16	24,3149	-2.04	-0,8635	0,0056	22.18	8	13
17	23,6571	-5.82	-2,3984	0,0056	22.18	8	13
18	22,7845	-9.63	-3,8108	0,0056	22.18	8	12
19	21,4689	-13.48	-5,0050	0,0057	22.18	8	11
20	19,6916	-17.40	-5,8878	0,0058	22.18	8	9
21	17,4252	-21.40	-6,3582	0,0060	22.18	8	7
22	14,6318	-25.52	-6,3030	0,0062	22.18	8	5
23	11,2589	-29.78	-5,5920	0,0064	22.18	8	2
24	7,2330	-34.24	-4,0693	0,0067	22.18	8	0
25	2,4491	-38.94	-1,5394	0,0071	29.26	0	0

$\Sigma W_i = 866,2919$ [kN]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 272,7213$ [kN]

$\Sigma W_i \tan \phi_i = 384,8450$ [kN]

$\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 4.85$

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 123 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

COMBINAZIONE n° 4

Peso muro favorevole e Peso terrapieno favorevole

Valore della spinta statica	134,2713	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	128,0049	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	40,5404	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2,00	[m]	Y = -2,15	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	17,57	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	48,51	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2,00	[m]	Y = -3,85	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	130,5500	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,03	[m]	Y = -1,41	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	128,0049	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	305,2672	[kN]
Resistenza passiva a valle del muro	-8,5214	[kN]
Resistenza passiva dente di fondazione	-89,2360	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	305,2672	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	128,0049	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,22	[m]
Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]
Risultante in fondazione	331,0186	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	22,75	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	67,3466	[kNm]
Carico ultimo della fondazione	1148,0059	[kN]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	115,79	[kPa]
Tensione terreno allo spigolo di monte	53,59	[kPa]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	$N_c = 23.94$	$N_q = 13.20$	$N_\gamma = 9.46$
Fattori forma	$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
Fattori inclinazione	$i_c = 0,56$	$i_q = 0,56$	$i_\gamma = 0,02$
Fattori profondità	$d_c = 1,12$	$d_q = 1,06$	$d_\gamma = 1,06$
I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.			
	$N'_c = 14.98$	$N'_q = 7.81$	$N'_\gamma = 0.25$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.24
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	3.76

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 124 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 4

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,15	1,8978	0,0839	1,2202
3	0,30	3,8523	0,3505	2,5877
4	0,46	5,8635	0,8215	4,0982
5	0,61	7,9315	1,5180	5,7507
6	0,76	10,0561	2,4647	7,6139
7	0,92	12,2375	3,7052	9,8317
8	1,07	14,4757	5,2914	12,3465
9	1,22	16,7705	7,2594	15,0590
10	1,37	19,1221	9,6377	17,9603
11	1,52	21,5304	12,4546	21,0504
12	1,68	23,9954	15,7385	24,3292
13	1,83	26,5171	19,5178	27,7965
14	1,98	29,0956	23,8208	31,4525
15	2,13	31,7308	28,6757	35,2970
16	2,29	34,4227	34,1109	39,3301
17	2,44	37,1713	40,1548	43,5517
18	2,59	39,9767	46,8356	47,9618
19	2,75	42,8387	54,1816	52,5605
20	2,90	45,7575	62,2213	57,3476
21	3,05	48,7331	70,9816	62,2932

Sollecitazioni fondazione di valle

Combinazione n° 4

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,08	0,3063	7,6393
3	0,16	1,2193	15,1681
4	0,24	2,7303	22,5864
5	0,32	4,8302	29,8943
6	0,40	7,5104	37,0918
7	0,48	10,7620	44,1788
8	0,56	14,5761	51,1553
9	0,64	18,9439	58,0214
10	0,72	23,8565	64,7771
11	0,80	29,3052	71,4223

Sollecitazioni fondazione di monte

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 125 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Combinazione n° 4

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,20	-1,1667	-11,4860
3	0,40	-4,5220	-21,8865
4	0,60	-9,8489	-31,2015
5	0,80	-16,9302	-39,4309
6	1,00	-25,5489	-46,5749
7	1,20	-35,4878	-52,6333
8	1,40	-46,5299	-57,6062
9	1,60	-58,4596	-61,5430
10	1,80	-71,0994	-64,7401
11	2,00	-84,3096	-67,2469

COMBINAZIONE n° 5

Valore della spinta statica	146,2404	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	141,7620	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	35,9134	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2,00	[m]	Y = -2,17	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	14,22	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	44,75	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2,00	[m]	Y = -3,85	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	117,4950	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,03	[m]	Y = -1,41	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	141,7620	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	274,1675	[kN]
Resistenza passiva a valle del muro	-6,3725	[kN]
Resistenza passiva dente di fondazione	-71,2216	[kN]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	238,7466	[kNm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	627,7527	[kNm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	274,1675	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	141,7620	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,38	[m]
Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]
Risultante in fondazione	308,6491	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	27,34	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	105,1028	[kNm]

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	2.63
--	------

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 126 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Stabilità globale muro + terreno

Combinazione n° 6

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Origine in testa al muro (spigolo contro terra)

W	peso della striscia espresso in [kN]
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
ϕ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]

Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= -1,14 Y[m]= 3,43

Raggio del cerchio R[m]= 8,55

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -6,74

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 7,28

Larghezza della striscia dx[m]= 0,56

Coefficiente di sicurezza C= 1.62

Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	$\alpha(^{\circ})$	Wsin α	b/cos α	ϕ	c	u
1	24,9073	73.07	23,8273	0,0189	29.26	0	0
2	41,3305	62.71	36,7312	0,0120	29.26	0	0
3	51,9690	55.31	42,7309	0,0097	29.26	0	0
4	47,2980	49.13	35,7692	0,0084	29.26	0	0
5	49,0351	43.66	33,8558	0,0076	29.26	0	0
6	52,1622	38.66	32,5863	0,0070	28.14	1	0
7	54,4082	33.99	30,4157	0,0066	22.18	8	0
8	55,9220	29.56	27,5903	0,0063	22.18	8	2
9	56,8038	25.32	24,2967	0,0061	22.18	8	4
10	58,3066	21.23	21,1130	0,0059	22.18	8	7
11	58,9577	17.25	17,4799	0,0058	22.18	8	9
12	58,2902	13.35	13,4573	0,0057	22.18	8	10
13	58,4435	9.51	9,6582	0,0056	22.18	8	11
14	68,7663	5.72	6,8525	0,0055	22.18	8	12
15	31,9323	1.95	1,0871	0,0055	22.18	8	12
16	24,8997	-1.81	-0,7859	0,0055	22.18	8	12
17	22,7834	-5.58	-2,2138	0,0055	22.18	8	12
18	21,9576	-9.37	-3,5742	0,0056	22.18	8	11
19	20,7012	-13.20	-4,7279	0,0056	22.18	8	10
20	18,9963	-17.10	-5,5849	0,0058	22.18	8	9
21	16,8171	-21.08	-6,0478	0,0059	22.18	8	7
22	14,1278	-25.17	-6,0078	0,0061	22.18	8	5
23	10,8786	-29.40	-5,3402	0,0063	22.18	8	2
24	7,0004	-33.82	-3,8960	0,0066	22.18	8	0
25	2,3946	-38.48	-1,4900	0,0070	29.26	0	0

