


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

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

### PROGETTO ESECUTIVO

<p><b>CONTRAENTE GENERALE:</b></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><b>RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE PER I'ATI</b></p> <p>Ing. Antonio Grimaldi</p> <p><b>GEOLOGO</b> Dott. Geol. Fabrizio Pontoni</p> <p><b>COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</b> Ing. Michele Curiale</p>			
---	---	--	---

<p><b>IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</b></p> <p>Ing. Giulio Petrizzelli</p>		
---	--	--

<p><b>2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE</b> Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord</p> <p><b>OPERE D'ARTE MINORI: Opere di sostegno e dreni</b> Muri di sottoscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60 Relazione tecnica e di calcolo</p>	<p><b>SCALA:</b></p> <p><b>DATA:</b> Maggio 2017</p>
--	--

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

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

REV.	DATA	DESCRIZIONE	Redatto		Controllato	Approvato
A	Maggio 2017	Emissione per Validazione RINA	PROGIN	PROGIN	S. LIETO	A.GRIMALDI

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 2 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

**INDICE**

<b>1. GENERALITA'</b> .....	<b>3</b>
1.1 DESCRIZIONE DELLE OPERE .....	3
<b>2. UNITA' DI MISURA</b> .....	<b>5</b>
<b>3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>5</b>
<b>4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI</b> .....	<b>6</b>
4.1 CALCESTRUZZO PARAMENTO MURI C25/30.....	6
4.2 CALCESTRUZZO C32/40 .....	6
4.3 ACCIAIO DI ARMATURA B450C .....	7
<b>5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b> .....	<b>8</b>
5.1 CAPACITA' PORTANTE DEI PALI.....	8
<b>6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA</b> .....	<b>11</b>
<b>7. VERIFICHE STRUTTURALI – CRITERI GENERALI</b> .....	<b>13</b>
7.1 VERIFICA SLE .....	13
7.2 VERIFICHE ALLO SLU .....	15
<b>8. CRITERI DI ANALISI E VERIFICA DEI MURI DI SOSTEGNO</b> .....	<b>19</b>
8.1 STATI LIMITE E COMBINAZIONI DI CALCOLO AI SENSI DM 14.01.08 .....	19
<b>9. ANALISI DEI CARICHI</b> .....	<b>20</b>
9.1 CARICHI FISSI.....	20
9.2 SPINTE DEL TERRENO.....	20
9.3 SOVRACCARICHI ACCIDENTALI.....	22
9.4 AZIONI ECCEZIONALI (URTO VEICOLO IN SVIO).....	24
9.5 AZIONE SISMICA .....	25
<b>10. COMBINAZIONI DI CALCOLO</b> .....	<b>28</b>
<b>11. RISULTATI ANALISI E VERIFICHE</b> .....	<b>30</b>
11.1 RISULTATI ANALISI E VERIFICHE MURI DI TIPO 1 .....	30
11.2 RISULTATI ANALISI E VERIFICHE MURI DI TIPO 2.....	40
11.3 RISULTATI ANALISI E VERIFICHE MURI DI TIPO 3.....	50
11.4 VERIFICA LOCALE DEL CORDOLO PER AZIONI D'URTO .....	60
<b>ALLEGATO 1</b> .....	<b>62</b>
<b>TABULATI DI CALCOLO MURO TIPO 1</b> .....	<b>62</b>
<b>ALLEGATO 2</b> .....	<b>106</b>
<b>TABULATI DI CALCOLO MURO TIPO 2</b> .....	<b>106</b>
<b>ALLEGATO 3</b> .....	<b>150</b>
<b>TABULATI DI CALCOLO MURO TIPO 3</b> .....	<b>150</b>

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 3 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

## 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 in sinistra situati tra Pk 0+586.50 e Pk 0+669.60. 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	0+586	0+669	Muro di sottscarpa con 2 pali allineati	<b>Sottscarpa Tipo 2</b>
			Muro di sottscarpa con 3 pali allineati	<b>Sottscarpa Tipo 3</b>
			Muro di sostegno con 3 pali allineati	<b>Sostegno Tipo 3</b>

Denominazione	Hmax [m]	Lfond [m]	Sfond. [m]	n° Pali (Allineati)	Lpali [m]
<b>Sottscarpa TIPO 2</b>	4.50	4.60	1.0	2	14
<b>Sottscarpa TIPO 3</b>	6.50	6.50	1.3	3	16
<b>Sottscarpa TIPO 3</b>	8.87	6.50	1.3	3	16

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

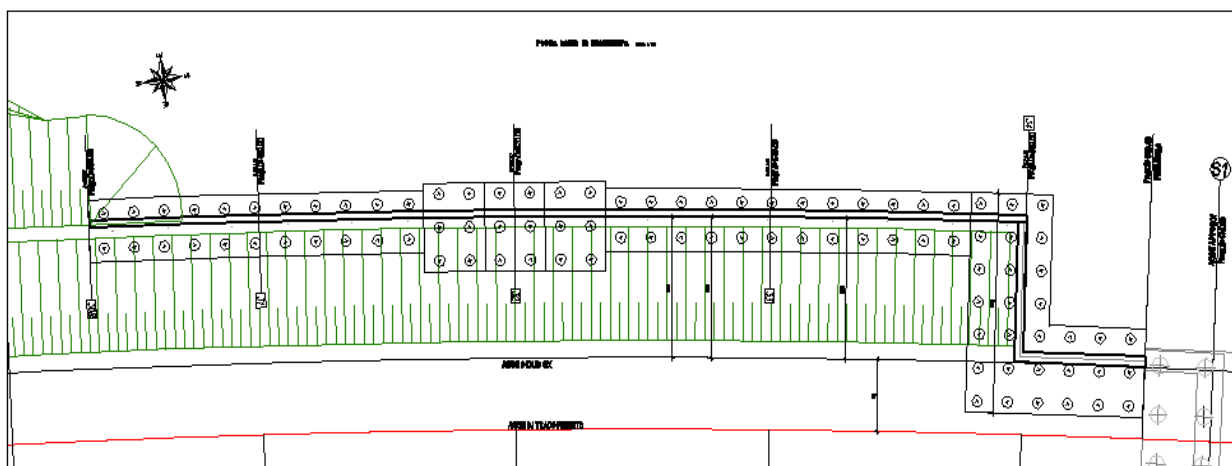


Figura 1: Pianta Muri in Sx

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

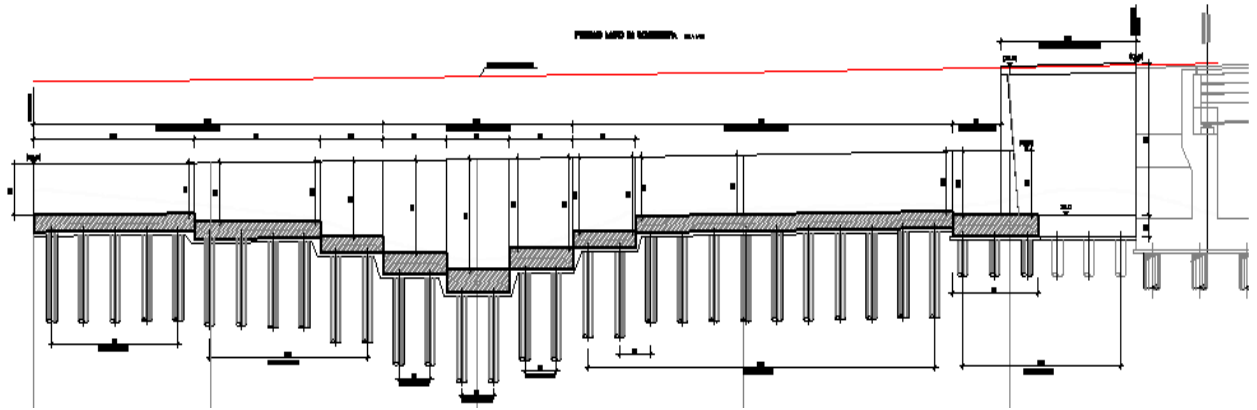
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 4 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------



**Figura 2: Profilo longitudinale Muri in Sx**

Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici di riferimento.

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 5 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

## 2. UNITA' DI MISURA

Nel seguito si adotteranno le seguenti unità di misura:

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

## 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.*

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 6 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

## 4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

Per la realizzazione delle strutture sono stati previsti i materiali di seguito descritti. 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 <sup>3</sup> ]	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 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/m<sup>3</sup> 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
- $ot = f_{ctm} / 1.2 = 2.13$  MPa tensione limite di fessurazione (trazione)

### 4.2 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<sup>3</sup> 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

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 7 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

### 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)

### 4.3 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

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 8 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

## 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.	
Ala	5.0	Depositi alluvionali limoso argillosi
Salt	5.0	Substrato alterato limoso argilloso
Ap/Pa	>10.0	Substrato arenaceo pelitico / Substrato pelitico arenaceo
Falda: si assume prossima al piano campagna		

I parametri geotecnici considerati per l'opera in esame sono riportati nella seguente tabella.

**Tabella 2 – Parametri geotecnici**

	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]	$c'$ [kPa]	$E'_{op}$ [MPa]
Ala	19.0	25	2	30
Salt	20.0	27	20	70
Ap/Pa (**)	23.0	31	120	100

$\gamma$  = peso di volume naturale

$\phi'$  = angolo di resistenza al taglio

$c'$  = coesione drenata

$E'_{op}$  = modulo di deformazione elastico operativo

### 5.1 CAPACITA' PORTANTE DEI PALI

Nella seguente tabella si riportano i parametri principali per il calcolo della capacità portante dei pali dell'opera in esame.