$\Sigma W_i = 929,0897$ [kN]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 317,7829$ [kN]

$\Sigma W_i \tan \phi_i = 418,4421$ [kN]

$\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 4.91$

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 127 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

COMBINAZIONE n° 7

Peso muro favorevole e Peso terrapieno favorevole

Valore della spinta statica	128,7059	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	122,7037	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	38,8463	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2,00	[m]	Y = -2,10	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	17,57	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	51,51	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2,00	[m]	Y = -3,85	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	130,5500	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,03	[m]	Y = -1,41	[m]

Risultanti carichi esterni

Componente dir. X	30,00	[kN]
-------------------	-------	------

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	152,7037	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	303,5730	[kN]
Resistenza passiva a valle del muro	-8,5214	[kN]
Resistenza passiva dente di fondazione	-118,8902	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	303,5730	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	152,7037	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,75	[m]
Lunghezza fondazione reagente	3,15	[m]
Risultante in fondazione	339,8161	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	26,70	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	228,3667	[kNm]
Carico ultimo della fondazione	666,6742	[kN]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	3,15	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	192,75	[kPa]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0,00	[kPa]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	$N_c = 23.94$	$N_q = 13.20$	$N_\gamma = 9.46$
Fattori forma	$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
Fattori inclinazione	$i_c = 0,49$	$i_q = 0,49$	$i_\gamma = 0,00$
Fattori profondità	$d_c = 1,12$	$d_q = 1,06$	$d_\gamma = 1,06$
I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.			
	$N'_c = 13.27$	$N'_q = 6.92$	$N'_\gamma = 0.00$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.11
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	2.20

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 128 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 7

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	45,0000	30,0000
2	0,15	1,8978	49,6589	31,2202
3	0,30	3,8523	54,5005	32,5877
4	0,46	5,8635	59,5465	34,0982
5	0,61	7,9315	64,8180	35,7507
6	0,76	10,0561	70,3397	37,6139
7	0,92	12,2375	76,1552	39,8317
8	1,07	14,4757	82,3164	42,3465
9	1,22	16,7705	88,8594	45,0590
10	1,37	19,1221	95,8127	47,9603
11	1,52	21,5304	103,2046	51,0504
12	1,68	23,9954	111,0635	54,3292
13	1,83	26,5171	119,4178	57,7965
14	1,98	29,0956	128,2958	61,4525
15	2,13	31,7308	137,7257	65,2970
16	2,29	34,4227	147,7359	69,3301
17	2,44	37,1713	158,3548	73,5517
18	2,59	39,9767	169,6106	77,9618
19	2,75	42,8387	181,5316	82,5605
20	2,90	45,7575	194,1463	87,3476
21	3,05	48,7331	207,4816	92,2932

Sollecitazioni fondazione di valle

Combinazione n° 7

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,08	0,5488	13,6554
3	0,16	2,1744	26,9191
4	0,24	4,8454	39,7912
5	0,32	8,5306	52,2716
6	0,40	13,1985	64,3604
7	0,48	18,8178	76,0576
8	0,56	25,3572	87,3631
9	0,64	32,7854	98,2769
10	0,72	41,0711	108,7991
11	0,80	50,1828	118,9297

Sollecitazioni fondazione di monte

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 129 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Combinazione n° 7

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,20	-2,2615	-22,5491
3	0,40	-8,9933	-44,7030
4	0,60	-20,0850	-65,8147
5	0,80	-35,1313	-84,1744
6	1,00	-53,5652	-99,6912
7	1,20	-74,8183	-112,3651
8	1,40	-98,3217	-122,1959
9	1,60	-123,5088	-129,2332
10	1,80	-149,8502	-133,7733
11	2,00	-176,8549	-135,8656

COMBINAZIONE n° 8

Valore della spinta statica	133,0897	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	129,0164	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	32,6748	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2,00	[m]	Y = -2,09	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	14,21	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	48,31	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2,00	[m]	Y = -3,85	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	117,4950	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,03	[m]	Y = -1,41	[m]

Risultanti carichi esterni

Componente dir. X	30,00	[kN]
-------------------	-------	------

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	159,0164	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	270,9288	[kN]
Resistenza passiva a valle del muro	-6,3725	[kN]
Resistenza passiva dente di fondazione	-97,2071	[kN]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	387,6443	[kNm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	616,0791	[kNm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	270,9288	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	159,0164	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,96	[m]
Lunghezza fondazione reagente	2,53	[m]
Risultante in fondazione	314,1475	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	30,41	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	259,8373	[kNm]

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	1.59
--	------

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 130 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Stabilità globale muro + terreno

Combinazione n° 9

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Origine in testa al muro (spigolo contro terra)

W	peso della striscia espresso in [kN]
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
ϕ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]

Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= -1,52 Y[m]= 3,43

Raggio del cerchio R[m]= 8,61

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -7,21

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 6,96

Larghezza della striscia dx[m]= 0,57

Coefficiente di sicurezza C= 1.74

Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	$\alpha(^{\circ})$	Wsin α	b/cos α	ϕ	c	u
1	10,5902	73.12	10,1339	0,0191	29.26	0	0
2	27,4008	62.68	24,3440	0,0121	29.26	0	0
3	38,0318	55.25	31,2505	0,0098	29.26	0	0
4	44,3289	49.06	33,4880	0,0085	29.26	0	0
5	48,6500	43.58	33,5378	0,0077	29.26	0	0
6	51,8278	38.56	32,3083	0,0071	27.25	2	0
7	54,1051	33.88	30,1599	0,0067	22.18	8	0
8	55,6342	29.44	27,3449	0,0064	22.18	8	2
9	57,0350	25.19	24,2747	0,0061	22.18	8	5
10	58,8737	21.08	21,1781	0,0060	22.18	8	7
11	58,6582	17.09	17,2361	0,0058	22.18	8	9
12	58,4057	13.18	13,3144	0,0057	22.18	8	11
13	67,3844	9.33	10,9224	0,0056	22.18	8	12
14	44,2874	5.52	4,2614	0,0056	22.18	8	13
15	26,1639	1.74	0,7942	0,0056	22.18	8	13
16	24,3149	-2.04	-0,8635	0,0056	22.18	8	13
17	23,6571	-5.82	-2,3984	0,0056	22.18	8	13
18	22,7845	-9.63	-3,8108	0,0056	22.18	8	12
19	21,4689	-13.48	-5,0050	0,0057	22.18	8	11
20	19,6916	-17.40	-5,8878	0,0058	22.18	8	9
21	17,4252	-21.40	-6,3582	0,0060	22.18	8	7
22	14,6318	-25.52	-6,3030	0,0062	22.18	8	5
23	11,2589	-29.78	-5,5920	0,0064	22.18	8	2
24	7,2330	-34.24	-4,0693	0,0067	22.18	8	0
25	2,4491	-38.94	-1,5394	0,0071	29.26	0	0

$\Sigma W_i = 866,2919$ [kN]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 272,7213$ [kN]

$\Sigma W_i \tan \phi_i = 384,8450$ [kN]

$\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 4.85$

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	OS0300	REL	01	B	131 di 155

COMBINAZIONE n° 10

Valore della spinta statica	97,7947	[kN]			
Componente orizzontale della spinta statica	93,2362	[kN]			
Componente verticale della spinta statica	29,5097	[kN]			
Punto d'applicazione della spinta	X = 2,00	[m]	Y = -2,08		[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	17,56	[°]			
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	51,57	[°]			
Incremento sismico della spinta	19,9613	[kN]			
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 2,00	[m]	Y = -2,08		[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	47,26	[°]			
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2,00	[m]	Y = -3,85		[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	130,5500	[kN]			
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,03	[m]	Y = -1,41		[m]
Inerzia del muro	11,8874	[kN]			
Inerzia verticale del muro	-5,9437	[kN]			
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	11,5661	[kN]			
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	-5,7830	[kN]			

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	135,7204	[kN]			
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	288,5331	[kN]			
Resistenza passiva a valle del muro	-8,5214	[kN]			
Resistenza passiva dente di fondazione	-92,6044	[kN]			
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	288,5331	[kN]			
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	135,7204	[kN]			
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,35	[m]			
Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]			
Risultante in fondazione	318,8595	[kN]			
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	25,19	[°]			
Momento rispetto al baricentro della fondazione	100,5273	[kNm]			
Carico ultimo della fondazione	970,0687	[kN]			

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]			
Tensione terreno allo spigolo di valle	126,48	[kPa]			
Tensione terreno allo spigolo di monte	33,62	[kPa]			

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	$N_c = 23.94$	$N_q = 13.20$	$N_\gamma = 9.46$
Fattori forma	$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
Fattori inclinazione	$i_c = 0,52$	$i_q = 0,52$	$i_\gamma = 0,00$
Fattori profondità	$d_c = 1,12$	$d_q = 1,06$	$d_\gamma = 1,06$
I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.			
	$N'_c = 13.91$	$N'_q = 7.26$	$N'_\gamma = 0.05$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.14
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	3.36

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 132 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 10

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,15	1,8978	0,0942	1,3548
3	0,30	3,8523	0,3916	2,8580
4	0,46	5,8635	0,9142	4,5052
5	0,61	7,9315	1,6833	6,2956
6	0,76	10,0561	2,7236	8,2959
7	0,92	12,2375	4,0783	10,6461
8	1,07	14,4757	5,7986	13,2902
9	1,22	16,7705	7,9203	16,1315
10	1,37	19,1221	10,4719	19,1616
11	1,52	21,5304	13,4819	22,3803
12	1,68	23,9954	16,9784	25,7874
13	1,83	26,5171	20,9898	29,3831
14	1,98	29,0956	25,5445	33,1671
15	2,13	31,7308	30,6707	37,1396
16	2,29	34,4227	36,3966	41,3005
17	2,44	37,1713	42,7507	45,6498
18	2,59	39,9767	49,7612	50,1874
19	2,75	42,8387	57,4564	54,9135
20	2,90	45,7575	65,8646	59,8279
21	3,05	48,7331	75,0128	64,9013

Sollecitazioni fondazione di valle

Combinazione n° 10

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,08	0,3398	8,4665
3	0,16	1,3502	16,7682
4	0,24	3,0183	24,9050
5	0,32	5,3306	32,8769
6	0,40	8,2742	40,6840
7	0,48	11,8357	48,3262
8	0,56	16,0020	55,8035
9	0,64	20,7598	63,1159
10	0,72	26,0961	70,2635
11	0,80	31,9976	77,2462

Sollecitazioni fondazione di monte

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 133 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Combinazione n° 10

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,20	-1,1233	-11,0108
3	0,40	-4,3154	-20,6872
4	0,60	-9,3092	-29,0292
5	0,80	-15,8381	-36,0367
6	1,00	-23,6350	-41,7099
7	1,20	-32,4331	-46,0486
8	1,40	-41,9654	-49,0528
9	1,60	-51,9665	-50,7607
10	1,80	-62,1997	-51,4001
11	2,00	-72,4578	-51,0091

COMBINAZIONE n° 11

Valore della spinta statica	97,7947	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	93,2362	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	29,5097	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2,00	[m]	Y = -2,08	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	17,56	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	51,57	[°]		
Incremento sismico della spinta	28,8909	[kN]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 2,00	[m]	Y = -2,08	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	47,57	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2,00	[m]	Y = -3,85	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	130,5500	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,03	[m]	Y = -1,41	[m]
Inerzia del muro	11,8874	[kN]		
Inerzia verticale del muro	5,9437	[kN]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	11,5661	[kN]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	5,7830	[kN]		
Risultanti				
Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	144,2338	[kN]		
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	314,6810	[kN]		
Resistenza passiva a valle del muro	-8,5214	[kN]		
Resistenza passiva dente di fondazione	-97,2990	[kN]		
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	314,6810	[kN]		
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	144,2338	[kN]		
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,33	[m]		
Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]		
Risultante in fondazione	346,1611	[kN]		
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	24,62	[°]		
Momento rispetto al baricentro della fondazione	103,9245	[kNm]		
Carico ultimo della fondazione	1001,1695	[kN]		
Tensioni sul terreno				
Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]		
Tensione terreno allo spigolo di valle	135,30	[kPa]		
Tensione terreno allo spigolo di monte	39,31	[kPa]		