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	$\xi_s$	$\gamma_s$	$\gamma_b$	$F_{SL}$	$F_{SB}$	$D_{palo}$ [mm]
2 (A1+M1+R3)	2	1.65	1.15	1.35	1.9	2.2	800

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**



## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 9 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

Lp m	Q11 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
.00	0.	331.	0.	331.	151.
.50	11.	427.	1.	437.	199.
1.00	26.	522.	3.	546.	249.
1.50	45.	618.	4.	659.	300.
2.00	66.	713.	5.	775.	354.
2.50	92.	718.	6.	804.	368.
3.00	120.	723.	8.	836.	385.
3.50	152.	728.	9.	872.	402.
4.00	188.	733.	10.	911.	422.
4.50	227.	738.	11.	954.	444.
5.00	270.	743.	13.	1000.	467.
5.50	316.	748.	14.	1050.	492.
6.00	365.	753.	15.	1103.	519.
6.50	435.	759.	16.	1177.	557.
7.00	606.	1009.	18.	1598.	760.
7.50	795.	1259.	19.	2035.	972.
8.00	983.	1510.	20.	2473.	1184.
8.50	1172.	1760.	21.	2911.	1395.
9.00	1360.	2011.	23.	3348.	1607.
9.50	1549.	2011.	24.	3536.	1705.
10.00	1737.	2011.	25.	3723.	1803.
10.50	1926.	2011.	26.	3910.	1901.
11.00	2114.	2011.	28.	4097.	1999.
11.50	2303.	2011.	29.	4284.	2097.
12.00	2491.	2011.	30.	4472.	2195.
12.50	2680.	2011.	31.	4659.	2293.
13.00	2868.	2011.	33.	4846.	2391.
13.50	3060.	2011.	34.	5037.	2490.
14.00	3270.	2111.	35.	5346.	2646.
14.50	3484.	2212.	36.	5659.	2803.
15.00	3698.	2312.	38.	5972.	2959.
15.50	3911.	2413.	39.	6285.	3116.
16.00	4125.	2513.	40.	6598.	3273.
16.50	4339.	2513.	41.	6810.	3384.
17.00	4552.	2513.	43.	7023.	3496.
17.50	4766.	2513.	44.	7235.	3607.
18.00	4979.	2513.	45.	7447.	3718.
18.50	5193.	2513.	46.	7660.	3829.
19.00	5407.	2513.	48.	7872.	3940.
19.50	5620.	2513.	49.	8085.	4051.
20.00	5834.	2513.	50.	8297.	4163.
20.50	6048.	2513.	52.	8509.	4274.
21.00	6261.	2513.	53.	8722.	4385.
21.50	6475.	2513.	54.	8934.	4496.
22.00	6688.	2513.	55.	9146.	4607.
22.50	6902.	2513.	57.	9359.	4719.
23.00	7116.	2513.	58.	9571.	4830.
23.50	7329.	2513.	59.	9784.	4941.
24.00	7543.	2513.	60.	9996.	5052.
24.50	7757.	2513.	62.	10208.	5163.
25.00	7970.	2513.	63.	10421.	5274.
25.50	8184.	2513.	64.	10633.	5386.
26.00	8397.	2513.	65.	10845.	5497.
26.50	8611.	2513.	67.	11058.	5608.
27.00	8825.	2513.	68.	11270.	5719.
27.50	9038.	2513.	69.	11482.	5830.
28.00	9252.	2513.	70.	11695.	5941.
28.50	9466.	2513.	72.	11907.	6053.

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 10 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

**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	26.	0.	-8.	34.	20.
1.50	45.	0.	-11.	56.	33.
2.00	66.	0.	-15.	81.	47.
2.50	92.	0.	-19.	110.	63.
3.00	120.	0.	-23.	143.	81.
3.50	152.	0.	-26.	179.	100.
4.00	188.	0.	-30.	218.	121.
4.50	227.	0.	-34.	261.	144.
5.00	270.	0.	-38.	307.	169.
5.50	316.	0.	-41.	357.	195.
6.00	365.	0.	-45.	410.	222.
6.50	435.	0.	-49.	484.	260.
7.00	606.	0.	-53.	659.	347.
7.50	795.	0.	-57.	851.	442.
8.00	983.	0.	-60.	1044.	538.
8.50	1172.	0.	-64.	1236.	633.
9.00	1360.	0.	-68.	1428.	728.
9.50	1549.	0.	-72.	1620.	823.
10.00	1737.	0.	-75.	1813.	919.
10.50	1926.	0.	-79.	2005.	1014.
11.00	2114.	0.	-83.	2197.	1109.
11.50	2303.	0.	-87.	2389.	1205.
12.00	2491.	0.	-90.	2582.	1300.
12.50	2680.	0.	-94.	2774.	1395.
13.00	2868.	0.	-98.	2966.	1490.
13.50	3060.	0.	-102.	3162.	1587.
14.00	3270.	0.	-106.	3376.	1693.
14.50	3484.	0.	-109.	3593.	1801.
15.00	3698.	0.	-113.	3811.	1908.
15.50	3911.	0.	-117.	4028.	2016.
16.00	4125.	0.	-121.	4246.	2123.
16.50	4339.	0.	-124.	4463.	2230.
17.00	4552.	0.	-128.	4680.	2338.
17.50	4766.	0.	-132.	4898.	2445.
18.00	4979.	0.	-136.	5115.	2553.
18.50	5193.	0.	-139.	5333.	2660.
19.00	5407.	0.	-143.	5550.	2768.
19.50	5620.	0.	-147.	5767.	2875.
20.00	5834.	0.	-151.	5985.	2983.
20.50	6048.	0.	-155.	6202.	3090.
21.00	6261.	0.	-158.	6419.	3198.
21.50	6475.	0.	-162.	6637.	3305.
22.00	6688.	0.	-166.	6854.	3413.
22.50	6902.	0.	-170.	7072.	3520.
23.00	7116.	0.	-173.	7289.	3628.
23.50	7329.	0.	-177.	7506.	3735.
24.00	7543.	0.	-181.	7724.	3843.
24.50	7757.	0.	-185.	7941.	3950.
25.00	7970.	0.	-188.	8159.	4058.
25.50	8184.	0.	-192.	8376.	4165.
26.00	8397.	0.	-196.	8593.	4272.
26.50	8611.	0.	-200.	8811.	4380.
27.00	8825.	0.	-204.	9028.	4487.
27.50	9038.	0.	-207.	9246.	4595.
28.00	9252.	0.	-211.	9463.	4702.
28.50	9466.	0.	-215.	9680.	4810.



## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 11 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

## 6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

L'opera 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.**



**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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 12 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

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 = 1.25;
- $S_{T_r}$ , fattore topografico = 1.0;
- $C_c$ , fattore correttivo del periodo  $TC^*$  = 1.5.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 13 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

## 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

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

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 14 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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 :  $w \leq 0.2 \text{ mm}$

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

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

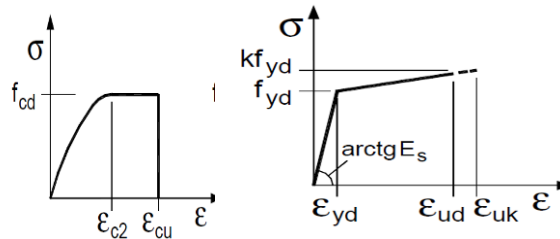
Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 15 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

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.

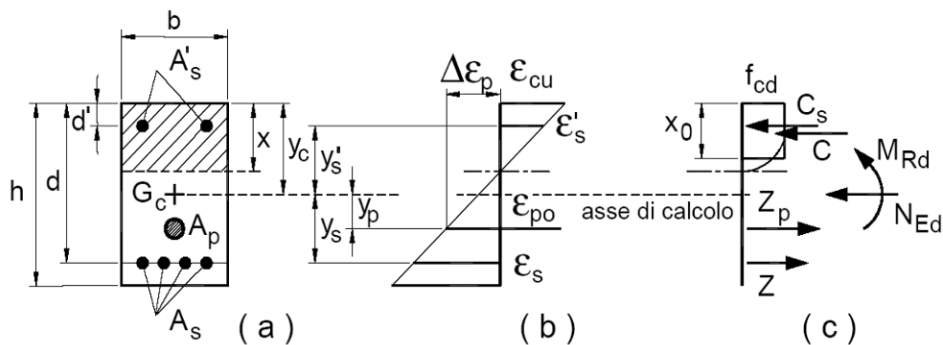
## 7.2 VERIFICHE ALLO SLU

### 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.



**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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 16 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------



Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 17 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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  $\theta$  di inclinazione delle bielle compresse del traliccio resistente tale da rispettare la condizione.

$$1 \leq \text{ctg} \theta \leq 2,5 \quad 45^\circ \geq \theta \geq 21,8^\circ$$

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

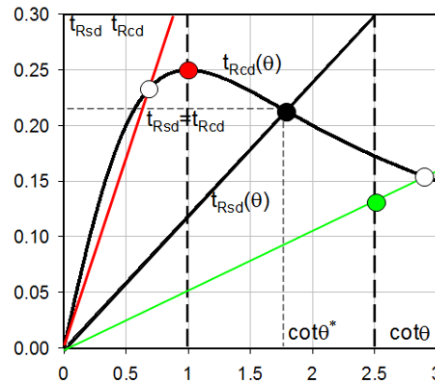
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 18 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------



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

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

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

dove

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

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

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

$\alpha_c$	coefficiente maggiorativo pari a	1	per membrature non compresse
		$1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$	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 $0.5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$

$\omega_{sw}$  : 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  $\cot \theta = 1,0$ .

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 19 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

## 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 $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	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.

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 20 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_M$ $\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

**Tabella 6.5.I - Coefficienti parziali  $\gamma_k$  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
$\gamma_R$	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

## 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  $\gamma=25$  KN/m<sup>3</sup>, mentre per il terreno si è assunto  $\gamma=20$  KN/m<sup>3</sup>

### 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.

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

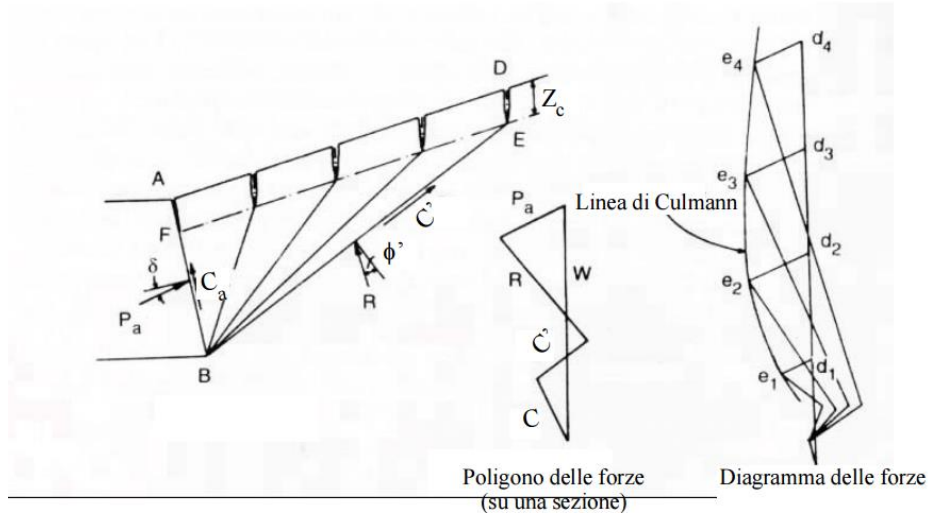
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 21 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------



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 massa 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  $\theta$  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

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 22 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

Si 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:

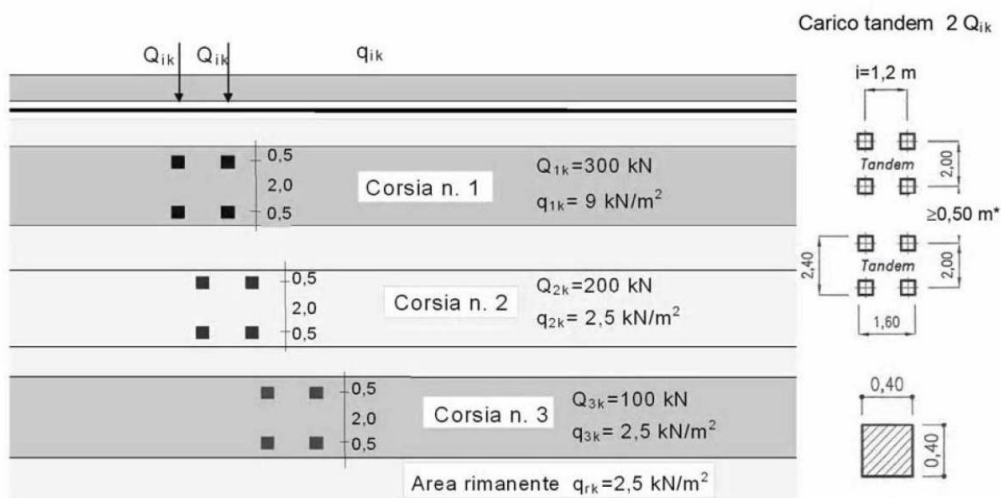


Figura 3 – Schema di carico 1

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  $Q_{1k}$  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  $q_{1k}$  di 9 kN/m<sup>2</sup> uniformemente distribuito;
- una seconda colonna di carichi (ingombro = 3 m), analoga alla precedente, ma con carichi pari rispettivamente a 400 kN di  $Q_{1k}$  e 2.5 kN/m<sup>2</sup> di  $q_{1k}$  e posta ad interasse di 3.00 m. da essa;

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 23 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

- 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/m<sup>2</sup> di q1k e posta ad interasse di 3.00 m. da essa;
- un carico uniforme qrk = 2.5 kN/m<sup>2</sup> nella zona di carreggiata non impegnata dai carichi precedenti.