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 134 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante

$$N_c = 23.94$$

$$N_q = 13.20$$

$$N_\gamma = 9.46$$

Fattori forma

$$s_c = 1,00$$

$$s_q = 1,00$$

$$s_\gamma = 1,00$$

Fattori inclinazione

$$i_c = 0,53$$

$$i_q = 0,53$$

$$i_\gamma = 0,01$$

Fattori profondità

$$d_c = 1,12$$

$$d_q = 1,06$$

$$d_\gamma = 1,06$$

I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.

$$N'_c = 14.16$$

$$N'_q = 7.39$$

$$N'_\gamma = 0.08$$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento

1.14

Coefficiente di sicurezza a carico ultimo

3.18

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 135 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 11

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,15	1,8978	0,1000	1,4324
3	0,30	3,8523	0,4158	3,0226
4	0,46	5,8635	0,9707	4,7660
5	0,61	7,9315	1,7874	6,6614
6	0,76	10,0561	2,8924	8,7802
7	0,92	12,2375	4,3313	11,2716
8	1,07	14,4757	6,1590	14,0756
9	1,22	16,7705	8,4135	17,0895
10	1,37	19,1221	11,1251	20,3041
11	1,52	21,5304	14,3241	23,7194
12	1,68	23,9954	18,0406	27,3351
13	1,83	26,5171	22,3048	31,1513
14	1,98	29,0956	27,1467	35,1679
15	2,13	31,7308	32,5965	39,3850
16	2,29	34,4227	38,6843	43,8024
17	2,44	37,1713	45,4402	48,4203
18	2,59	39,9767	52,8944	53,2385
19	2,75	42,8387	61,0771	58,2570
20	2,90	45,7575	70,0182	63,4759
21	3,05	48,7331	79,7467	68,8640

Sollecitazioni fondazione di valle

Combinazione n° 11

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,08	0,3679	9,1696
3	0,16	1,4626	18,1688
4	0,24	3,2704	26,9975
5	0,32	5,7776	35,6558
6	0,40	8,9708	44,1436
7	0,48	12,8361	52,4611
8	0,56	17,3600	60,6080
9	0,64	22,5288	68,5846
10	0,72	28,3290	76,3907
11	0,80	34,7468	84,0263

Sollecitazioni fondazione di monte

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 136 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Combinazione n° 11

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,20	-1,0085	-9,8563
3	0,40	-3,8512	-18,3434
4	0,60	-8,2545	-25,4612
5	0,80	-13,9444	-31,2098
6	1,00	-20,6471	-35,5891
7	1,20	-28,0888	-38,5992
8	1,40	-35,9955	-40,2400
9	1,60	-44,0948	-40,5496
10	1,80	-52,1431	-39,7560
11	2,00	-59,9262	-37,8971

COMBINAZIONE n° 12

Valore della spinta statica	120,5694	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	116,8798	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	29,5989	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2,00	[m]	Y = -2,08	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	14,21	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	48,31	[°]		
Incremento sismico della spinta	21,5676	[kN]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 2,00	[m]	Y = -2,08	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	43,56	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2,00	[m]	Y = -3,85	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	130,5500	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,03	[m]	Y = -1,41	[m]
Inerzia del muro	11,8874	[kN]		
Inerzia verticale del muro	-5,9437	[kN]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	11,5661	[kN]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	-5,7830	[kN]		

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	161,2408	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	287,8936	[kN]
Resistenza passiva a valle del muro	-7,0806	[kN]
Resistenza passiva dente di fondazione	-81,3582	[kN]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	307,2909	[kNm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	679,4439	[kNm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	287,8936	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	161,2408	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,51	[m]
Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]
Risultante in fondazione	329,9717	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	29,25	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	146,6933	[kNm]

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	2.21
--	------

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 137 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

COMBINAZIONE n° 13

Valore della spinta statica	120,5694	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	116,8798	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	29,5989	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2,00	[m]	Y = -2,08	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	14,21	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	48,31	[°]		
Incremento sismico della spinta	32,4259	[kN]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 2,00	[m]	Y = -2,08	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	43,94	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2,00	[m]	Y = -3,85	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	130,5500	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,03	[m]	Y = -1,41	[m]
Inerzia del muro	11,8874	[kN]		
Inerzia verticale del muro	5,9437	[kN]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	11,5661	[kN]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	5,7830	[kN]		

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	171,7668	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	314,0126	[kN]
Resistenza passiva a valle del muro	-7,0806	[kN]
Resistenza passiva dente di fondazione	-85,6297	[kN]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	301,3524	[kNm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	713,5782	[kNm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	314,0126	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	171,7668	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,49	[m]
Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]
Risultante in fondazione	357,9214	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	28,68	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	153,6926	[kNm]

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	2.37
--	------

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 138 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Stabilità globale muro + terreno

Combinazione n° 14

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Origine in testa al muro (spigolo contro terra)

W	peso della striscia espresso in [kN]
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
ϕ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]

Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= -1,52 Y[m]= 3,43

Raggio del cerchio R[m]= 8,61

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -7,21

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 6,96

Larghezza della striscia dx[m]= 0,57

Coefficiente di sicurezza C= 1.45

Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	$\alpha(^{\circ})$	Wsin α	b/cos α	ϕ	c	u
1	10,5902	73.12	10,1339	0,0191	29.26	0	0
2	27,4008	62.68	24,3440	0,0121	29.26	0	0
3	38,0318	55.25	31,2505	0,0098	29.26	0	0
4	44,3289	49.06	33,4880	0,0085	29.26	0	0
5	48,6500	43.58	33,5378	0,0077	29.26	0	0
6	51,8278	38.56	32,3083	0,0071	27.25	2	0
7	54,1051	33.88	30,1599	0,0067	22.18	8	0
8	55,6342	29.44	27,3449	0,0064	22.18	8	2
9	57,0350	25.19	24,2747	0,0061	22.18	8	5
10	58,8737	21.08	21,1781	0,0060	22.18	8	7
11	58,6582	17.09	17,2361	0,0058	22.18	8	9
12	58,4057	13.18	13,3144	0,0057	22.18	8	11
13	67,3844	9.33	10,9224	0,0056	22.18	8	12
14	44,2874	5.52	4,2614	0,0056	22.18	8	13
15	26,1639	1.74	0,7942	0,0056	22.18	8	13
16	24,3149	-2.04	-0,8635	0,0056	22.18	8	13
17	23,6571	-5.82	-2,3984	0,0056	22.18	8	13
18	22,7845	-9.63	-3,8108	0,0056	22.18	8	12
19	21,4689	-13.48	-5,0050	0,0057	22.18	8	11
20	19,6916	-17.40	-5,8878	0,0058	22.18	8	9
21	17,4252	-21.40	-6,3582	0,0060	22.18	8	7
22	14,6318	-25.52	-6,3030	0,0062	22.18	8	5
23	11,2589	-29.78	-5,5920	0,0064	22.18	8	2
24	7,2330	-34.24	-4,0693	0,0067	22.18	8	0
25	2,4491	-38.94	-1,5394	0,0071	29.26	0	0

$\Sigma W_i = 866,2919$ [kN]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 272,7213$ [kN]

$\Sigma W_i \tan \phi_i = 384,8450$ [kN]

$\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 4.85$

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 139 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Stabilità globale muro + terreno

Combinazione n° 15

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Origine in testa al muro (spigolo contro terra)

W	peso della striscia espresso in [kN]
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
ϕ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]

Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= -1,52 Y[m]= 3,43

Raggio del cerchio R[m]= 8,61

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -7,21

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 6,96

Larghezza della striscia dx[m]= 0,57

Coefficiente di sicurezza C= 1.44

Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	$\alpha(^{\circ})$	Wsin α	b/cos α	ϕ	c	u
1	10,5902	73.12	10,1339	0,0191	29.26	0	0
2	27,4008	62.68	24,3440	0,0121	29.26	0	0
3	38,0318	55.25	31,2505	0,0098	29.26	0	0
4	44,3289	49.06	33,4880	0,0085	29.26	0	0
5	48,6500	43.58	33,5378	0,0077	29.26	0	0
6	51,8278	38.56	32,3083	0,0071	27.25	2	0
7	54,1051	33.88	30,1599	0,0067	22.18	8	0
8	55,6342	29.44	27,3449	0,0064	22.18	8	2
9	57,0350	25.19	24,2747	0,0061	22.18	8	5
10	58,8737	21.08	21,1781	0,0060	22.18	8	7
11	58,6582	17.09	17,2361	0,0058	22.18	8	9
12	58,4057	13.18	13,3144	0,0057	22.18	8	11
13	67,3844	9.33	10,9224	0,0056	22.18	8	12
14	44,2874	5.52	4,2614	0,0056	22.18	8	13
15	26,1639	1.74	0,7942	0,0056	22.18	8	13
16	24,3149	-2.04	-0,8635	0,0056	22.18	8	13
17	23,6571	-5.82	-2,3984	0,0056	22.18	8	13
18	22,7845	-9.63	-3,8108	0,0056	22.18	8	12
19	21,4689	-13.48	-5,0050	0,0057	22.18	8	11
20	19,6916	-17.40	-5,8878	0,0058	22.18	8	9
21	17,4252	-21.40	-6,3582	0,0060	22.18	8	7
22	14,6318	-25.52	-6,3030	0,0062	22.18	8	5
23	11,2589	-29.78	-5,5920	0,0064	22.18	8	2
24	7,2330	-34.24	-4,0693	0,0067	22.18	8	0
25	2,4491	-38.94	-1,5394	0,0071	29.26	0	0

$\Sigma W_i = 866,2919$ [kN]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 272,7213$ [kN]

$\Sigma W_i \tan \phi_i = 384,8450$ [kN]

$\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 4.85$

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 140 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

COMBINAZIONE n° 16

Peso muro favorevole e Peso terrapieno favorevole

Valore della spinta statica	97,7947	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	93,2362	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	29,5097	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2,00	[m]	Y = -2,08	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	17,56	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	51,57	[°]		
Incremento sismico della spinta	28,8909	[kN]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 2,00	[m]	Y = -2,08	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	47,57	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2,00	[m]	Y = -3,85	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	130,5500	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,03	[m]	Y = -1,41	[m]
Inerzia del muro	11,8874	[kN]		
Inerzia verticale del muro	5,9437	[kN]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	11,5661	[kN]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	5,7830	[kN]		

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	144,2338	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	314,6810	[kN]
Resistenza passiva a valle del muro	-8,5214	[kN]
Resistenza passiva dente di fondazione	-97,2990	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	314,6810	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	144,2338	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,33	[m]
Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]
Risultante in fondazione	346,1611	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	24,62	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	103,9245	[kNm]
Carico ultimo della fondazione	1001,1695	[kN]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	135,30	[kPa]
Tensione terreno allo spigolo di monte	39,31	[kPa]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	$N_c = 23.94$	$N_q = 13.20$	$N_\gamma = 9.46$
Fattori forma	$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
Fattori inclinazione	$i_c = 0,53$	$i_q = 0,53$	$i_\gamma = 0,01$
Fattori profondità	$d_c = 1,12$	$d_q = 1,06$	$d_\gamma = 1,06$
I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.			
	$N'_c = 14.16$	$N'_q = 7.39$	$N'_\gamma = 0.08$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.14
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	3.18

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 141 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 16

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,15	1,8978	0,1000	1,4324
3	0,30	3,8523	0,4158	3,0226
4	0,46	5,8635	0,9707	4,7660
5	0,61	7,9315	1,7874	6,6614
6	0,76	10,0561	2,8924	8,7802
7	0,92	12,2375	4,3313	11,2716
8	1,07	14,4757	6,1590	14,0756
9	1,22	16,7705	8,4135	17,0895
10	1,37	19,1221	11,1251	20,3041
11	1,52	21,5304	14,3241	23,7194
12	1,68	23,9954	18,0406	27,3351
13	1,83	26,5171	22,3048	31,1513
14	1,98	29,0956	27,1467	35,1679
15	2,13	31,7308	32,5965	39,3850
16	2,29	34,4227	38,6843	43,8024
17	2,44	37,1713	45,4402	48,4203
18	2,59	39,9767	52,8944	53,2385
19	2,75	42,8387	61,0771	58,2570
20	2,90	45,7575	70,0182	63,4759
21	3,05	48,7331	79,7467	68,8640