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

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/m<sup>2</sup>, mentre sul lato corsia 3, il carico aggiuntivo è pari a 2.5 KN/m<sup>2</sup>.

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:

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

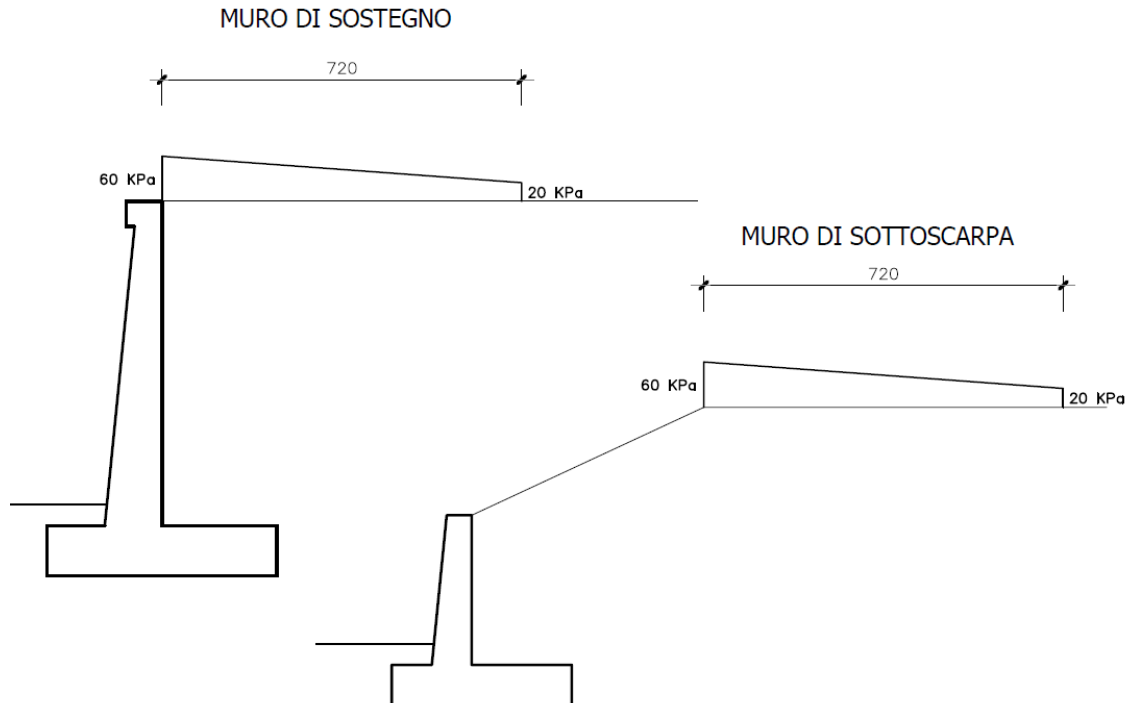
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 24 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------



Schemi Carico Azioni da traffico Veicolare

### 9.4 AZIONI ECCEZIONALI (URTO VEICOLO IN SVIO)

Per il caso dei muri di sostegno, essendo prevista l'installazione del sicurvia in corrispondenza della sezione di testa, si è tenuto conto della eventuale presenza di un'azione eccezionale rappresentativa dell'urto di un veicolo in svio, valutata in accordo a quanto specificato al prg 3.6.3.3.2 del DM 14.01.08. Ipotizzando pertanto, in analogia a quanto assunto al paragrafo precedente che l'azione d'urto chiami a collaborare un tratto di muro di estensione longitudinale pari a 5m, risulta:

<b>F<sub>tot</sub> =</b>	<b>100.0</b>	KN	
<b>h<sub>in</sub> =</b>	<b>1.5</b>	m	(altezza da testa muro)
<b>M<sub>tm</sub> =</b>	<b>150.0</b>	KNm	
<b>Riepilogo azioni a testa muro / m =</b>			
<b>L<sub>d</sub> =</b>	<b>5.0</b>	m	(lunghezza di diffusione)
<b>q<sub>h</sub> =</b>	<b>20</b>	KN/m	(azione orizzontale per metro di muro)
<b>m<sub>h</sub> =</b>	<b>30</b>	KNm/m	(momento ribaltante per metro di muro)

Tale azione v'è considerata agente solo per i muri di sostegno e non per quelli di controripa.



Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 25 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

## 9.5 AZIONE SISMICA

Per la Valutazione degli effetti dell'azione sismica sulle masse e sui coefficienti di spinta del terreno, si è fatto riferimento al metodo pseudo-statico previsto al punto 7.1.1.3.5.2 - "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  $\beta_m$  assume i valori riportati nella Tab. 7.11-II.

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

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_m$	$\beta_m$
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	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  $\beta_m$  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:  
 $a_g/g = 0.206$ ;  
 $a_{max}/g = 0.285$   
 $\beta_m = 1$ ;  
 $k_h = 0.285$



## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 26 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 27 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 9.5.1 Forze d'inerzia

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

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

$F_v = \pm 0.5 K_h \cdot W_i$  (Forza d'inerzia legata alla componente verticale del sisma)

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

### 9.5.2 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  $F_h$  e  $F_v$ .

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

### 9.5.3 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

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 28 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

## 10. COMBINAZIONI DI CALCOLO

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

*Simbologia adottata*

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

$\gamma$  Coefficiente di partecipazione della condizione

$\Psi$  Coefficiente di combinazione della condizione

### Combinazione n° 1 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 29 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 30 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

# 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 DI TIPO 1

### 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 inviluppi delle sollecitazioni nel muro, sulla fondazione e nei pali.

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

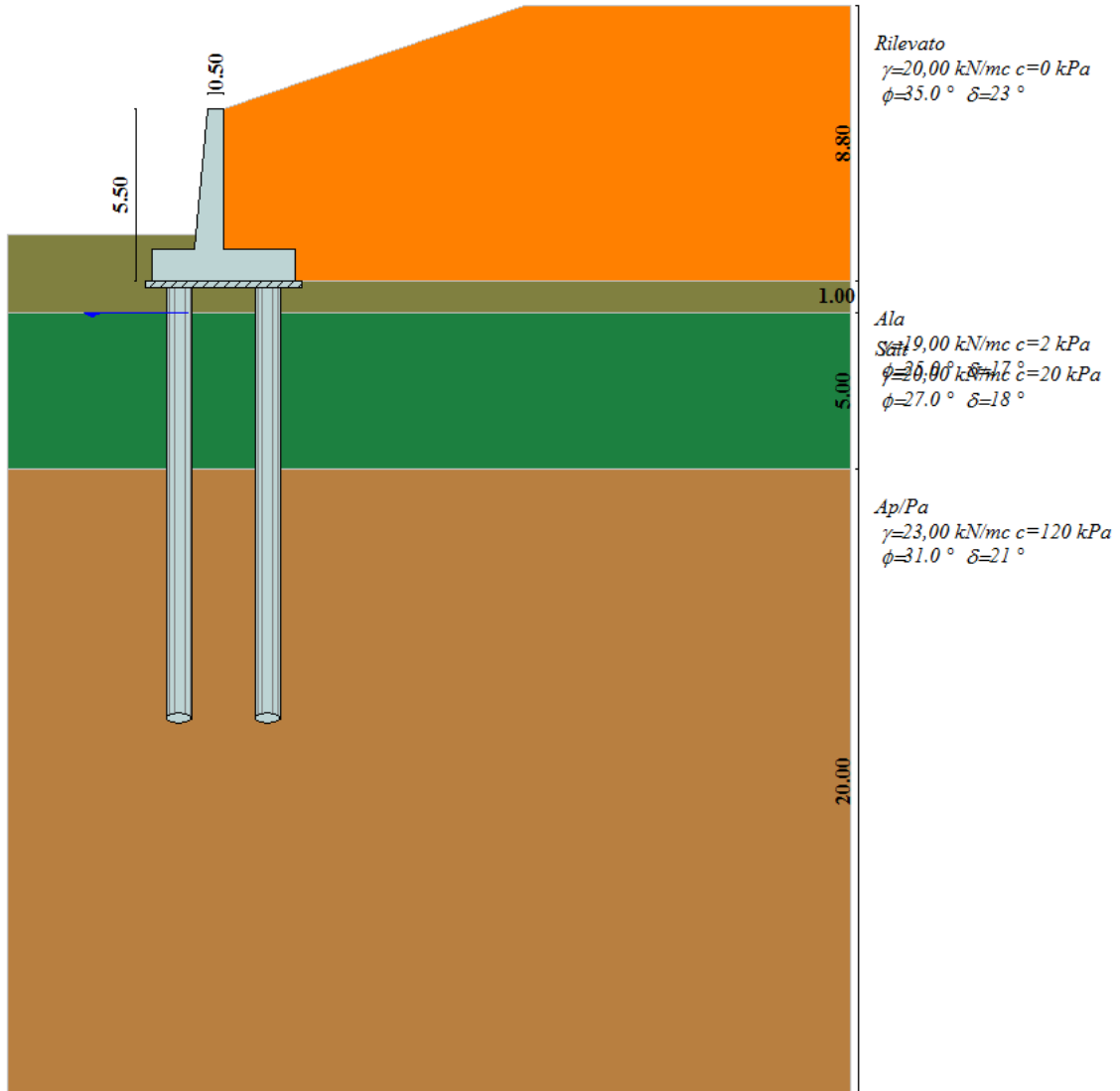
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 31 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------