Sollecitazioni fondazione di valle

Combinazione n° 16

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,08	0,3679	9,1696
3	0,16	1,4626	18,1688
4	0,24	3,2704	26,9975
5	0,32	5,7776	35,6558
6	0,40	8,9708	44,1436
7	0,48	12,8361	52,4611
8	0,56	17,3600	60,6080
9	0,64	22,5288	68,5846
10	0,72	28,3290	76,3907
11	0,80	34,7468	84,0263

Sollecitazioni fondazione di monte

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 142 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Combinazione n° 16

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,20	-1,0085	-9,8563
3	0,40	-3,8512	-18,3434
4	0,60	-8,2545	-25,4612
5	0,80	-13,9444	-31,2098
6	1,00	-20,6471	-35,5891
7	1,20	-28,0888	-38,5992
8	1,40	-35,9955	-40,2400
9	1,60	-44,0948	-40,5496
10	1,80	-52,1431	-39,7560
11	2,00	-59,9262	-37,8971

COMBINAZIONE n° 17

Valore della spinta statica	97,7947	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	93,2362	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	29,5097	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2,00	[m]	Y = -2,08	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	17,56	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	51,57	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2,00	[m]	Y = -3,85	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	130,5500	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,03	[m]	Y = -1,41	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	93,2362	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	294,2364	[kN]
Resistenza passiva a valle del muro	-8,5214	[kN]
Resistenza passiva dente di fondazione	-81,6703	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	294,2364	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	93,2362	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,12	[m]
Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]
Risultante in fondazione	308,6553	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	17,58	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	34,9283	[kNm]
Carico ultimo della fondazione	1474,6463	[kN]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	97,76	[kPa]
Tensione terreno allo spigolo di monte	65,50	[kPa]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	$N_c = 23,94$	$N_q = 13,20$	$N_\gamma = 9,46$
Fattori forma	$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
Fattori inclinazione	$i_c = 0,65$	$i_q = 0,65$	$i_\gamma = 0,12$
Fattori profondità	$d_c = 1,12$	$d_q = 1,06$	$d_\gamma = 1,06$
I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.			
	$N'_c = 17,37$	$N'_q = 9,06$	$N'_\gamma = 1,22$



2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 143 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento

1.64

Coefficiente di sicurezza a carico ultimo

5.01

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 144 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 17

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,15	1,8978	0,0629	0,9386
3	0,30	3,8523	0,2629	1,9905
4	0,46	5,8635	0,6166	3,1525
5	0,61	7,9315	1,1403	4,4236
6	0,76	10,0561	1,8527	5,8568
7	0,92	12,2375	2,7872	7,5629
8	1,07	14,4757	3,9839	9,4973
9	1,22	16,7705	5,4702	11,5838
10	1,37	19,1221	7,2680	13,8156
11	1,52	21,5304	9,3990	16,1926
12	1,68	23,9954	11,8850	18,7147
13	1,83	26,5171	14,7476	21,3819
14	1,98	29,0956	18,0086	24,1942
15	2,13	31,7308	21,6895	27,1515
16	2,29	34,4227	25,8122	30,2539
17	2,44	37,1713	30,3982	33,5013
18	2,59	39,9767	35,4692	36,8937
19	2,75	42,8387	41,0471	40,4311
20	2,90	45,7575	47,1533	44,1136
21	3,05	48,7331	53,8087	47,9178

Sollecitazioni fondazione di valle

Combinazione n° 17

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,08	0,2493	6,2233
3	0,16	0,9942	12,3893
4	0,24	2,2301	18,4980
5	0,32	3,9523	24,5494
6	0,40	6,1565	30,5436
7	0,48	8,8378	36,4804
8	0,56	11,9918	42,3600
9	0,64	15,6139	48,1823
10	0,72	19,6994	53,9473
11	0,80	24,2439	59,6551

Sollecitazioni fondazione di monte

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 145 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Combinazione n° 17

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,20	-0,5082	-4,9715
3	0,40	-1,9445	-9,2810
4	0,60	-4,1764	-12,9284
5	0,80	-7,0717	-15,9138
6	1,00	-10,4978	-18,2373
7	1,20	-14,3225	-19,8986
8	1,40	-18,4132	-20,8980
9	1,60	-22,6388	-21,2733
10	1,80	-26,8974	-21,2527
11	2,00	-31,1160	-20,8740

COMBINAZIONE n° 18

Valore della spinta statica	100,2233	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	95,5491	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	30,2502	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2,00	[m]	Y = -2,12	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	17,57	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	49,45	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2,00	[m]	Y = -3,85	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	130,5500	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,03	[m]	Y = -1,41	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	95,5491	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	294,9770	[kN]
Resistenza passiva a valle del muro	-8,5214	[kN]
Resistenza passiva dente di fondazione	-81,7156	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	294,9770	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	95,5491	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,12	[m]
Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]
Risultante in fondazione	310,0662	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	17,95	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	34,5381	[kNm]
Carico ultimo della fondazione	1456,1797	[kN]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	97,79	[kPa]
Tensione terreno allo spigolo di monte	65,89	[kPa]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	$N_c = 23,94$	$N_q = 13,20$	$N_\gamma = 9,46$
Fattori forma	$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
Fattori inclinazione	$i_c = 0,64$	$i_q = 0,64$	$i_\gamma = 0,11$
Fattori profondità	$d_c = 1,12$	$d_q = 1,06$	$d_\gamma = 1,06$
I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.			
	$N'_c = 17,20$	$N'_q = 8,97$	$N'_\gamma = 1,13$



2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 146 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento

1.60

Coefficiente di sicurezza a carico ultimo

4.94

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 147 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 18

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,15	1,8978	0,0629	0,9386
3	0,30	3,8523	0,2629	1,9905
4	0,46	5,8635	0,6166	3,1525
5	0,61	7,9315	1,1403	4,4236
6	0,76	10,0561	1,8527	5,8568
7	0,92	12,2375	2,7872	7,5629
8	1,07	14,4757	3,9839	9,4973
9	1,22	16,7705	5,4702	11,5838
10	1,37	19,1221	7,2680	13,8156
11	1,52	21,5304	9,3990	16,1926
12	1,68	23,9954	11,8850	18,7147
13	1,83	26,5171	14,7476	21,3819
14	1,98	29,0956	18,0086	24,1942
15	2,13	31,7308	21,6895	27,1515
16	2,29	34,4227	25,8122	30,2539
17	2,44	37,1713	30,3982	33,5013
18	2,59	39,9767	35,4692	36,8937
19	2,75	42,8387	41,0471	40,4311
20	2,90	45,7575	47,1533	44,1136
21	3,05	48,7331	53,8087	47,9178