Modello di calcolo muro su PALLI



**QUADRILATERO**  
Marche Umbria S.p.A.

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

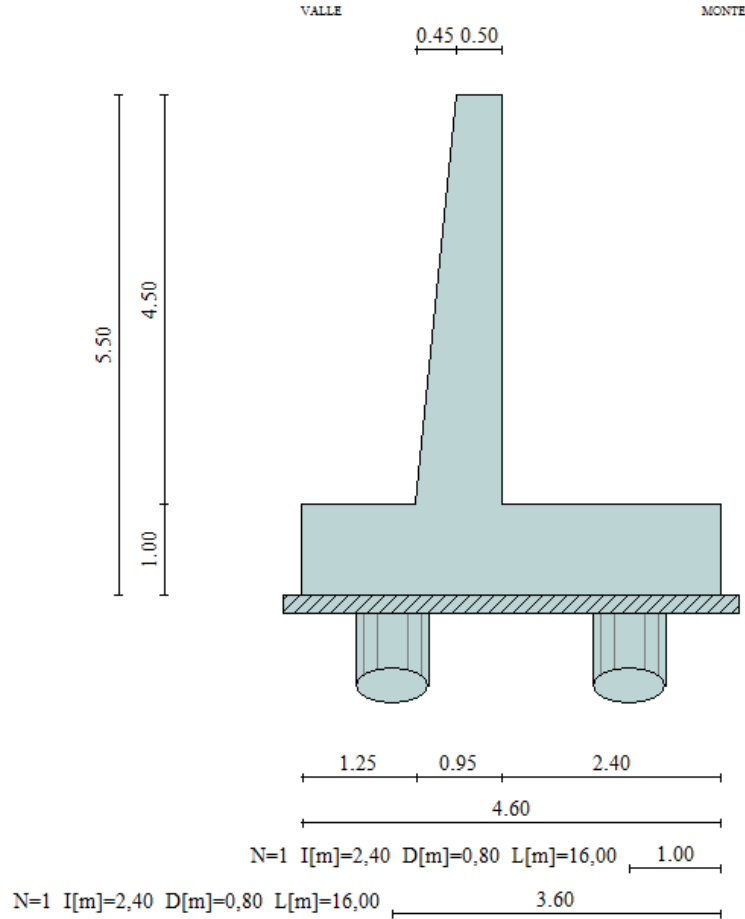
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 32 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------



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	SLEF - [1]	--	--	--	--	--	250,2619	0,0000

Azioni risultanti sul muro



## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

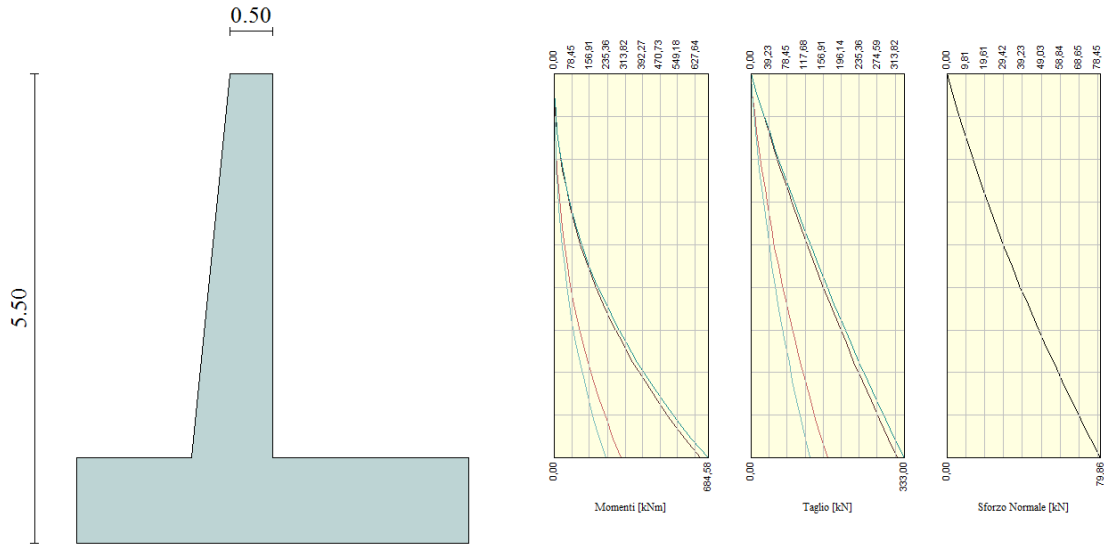
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 33 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------



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 sottscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 34 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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'inviluppo delle sollecitazioni nel paramento e nella fondazione ed i risultati delle verifiche strutturali.

#### Inviluppo Sollecitazioni paramento

##### 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	0,4254	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

##### 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	0,3236	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

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 35 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

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
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 origine in testa al muro

B	base della sezione espressa in [m]
H	altezza della sezione espressa in [m]
A <sub>fs</sub>	area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [mq]
A <sub>fi</sub>	area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [mq]
σ <sub>c</sub>	tensione nel calcestruzzo espressa in [kPa]
τ <sub>c</sub>	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [kPa]
σ <sub>fs</sub>	tensione nell'armatura disposta sul lembo di monte in [kPa]
σ <sub>fi</sub>	tensione nell'armatura disposta sul lembo di valle in [kPa]
N <sub>u</sub>	sfuerzo normale ultimo espresso in [kN]
M <sub>u</sub>	momento ultimo espresso in [kNm]
CS	coefficiente sicurezza sezione
VRd	Resistenza al taglio, espresso in [kN]

#### Inviluppo SLU

Nr.	Y	B, H	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	CS	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>
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 <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>	τ <sub>c</sub>	σ <sub>fs</sub>	σ <sub>fi</sub>
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

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 36 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

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
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	3088858
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 <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	CS	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>
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 <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>	τ <sub>c</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>fs</sub>
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 <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	CS	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>
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	--	--

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 37 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

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	--	--
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 <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>	τ <sub>c</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>fs</sub>
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<sub>fs</sub> area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [mq]

A<sub>fi</sub> area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [mq]

M<sub>pf</sub> Momento di prima fessurazione espressa in [kNm]

M Momento agente nella sezione espressa in [kNm]

ε<sub>m</sub> deformazione media espressa in [%]

S<sub>m</sub> Distanza media tra le fessure espressa in [mm]

w Apertura media della fessura espressa in [mm]

### Verifica fessurazione paramento

N°	Y	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	M <sub>pf</sub>	M	ε <sub>m</sub>	S <sub>m</sub>	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

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 38 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

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
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 <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	M <sub>pf</sub>	M	ε <sub>m</sub>	S <sub>m</sub>	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 <sub>Ed</sub>	b	h	V <sub>Rd</sub>	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

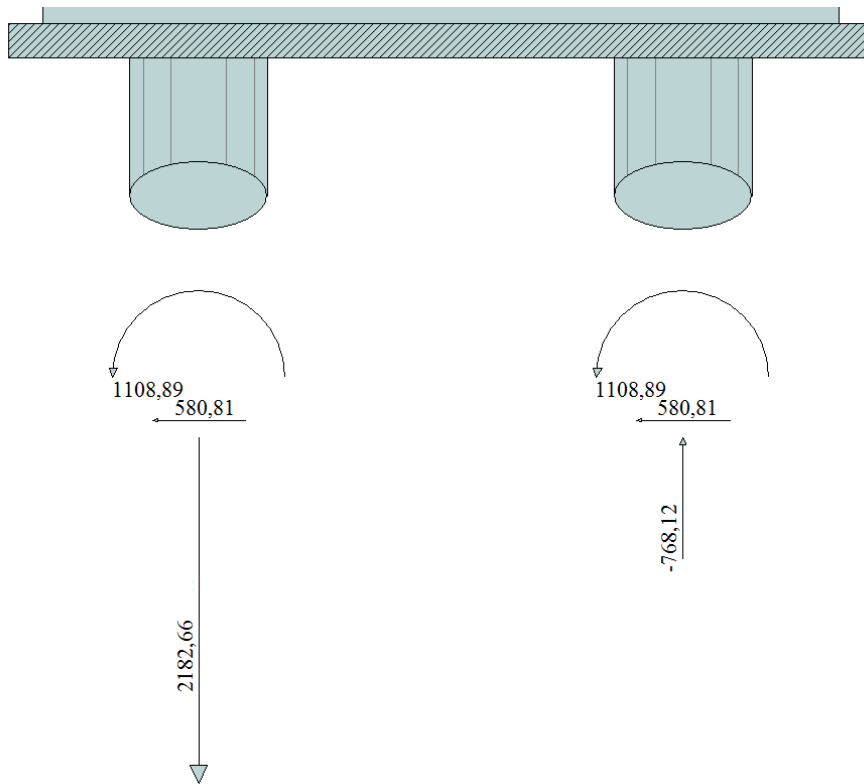
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 39 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------



Sollecitazioni massime testa palo – SLU

Verifica a pressoflessione - SLU		
$M_{Ed,Max}$	$M_{Rd}$	c.s. Flessione
[kNm]	[kNm]	[-]
1109	1142	1.03

Verifica a taglio - SLU		
$V_{Ed,Max}$	$V_{Rd}$	c.s. Taglio
[kNm]	[kNm]	[-]
580	670	1.16

Verifica tensionale - SLE		
Combo Rara		
$M_{Ed,Max}$	$\sigma_{C,MAX}$	$\sigma_{S,MIN}$
[kNm]	[MPa]	[MPa]
423	8.3	-160

Verifica a fessurazione - SLE			
Combo QP		Combo F	
$M_{Ed,Max}$	w	$M_{Ed,Max}$	w
[kNm]	[mm]	[kNm]	[mm]
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 **Lpali = 14.00m**.