Sollecitazioni fondazione di valle

Combinazione n° 18

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,08	0,2494	6,2256
3	0,16	0,9946	12,3946
4	0,24	2,2310	18,5069
5	0,32	3,9542	24,5626
6	0,40	6,1595	30,5617
7	0,48	8,8425	36,5041
8	0,56	11,9987	42,3899
9	0,64	15,6234	48,2190
10	0,72	19,7122	53,9914
11	0,80	24,2605	59,7073

Sollecitazioni fondazione di monte

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 148 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Combinazione n° 18

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,20	-0,5006	-4,8964
3	0,40	-1,9147	-9,1347
4	0,60	-4,1106	-12,7150
5	0,80	-6,9568	-15,6373
6	1,00	-10,3217	-17,9016
7	1,20	-14,0736	-19,5079
8	1,40	-18,0810	-20,4561
9	1,60	-22,2134	-20,7843
10	1,80	-26,3698	-20,7205
11	2,00	-30,4780	-20,3027

COMBINAZIONE n° 19

Valore della spinta statica	101,3085	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	96,5831	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	30,5799	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 2,00	[m]	Y = -2,13	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	17,57	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	48,89	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 2,00	[m]	Y = -3,85	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	130,5500	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,03	[m]	Y = -1,41	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	96,5831	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	295,3066	[kN]
Resistenza passiva a valle del muro	-8,5214	[kN]
Resistenza passiva dente di fondazione	-81,7645	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	295,3066	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	96,5831	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,12	[m]
Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]
Risultante in fondazione	310,6996	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	18,11	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	34,5237	[kNm]
Carico ultimo della fondazione	1447,5949	[kN]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	3,60	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	97,87	[kPa]
Tensione terreno allo spigolo di monte	65,98	[kPa]

Fattori per il calcolo della capacità portante

Coeff. capacità portante	$N_c = 23,94$	$N_q = 13,20$	$N_\gamma = 9,46$
Fattori forma	$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
Fattori inclinazione	$i_c = 0,64$	$i_q = 0,64$	$i_\gamma = 0,11$
Fattori profondità	$d_c = 1,12$	$d_q = 1,06$	$d_\gamma = 1,06$
I coefficienti N' tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.			
	$N'_c = 17,12$	$N'_q = 8,93$	$N'_\gamma = 1,09$



2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 149 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento

1.58

Coefficiente di sicurezza a carico ultimo

4.90

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 150 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Sollecitazioni paramento

Combinazione n° 19

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

Nr.	Y	N	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,15	1,8978	0,0629	0,9386
3	0,30	3,8523	0,2629	1,9905
4	0,46	5,8635	0,6166	3,1525
5	0,61	7,9315	1,1403	4,4236
6	0,76	10,0561	1,8527	5,8568
7	0,92	12,2375	2,7872	7,5629
8	1,07	14,4757	3,9839	9,4973
9	1,22	16,7705	5,4702	11,5838
10	1,37	19,1221	7,2680	13,8156
11	1,52	21,5304	9,3990	16,1926
12	1,68	23,9954	11,8850	18,7147
13	1,83	26,5171	14,7476	21,3819
14	1,98	29,0956	18,0086	24,1942
15	2,13	31,7308	21,6895	27,1515
16	2,29	34,4227	25,8122	30,2539
17	2,44	37,1713	30,3982	33,5013
18	2,59	39,9767	35,4692	36,8937
19	2,75	42,8387	41,0471	40,4311
20	2,90	45,7575	47,1533	44,1136
21	3,05	48,7331	53,8087	47,9178

Sollecitazioni fondazione di valle

Combinazione n° 19

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,08	0,2497	6,2324
3	0,16	0,9957	12,4082
4	0,24	2,2335	18,5274
5	0,32	3,9586	24,5900
6	0,40	6,1664	30,5959
7	0,48	8,8524	36,5452
8	0,56	12,0121	42,4379
9	0,64	15,6409	48,2740
10	0,72	19,7344	54,0534
11	0,80	24,2880	59,7763

Sollecitazioni fondazione di monte

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 151 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Combinazione n° 19

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0,00	0,0000	0,0000
2	0,20	-0,4986	-4,8768
3	0,40	-1,9069	-9,0958
4	0,60	-4,0931	-12,6568
5	0,80	-6,9257	-15,5600
6	1,00	-10,2732	-17,8053
7	1,20	-14,0040	-19,3928
8	1,40	-17,9865	-20,3224
9	1,60	-22,0904	-20,6320
10	1,80	-26,2145	-20,5499
11	2,00	-30,2867	-20,1138

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 152 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Inviluppo Sollecitazioni paramento

L'ordinata Y (espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in [kNm]

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in [kN]

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in [kN]

Inviluppo combinazioni SLU

Nr.	Y	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	45,0000	0,0000	30,0000
2	0,15	1,8978	1,8978	0,0839	49,6589	1,2202	31,2202
3	0,30	3,8523	3,8523	0,3505	54,5005	2,5877	32,5877
4	0,46	5,8635	5,8635	0,8215	59,5465	4,0982	34,0982
5	0,61	7,9315	7,9315	1,5180	64,8180	5,7507	35,7507
6	0,76	10,0561	10,0561	2,4647	70,3397	7,6139	37,6139
7	0,92	12,2375	12,2375	3,7052	76,1552	9,8317	39,8317
8	1,07	14,4757	14,4757	5,2914	82,3164	12,3465	42,3465
9	1,22	16,7705	16,7705	7,2594	88,8594	15,0590	45,0590
10	1,37	19,1221	19,1221	9,6377	95,8127	17,9603	47,9603
11	1,52	21,5304	21,5304	12,4546	103,2046	21,0504	51,0504
12	1,68	23,9954	23,9954	15,7385	111,0635	24,3292	54,3292
13	1,83	26,5171	26,5171	19,5178	119,4178	27,7965	57,7965
14	1,98	29,0956	29,0956	23,8208	128,2958	31,4525	61,4525
15	2,13	31,7308	31,7308	28,6757	137,7257	35,2970	65,2970
16	2,29	34,4227	34,4227	34,1109	147,7359	39,3301	69,3301
17	2,44	37,1713	37,1713	40,1548	158,3548	43,5517	73,5517
18	2,59	39,9767	39,9767	46,8356	169,6106	47,9618	77,9618
19	2,75	42,8387	42,8387	54,1816	181,5316	52,5605	82,5605
20	2,90	45,7575	45,7575	62,2213	194,1463	57,3476	87,3476
21	3,05	48,7331	48,7331	70,9816	207,4816	62,2932	92,2932