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 40 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

## 11.2 RISULTATI ANALISI E VERIFICHE MURI DI TIPO 2

### 11.2.1 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

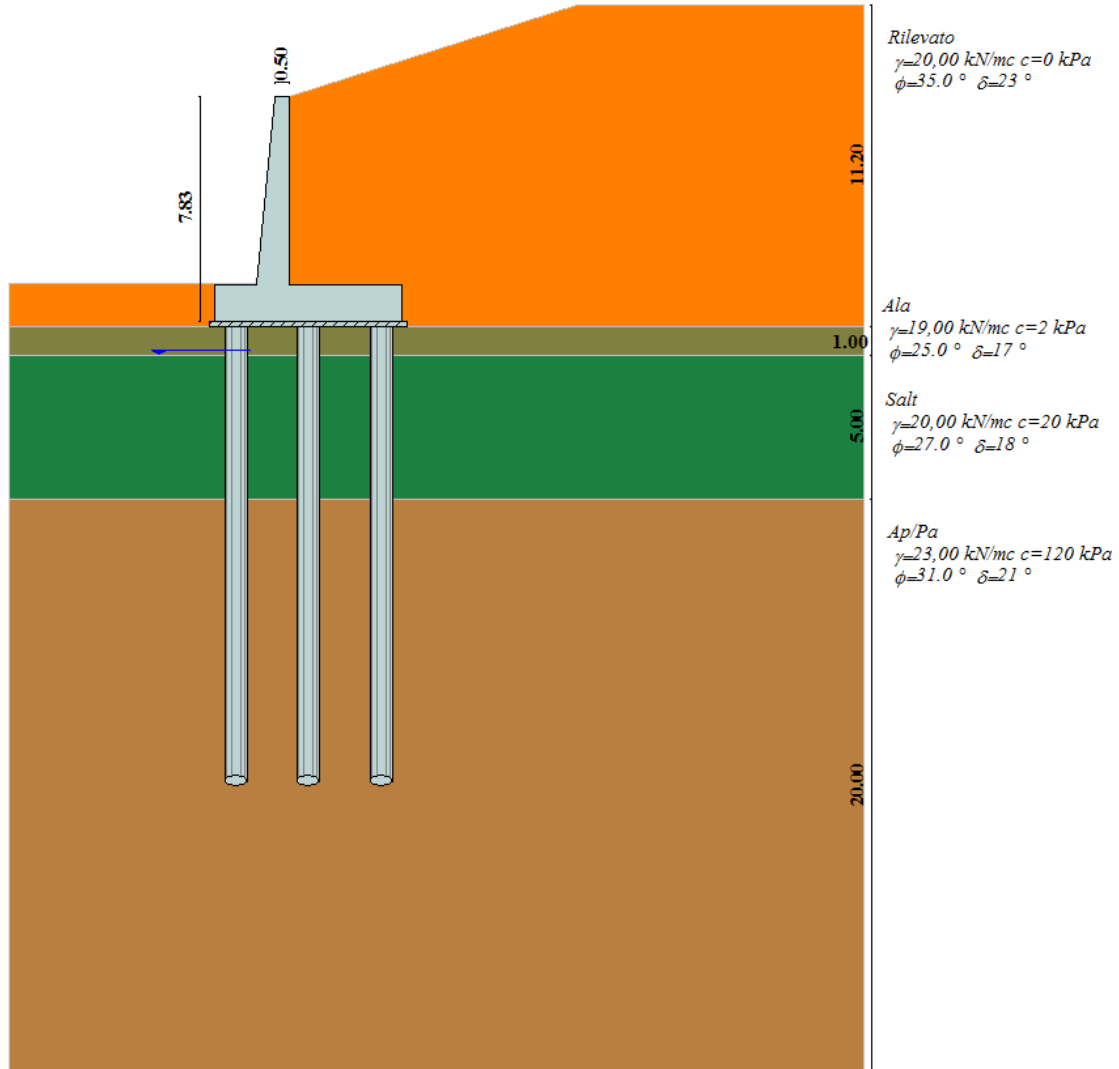
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

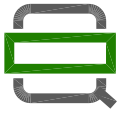
Muri di sottoscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 41 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------



Modello di calcolo muro su PALLI



**QUADRILATERO**  
Marche Umbria S.p.A.

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

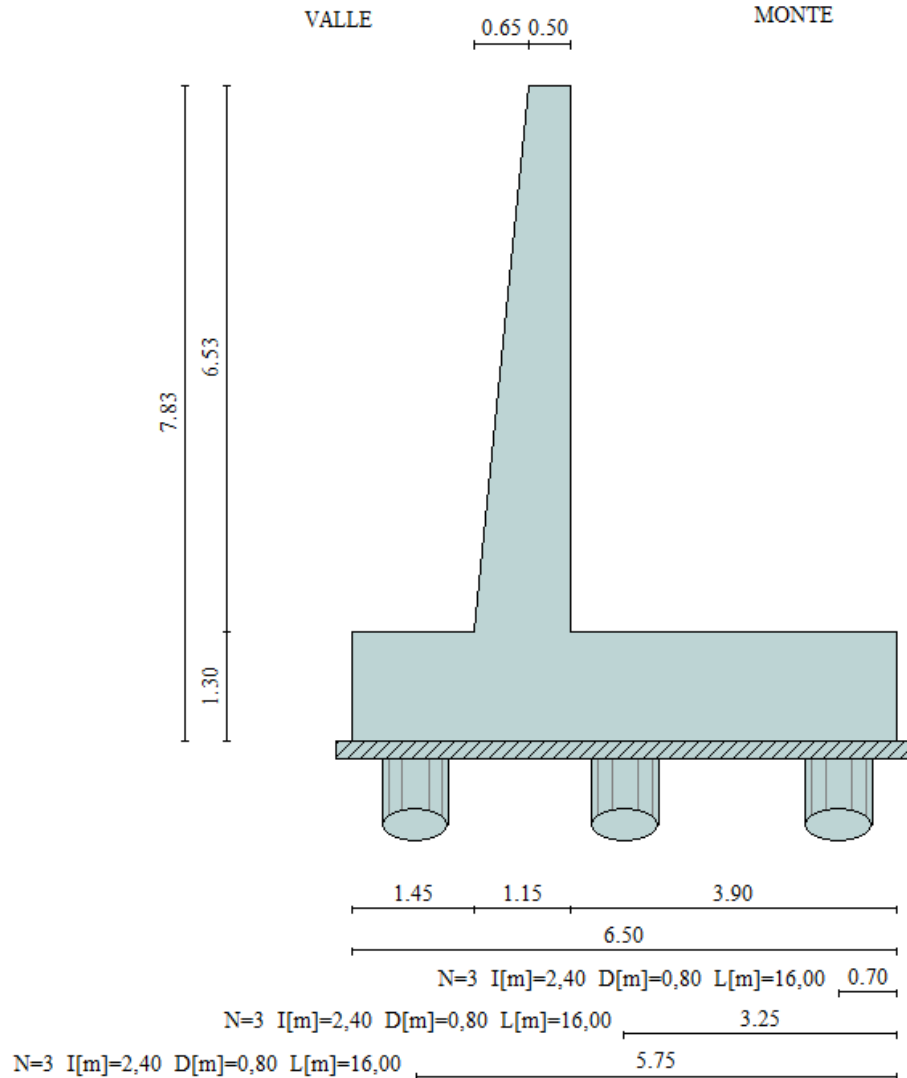
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 42 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------



Geometria muro

Comb.	Tipo comb.	Sisma	FS (ribalt)	FS (scorr)	FS (qult)	FS (stab)	Spinta[kN]	Incr. sism.[kN]
1	A1-M1 - [1]	--	--	--	--	--	505,0767	0,0000
2	A1-M1 - [2]	--	--	--	--	--	549,2607	0,0000
3	A1-M1 - [3]	SismaH + SismaV positivo	--	--	--	--	388,5205	356,9118
4	A1-M1 - [3]	SismaH + SismaV negativo	--	--	--	--	388,5205	289,9647
5	A1-M1 - [4]	SismaH + SismaV positivo	--	--	--	--	388,5205	356,9118
6	SLEQ - [1]	--	--	--	--	--	388,5205	0,0000
7	SLEF - [1]	--	--	--	--	--	409,1950	0,0000
8	SLER - [1]	--	--	--	--	--	417,3159	0,0000

Azioni risultanti sul muro

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

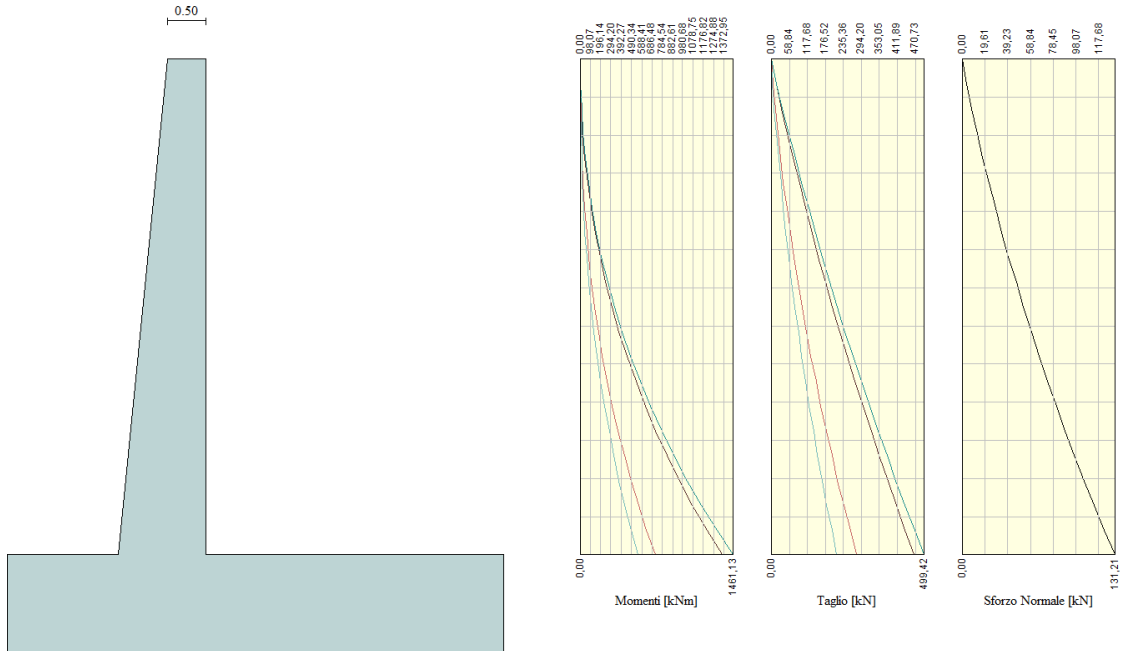
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 43 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------



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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 44 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 11.2.2 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	1 $\phi$ 24/10	1 $\phi$ 22/20	FONDAZIONE	1 $\phi$ 24/10	1 $\phi$ 24/10+1 $\phi$ 24/20

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'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	0,33	4,1128	4,1128	1,0177	2,9816	6,5990	18,6648
3	0,65	8,4833	8,4833	4,2401	12,0699	13,9916	38,0032
4	0,98	13,1114	13,1114	9,9193	27,4782	22,1666	58,0068
5	1,30	17,9971	17,9971	18,3047	49,4179	31,1214	78,6734
6	1,63	23,1404	23,1404	29,6453	78,1003	40,8558	100,0030
7	1,95	28,5413	28,5413	44,1905	113,7367	51,3701	121,9956
8	2,27	34,1999	34,1999	62,1895	156,5385	62,6641	144,6513
9	2,60	40,1161	40,1161	83,8915	206,7168	74,7378	167,9700
10	2,93	46,2899	46,2899	109,5457	264,4829	87,5913	191,9518
11	3,25	52,7214	52,7214	139,4012	330,0481	101,2245	216,5965
12	3,58	59,4104	59,4104	173,7074	403,6238	115,6375	241,9044
13	3,90	66,3571	66,3571	212,7134	485,4211	130,8302	267,8752
14	4,23	73,5614	73,5614	256,6684	575,6514	146,8027	294,5091
15	4,55	81,0234	81,0234	305,8217	674,5260	163,5549	321,8060
16	4,88	88,7429	88,7429	360,4224	782,2561	181,0868	349,7660
17	5,20	96,7201	96,7201	420,7198	899,0530	199,3985	378,3890
18	5,53	104,9549	104,9549	486,9631	1025,1279	218,4900	407,6750
19	5,85	113,4474	113,4474	559,4015	1160,6923	238,3612	437,6241
20	6,17	122,1974	122,1974	638,2841	1305,9572	259,0121	468,2362
21	6,50	131,2051	131,2051	723,8495	1461,1258	280,3180	499,4154