Inviluppo combinazioni SLE

Nr.	Y	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,15	1,8978	1,8978	0,0629	0,0629	0,9386	0,9386
3	0,30	3,8523	3,8523	0,2629	0,2629	1,9905	1,9905
4	0,46	5,8635	5,8635	0,6166	0,6166	3,1525	3,1525
5	0,61	7,9315	7,9315	1,1403	1,1403	4,4236	4,4236
6	0,76	10,0561	10,0561	1,8527	1,8527	5,8568	5,8568
7	0,92	12,2375	12,2375	2,7872	2,7872	7,5629	7,5629
8	1,07	14,4757	14,4757	3,9839	3,9839	9,4973	9,4973
9	1,22	16,7705	16,7705	5,4702	5,4702	11,5838	11,5838
10	1,37	19,1221	19,1221	7,2680	7,2680	13,8156	13,8156
11	1,52	21,5304	21,5304	9,3990	9,3990	16,1926	16,1926
12	1,68	23,9954	23,9954	11,8850	11,8850	18,7147	18,7147
13	1,83	26,5171	26,5171	14,7476	14,7476	21,3819	21,3819
14	1,98	29,0956	29,0956	18,0086	18,0086	24,1942	24,1942
15	2,13	31,7308	31,7308	21,6895	21,6895	27,1515	27,1515
16	2,29	34,4227	34,4227	25,8122	25,8122	30,2539	30,2539
17	2,44	37,1713	37,1713	30,3982	30,3982	33,5013	33,5013
18	2,59	39,9767	39,9767	35,4692	35,4692	36,8937	36,8937
19	2,75	42,8387	42,8387	41,0471	41,0471	40,4311	40,4311
20	2,90	45,7575	45,7575	47,1533	47,1533	44,1136	44,1136
21	3,05	48,7331	48,7331	53,8087	53,8087	47,9178	47,9178

Inviluppo Sollecitazioni fondazione di valle

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 153 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle
 Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in [kNm]
 Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in [kN]

Inviluppo combinazioni SLU

Nr.	X	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,08	0,3056	0,5488	7,6204	13,6554
3	0,16	1,2163	2,1744	15,1296	26,9191
4	0,24	2,7233	4,8454	22,5274	39,7912
5	0,32	4,8177	8,5306	29,8139	52,2716
6	0,40	7,4906	13,1985	36,9892	64,3604
7	0,48	10,7330	18,8178	44,0531	76,0576
8	0,56	14,5361	25,3572	51,0057	87,3631
9	0,64	18,8910	32,7854	57,8470	98,2769
10	0,72	23,7887	41,0711	64,5770	108,7991
11	0,80	29,2203	50,1828	71,1957	118,9297

Inviluppo combinazioni SLE

Nr.	X	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,08	0,2493	0,2497	6,2233	6,2324
3	0,16	0,9942	0,9957	12,3893	12,4082
4	0,24	2,2301	2,2335	18,4980	18,5274
5	0,32	3,9523	3,9586	24,5494	24,5900
6	0,40	6,1565	6,1664	30,5436	30,5959
7	0,48	8,8378	8,8524	36,4804	36,5452
8	0,56	11,9918	12,0121	42,3600	42,4379
9	0,64	15,6139	15,6409	48,1823	48,2740
10	0,72	19,6994	19,7344	53,9473	54,0534
11	0,80	24,2439	24,2880	59,6551	59,7763

Inviluppo Sollecitazioni fondazione di monte

L'ascissa X (espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte
 Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in [kNm]
 Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in [kN]

Inviluppo combinazioni SLU

Nr.	X	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,20	-2,2615	-1,0085	-22,5491	-9,8563
3	0,40	-8,9933	-3,8512	-44,7030	-18,3434
4	0,60	-20,0850	-8,2545	-65,8147	-25,4612
5	0,80	-35,1313	-13,9444	-84,1744	-31,2098
6	1,00	-53,5652	-20,6471	-99,6912	-35,5891
7	1,20	-74,8183	-28,0888	-112,3651	-38,5992
8	1,40	-98,3217	-35,9955	-122,1959	-40,2400
9	1,60	-123,5088	-44,0948	-129,2332	-40,5496
10	1,80	-149,8502	-52,1431	-133,7733	-39,7560
11	2,00	-176,8549	-59,9262	-135,8656	-37,8971

Inviluppo combinazioni SLE

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 154 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Nr.	X	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,20	-0,5082	-0,4986	-4,9715	-4,8768
3	0,40	-1,9445	-1,9069	-9,2810	-9,0958
4	0,60	-4,1764	-4,0931	-12,9284	-12,6568
5	0,80	-7,0717	-6,9257	-15,9138	-15,5600
6	1,00	-10,4978	-10,2732	-18,2373	-17,8053
7	1,20	-14,3225	-14,0040	-19,8986	-19,3928
8	1,40	-18,4132	-17,9865	-20,8980	-20,3224
9	1,60	-22,6388	-22,0904	-21,2733	-20,6320
10	1,80	-26,8974	-26,2145	-21,2527	-20,5499
11	2,00	-31,1160	-30,2867	-20,8740	-20,1138

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa in sinistra da 6+569.54 a 6+870.34 – Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OSO300	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 155 di 155
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------------

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2008 (punto 10.2)

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

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

Tipo di analisi svolta

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

Il calcolo dei muri di sostegno viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della spinta del terreno
- Verifica a ribaltamento
- Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa
- Verifica della stabilità complesso fondazione terreno (carico limite)
- Verifica della stabilità globale

- Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione, progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.

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

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

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo	MAX - Analisi e Calcolo Muri di Sostegno
Versione	10.10
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	PROGIN S.P.A.
Licenza	AIU01054U

Affidabilità dei codici di calcolo

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

Modalità di presentazione dei risultati

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

Informazioni generali sull'elaborazione

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

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

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