##### 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	0,33	4,1128	4,1128	0,7752	0,7752	5,0762	5,0762
3	0,65	8,4833	8,4833	3,2304	3,2304	10,7628	10,7628
4	0,98	13,1114	13,1114	7,5586	7,5586	17,0512	17,0512
5	1,30	17,9971	17,9971	13,9505	13,9505	23,9395	23,9395
6	1,63	23,1404	23,1404	22,5969	22,5969	31,4276	31,4276
7	1,95	28,5413	28,5413	33,6885	33,6885	39,5155	39,5155

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 45 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

8	2,27	34,1999	34,1999	47,4161	47,4161	48,2031	48,2031
9	2,60	40,1161	40,1161	63,9703	63,9703	57,4906	57,4906
10	2,93	46,2899	46,2899	83,5420	83,5420	67,3779	67,3779
11	3,25	52,7214	52,7214	106,3219	106,3219	77,8650	77,8650
12	3,58	59,4104	59,4104	132,5006	132,5006	88,9519	88,9519
13	3,90	66,3571	66,3571	162,2689	162,2689	100,6386	100,6386
14	4,23	73,5614	73,5614	195,8176	195,8176	112,9251	112,9251
15	4,55	81,0234	81,0234	233,3373	233,3373	125,8114	125,8114
16	4,88	88,7429	88,7429	275,0189	275,0189	139,2975	139,2975
17	5,20	96,7201	96,7201	321,0529	321,0529	153,3835	153,3835
18	5,53	104,9549	104,9549	371,6303	371,6303	168,0692	168,0692
19	5,85	113,4474	113,4474	426,9416	426,9416	183,3547	183,3547
20	6,17	122,1974	122,1974	487,1777	487,1777	199,2401	199,2401
21	6,50	131,2051	131,2051	552,5208	552,5208	215,6292	215,6292

### 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 <sub>fs</sub>	area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [mq]
A <sub>fi</sub>	area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [mq]
σ <sub>c</sub>	tensione nel calcestruzzo espressa in [kPa]
τ <sub>c</sub>	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [kPa]
σ <sub>fs</sub>	tensione nell'armatura disposta sul lembo di monte in [kPa]
σ <sub>fi</sub>	tensione nell'armatura disposta sul lembo di valle in [kPa]
N <sub>u</sub>	sforzo normale ultimo espresso in [kN]
M <sub>u</sub>	momento ultimo espresso in [kNm]
CS	coefficiente sicurezza sezione
VRd	Resistenza al taglio, espresso in [kN]

#### Inviluppo SLU

Nr.	Y	B, H	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	CS	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>
1	0,00	1,00, 0,50	0,000000	0,000000	0,00	0,00	1000,00	173,53	--	--
2	0,33	1,00, 0,53	0,004524	0,001901	1047,43	-960,34	254,67	277,20	--	--
3	0,65	1,00, 0,56	0,004524	0,001901	525,09	-944,22	61,90	286,31	--	--
4	0,98	1,00, 0,60	0,004524	0,001901	370,22	-980,00	28,24	295,25	--	--
5	1,30	1,00, 0,63	0,004524	0,001901	296,38	-1027,25	16,47	304,03	--	--
6	1,63	1,00, 0,66	0,004524	0,001901	253,40	-1078,88	10,95	312,68	--	--
7	1,95	1,00, 0,69	0,004524	0,001901	225,45	-1132,66	7,90	321,22	--	--
8	2,27	1,00, 0,73	0,004524	0,001901	205,94	-1187,66	6,02	329,64	--	--
9	2,60	1,00, 0,76	0,004524	0,001901	191,62	-1243,41	4,78	337,96	--	--
10	2,93	1,00, 0,79	0,004524	0,001901	180,74	-1299,67	3,90	346,19	--	--
11	3,25	1,00, 0,82	0,004524	0,001901	172,24	-1356,29	3,27	354,33	--	--
12	3,58	1,00, 0,86	0,004524	0,001901	165,46	-1413,16	2,79	362,40	--	--
13	3,90	1,00, 0,89	0,004524	0,001901	159,96	-1470,23	2,41	370,40	--	--
14	4,23	1,00, 0,92	0,004524	0,001901	155,43	-1527,46	2,11	378,34	--	--
15	4,55	1,00, 0,95	0,004524	0,001901	151,66	-1584,81	1,87	386,22	--	--
16	4,88	1,00, 0,99	0,004524	0,001901	148,50	-1642,27	1,67	394,04	--	--
17	5,20	1,00, 1,02	0,004524	0,001901	145,83	-1699,82	1,51	401,82	--	--
18	5,53	1,00, 1,05	0,004524	0,001901	143,56	-1757,42	1,37	409,55	--	--
20	6,17	1,00, 1,12	0,004524	0,001901	139,95	-1872,82	1,15	424,90	--	--
21	6,50	1,00, 1,15	0,004524	0,001901	138,51	-1930,60	1,06	432,52	--	--

#### Inviluppo SLE

Nr.	Y	B, H	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>	τ <sub>c</sub>	σ <sub>fs</sub>	σ <sub>fi</sub>
1	0,00	1,00, 0,50	0,000000	0,000000	0	0	0	0
2	0,33	1,00, 0,53	0,004524	0,001901	26	16	185	-341

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 46 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

3	0,65	1,00, 0,56	0,004524	0,001901	88	31	1239	-1127
4	0,98	1,00, 0,60	0,004524	0,001901	180	46	3164	-2279
5	1,30	1,00, 0,63	0,004524	0,001901	296	61	5898	-3744
6	1,63	1,00, 0,66	0,004524	0,001901	434	75	9398	-5486
7	1,95	1,00, 0,69	0,004524	0,001901	590	90	13625	-7472
8	2,27	1,00, 0,73	0,004524	0,001901	762	104	18552	-9680
9	2,60	1,00, 0,76	0,004524	0,001901	948	118	24153	-12088
10	2,93	1,00, 0,79	0,004524	0,001901	1148	133	30410	-14681
11	3,25	1,00, 0,82	0,004524	0,001901	1359	147	37306	-17443
12	3,58	1,00, 0,86	0,004524	0,001901	1581	161	44827	-20364
13	3,90	1,00, 0,89	0,004524	0,001901	1814	175	52960	-23432
14	4,23	1,00, 0,92	0,004524	0,001901	2056	189	61697	-26640
15	4,55	1,00, 0,95	0,004524	0,001901	2307	202	71028	-29979
16	4,88	1,00, 0,99	0,004524	0,001901	2566	216	80946	-33442
17	5,20	1,00, 1,02	0,004524	0,001901	2833	230	91444	-37025
18	5,53	1,00, 1,05	0,004524	0,001901	3108	244	102517	-40721
20	6,17	1,00, 1,12	0,004524	0,001901	3679	271	126367	-48437
21	6,50	1,00, 1,15	0,004524	0,001901	3974	284	139133	-52447

### 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 <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	CS	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>
1	0,00	1,00, 1,30	0,002262	0,000000	0,00	-1073,57	1,67	367,73	--	--
2	0,17	1,00, 1,30	0,002262	0,000000	0,00	-1073,57	0,07	367,73	--	--
3	0,35	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	42,91	505,97	--	--
4	0,55	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	20,19	505,97	--	--
5	0,75	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	2157,11	11,25	505,97	--	--
6	0,95	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	2157,11	7,22	505,97	--	--
7	1,15	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	2157,11	4,67	505,97	--	--
8	1,45	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	2157,11	2,03	505,97	--	--

#### Inviluppo SLE

Nr.	X	B, H	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>	τ <sub>c</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>fs</sub>
9	0,00	1,00, 1,30	0,002262	0,000000	966	7	0	6029
10	0,17	1,00, 1,30	0,002262	0,000000	21503	27	0	134250
11	0,35	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	82	63	4162	2770
12	0,55	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	172	103	8780	3876
13	0,75	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	308	236	15729	-3980
14	0,95	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	480	361	24476	-6193
15	1,15	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	744	482	37961	-9604
16	1,45	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	1737	473	88576	-22411

#### 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 <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	CS	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>
1	0,00	1,00, 1,30	0,002262	0,000000	0,00	1,34	0,55	367,73	--	--
2	0,30	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	154,38	367,73	--	--
3	0,50	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	57,97	505,97	--	--
4	0,70	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	29,57	505,97	--	--
5	0,90	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	17,77	505,97	--	--
6	1,10	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	11,89	505,97	--	--
7	1,32	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	8,24	505,97	--	--

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 47 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

8	1,54	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	6,10	505,97	--	--
9	1,76	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	4,81	367,73	--	--
10	1,98	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	3,92	367,73	--	--
11	2,19	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	3,28	505,97	--	--
12	2,41	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	2,79	505,97	--	--
13	2,63	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	2,42	505,97	--	--
14	2,85	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	2,10	505,97	--	--
15	3,05	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	1,88	505,97	--	--
16	3,25	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	1,72	505,97	--	--
17	3,45	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	1,60	505,97	--	--
18	3,65	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	1,51	505,97	--	--
19	3,90	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	1,37	505,97	--	--

Inviluppo SLE

Nr.	X	B, H	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>	τ <sub>c</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>fs</sub>
20	0,00	1,00, 1,30	0,002262	0,000000	3512	0	0	21930
21	0,30	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	39	0	-527	1425
22	0,50	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	97	0	-1299	3510
23	0,70	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	137	0	-1829	4944
24	0,90	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	168	0	-2241	6055
25	1,10	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	179	6	-2395	6471
26	1,32	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	227	0	-3040	8214
27	1,54	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	310	0	-4144	11198
28	1,76	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	418	0	-5590	15106
29	1,98	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	555	0	-7420	20051
30	2,19	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	720	0	-9635	26036
31	2,41	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	911	0	-12191	32943
32	2,63	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	1124	0	-15030	40615
33	2,85	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	1422	0	-19017	51387
34	3,05	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	1692	0	-22638	61174
35	3,25	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	1883	0	-25190	68070
36	3,45	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	2004	0	-26811	72450
37	3,65	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	2130	56	-28494	76997
38	3,90	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	2560	52	-34243	92533

### Verifica fessurazione paramento

N°	Y	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	M <sub>pf</sub>	M	ε <sub>m</sub>	s <sub>m</sub>	w
1	0,00	0,000000	0,000000	-58,83	0,00	0,0000	0,00	0,000
2	0,33	0,004524	0,001901	-90,13	-0,78	0,0000	0,00	0,000
3	0,65	0,004524	0,001901	-100,35	-3,23	0,0000	0,00	0,000
4	0,98	0,004524	0,001901	-111,08	-7,56	0,0000	0,00	0,000
5	1,30	0,004524	0,001901	-122,30	-13,95	0,0000	0,00	0,000
6	1,63	0,004524	0,001901	-134,02	-22,60	0,0000	0,00	0,000
7	1,95	0,004524	0,001901	-146,23	-33,69	0,0000	0,00	0,000
8	2,27	0,004524	0,001901	-158,94	-47,42	0,0000	0,00	0,000
9	2,60	0,004524	0,001901	-172,15	-63,97	0,0000	0,00	0,000
10	2,93	0,004524	0,001901	-185,85	-83,54	0,0000	0,00	0,000
11	3,25	0,004524	0,001901	-200,05	-106,32	0,0000	0,00	0,000
12	3,58	0,004524	0,001901	-214,75	-132,50	0,0000	0,00	0,000
13	3,90	0,004524	0,001901	-229,94	-162,27	0,0000	0,00	0,000
14	4,23	0,004524	0,001901	-245,62	-195,82	0,0000	0,00	0,000
15	4,55	0,004524	0,001901	-261,80	-233,34	0,0000	0,00	0,000
16	4,88	0,004524	0,001901	-278,48	-275,02	0,0000	0,00	0,000
17	5,20	0,004524	0,001901	-295,65	-321,05	0,0205	97,64	0,034
18	5,53	0,004524	0,001901	-313,32	-371,63	0,0231	97,64	0,038
19	5,85	0,000000	0,000000	-276,46	-426,94	100000,0000	1000,00	1000,000
20	6,17	0,004524	0,001901	-350,15	-487,18	0,0329	97,64	0,055
21	6,50	0,004524	0,001901	-369,30	-552,52	0,0385	97,64	0,064

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 48 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### Verifica fessurazione fondazione

N°	Y	A <sub>rs</sub>	A <sub>ri</sub>	M <sub>pr</sub>	M	ε <sub>m</sub>	S <sub>m</sub>	w
1	-2,60	0,002262	0,000000	-428,11	-0,48	0,0000	0,00	0,000
2	-2,42	0,002262	0,000000	404,93	9,03	0,0000	0,00	0,000
3	-2,25	0,006786	0,004524	480,94	21,67	0,0000	0,00	0,000
4	-2,05	0,006786	0,004524	480,94	45,70	0,0000	0,00	0,000
5	-1,85	0,006786	0,004524	480,94	81,87	0,0000	0,00	0,000
6	-1,65	0,006786	0,004524	480,94	127,38	0,0000	0,00	0,000
7	-1,45	0,006786	0,004524	480,94	197,60	0,0000	0,00	0,000
8	-1,15	0,006786	0,004524	480,94	461,47	0,0000	0,00	0,000
9	0,00	0,006786	0,004524	-504,74	-706,45	0,0329	81,68	0,046
10	0,25	0,006786	0,004524	-504,74	-585,65	0,0232	81,68	0,032
11	0,45	0,006786	0,004524	-504,74	-550,25	0,0204	81,68	0,028
12	0,65	0,006786	0,004524	-504,74	-516,69	0,0192	81,68	0,027
13	0,85	0,006786	0,004524	-504,74	-463,65	0,0000	0,00	0,000
14	1,05	0,006786	0,004524	-504,74	-388,22	0,0000	0,00	0,000
15	1,27	0,006786	0,004524	-504,74	-305,32	0,0000	0,00	0,000
16	1,49	0,006786	0,004524	-504,74	-246,63	0,0000	0,00	0,000
17	1,71	0,006786	0,004524	-504,74	-193,95	0,0000	0,00	0,000
18	1,92	0,006786	0,004524	-504,74	-148,54	0,0000	0,00	0,000
19	2,14	0,006786	0,004524	-504,74	-111,30	0,0000	0,00	0,000
20	2,36	0,006786	0,004524	-504,74	-82,18	0,0000	0,00	0,000
21	2,58	0,006786	0,004524	-504,74	-60,26	0,0000	0,00	0,000
22	2,80	0,006786	0,004524	-504,74	-48,20	0,0000	0,00	0,000
23	3,00	0,006786	0,004524	-504,74	-46,40	0,0000	0,00	0,000
24	3,20	0,006786	0,004524	-504,74	-38,57	0,0000	0,00	0,000
25	3,40	0,006786	0,004524	-504,74	-27,57	0,0000	0,00	0,000
26	3,60	0,006786	0,004524	-504,74	-11,19	0,0000	0,00	0,000
27	3,90	0,002262	0,000000	404,93	1,52	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 <sub>Ed</sub>	b	h	V <sub>Rd</sub>	ESITO	Armatura a taglio
[-]	[kN]	[cm]	[cm]	[kN]	[-]	[-]
Paramento	500	100	115	645	verificato	Spilli Φ14/40x40
Fondazione	1423	100	130	1640	verificato	Φ20/20

### VERIFICHE STRUTTURALI PALI DI FONDAZIONE

Per i pali di fondazione si prevedono le seguenti armature:

- Gabbia superiore 29φ26 e staffa a spirale φ14/10
- Gabbia inferiore 18φ20 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

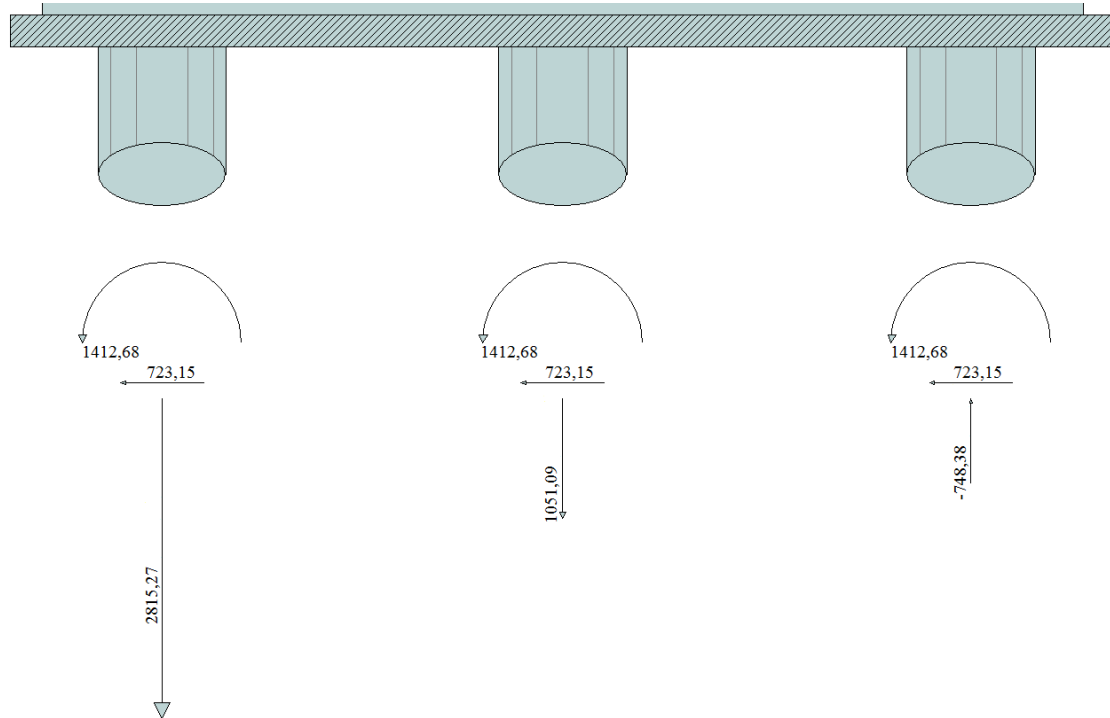
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 49 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------



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]	[-]
1412	1454	1.03	723	1097	1.52

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]
597	9.8	-204	514	0.178	576	0.209

### 11.2.3 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

$$N_{Ed,Max} = 2815 \text{ kN}; N_{Ed,Min} = -748 \text{ kN}$$

In definitiva si è assunto per il muro **Lpali = 16.00m**.

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 50 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

## 11.3 RISULTATI ANALISI E VERIFICHE MURI DI TIPO 3

### 11.3.1 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

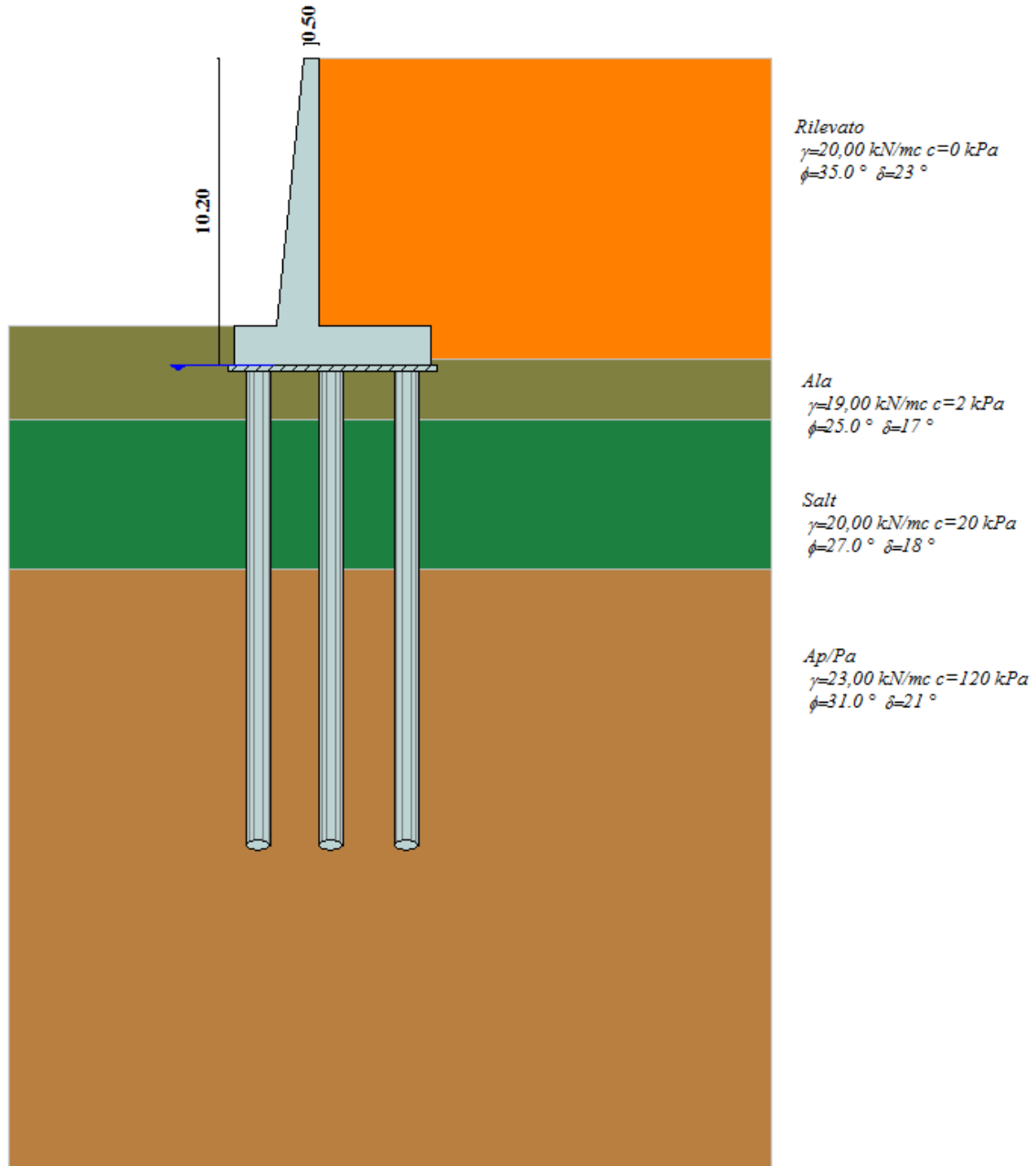
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 51 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------



Modello di calcolo muro su PALI



**QUADRILATERO**  
Marche Umbria S.p.A.

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

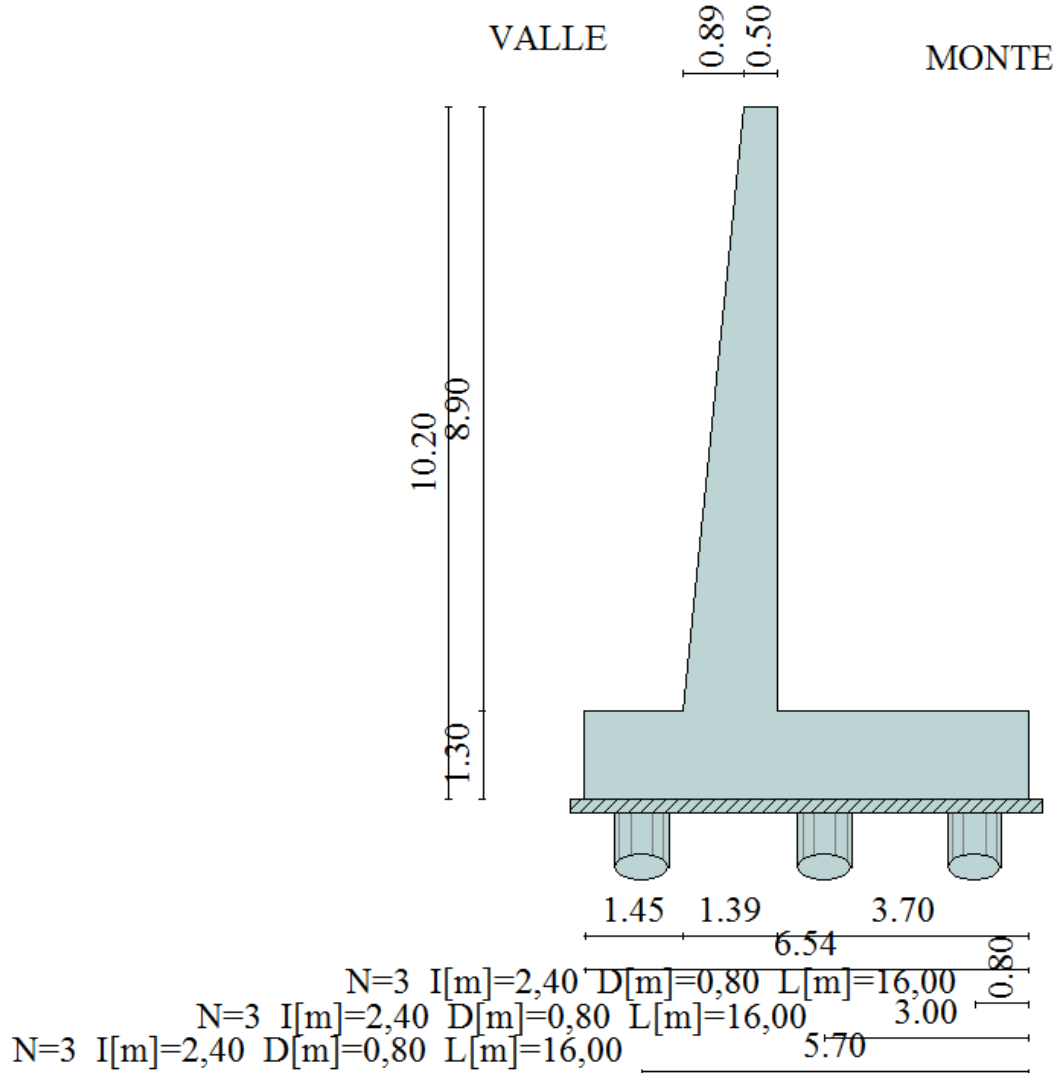
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 52 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------



Geometria muro

Comb.	Tipo comb.	Sisma	FS (ribalt)	FS (scorr)	FS (qult)	FS (stab)	Spinta[kN]	Incr. sism.[kN]
1	A1-M1 - [1]	--	--	--	--	--	528,7974	0,0000
2	A1-M1 - [2]	--	--	--	--	--	609,8976	0,0000
3	A1-M1 - [3]	--	--	--	--	--	528,7974	0,0000
4	A1-M1 - [4]	SismaH + SismaV negativo	--	--	--	--	406,6325	265,1487
5	A1-M1 - [4]	SismaH + SismaV positivo	--	--	--	--	406,6325	339,2107
6	SLEQ - [1]	--	--	--	--	--	406,6325	0,0000
7	SLEF - [1]	--	--	--	--	--	446,4931	0,0000
8	SLER - [1]	--	--	--	--	--	460,3475	0,0000

Azioni risultanti sul muro

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

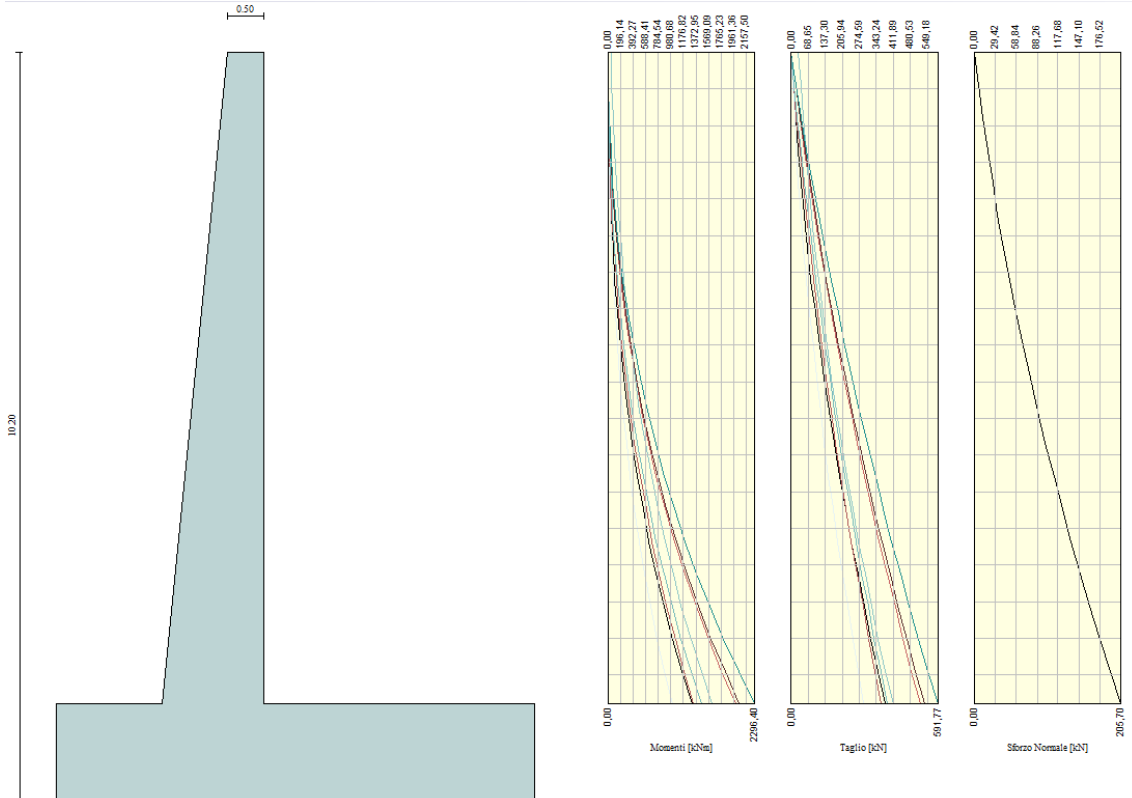
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottoscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 53 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------



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 sottoscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 54 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 11.3.2 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	1φ24/10	1φ22/20	FONDAZIONE	1φ24/10	1φ24/10+1φ24/20

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'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	45,0000	0,0000	30,0000
2	0,45	5,6965	5,6965	1,6995	60,0495	8,1141	38,1141
3	0,89	11,8761	11,8761	7,1374	78,8374	17,3959	47,3959
4	1,33	18,5386	18,5386	16,8204	101,8704	27,8355	63,0886
5	1,78	25,6841	25,6841	31,2522	129,6522	39,4305	86,1372
6	2,23	33,3126	33,3126	50,9362	162,6862	52,1811	110,1932
7	2,67	41,4241	41,4241	76,3758	201,4758	66,0871	135,2566
8	3,12	50,0186	50,0186	108,0742	246,5242	81,1485	161,3273
9	3,56	59,0960	59,0960	146,5350	311,4040	97,3655	188,4053
10	4,00	68,6565	68,6565	192,2615	400,0324	114,7378	216,4908
11	4,45	78,7000	78,7000	245,7571	501,1642	133,2657	245,5835
12	4,90	89,2264	89,2264	307,5251	615,2369	152,9490	275,6837
13	5,34	100,2358	100,2358	378,0689	742,6880	173,7878	306,7912
14	5,79	111,7283	111,7283	457,8920	883,9549	195,7820	338,9061
15	6,23	123,7037	123,7037	547,4978	1039,4752	218,9318	372,0283
16	6,67	136,1621	136,1621	647,3895	1209,6863	243,2369	406,1579
17	7,12	149,1035	149,1035	758,0706	1395,0258	268,6976	441,2949
18	7,57	162,5279	162,5279	880,0445	1595,9310	295,3137	477,4392
19	8,01	176,4353	176,4353	1013,8145	1812,8394	323,0852	514,5909
20	8,46	190,8257	190,8257	1159,8841	2046,1886	352,0123	552,7500
21	8,90	205,6991	205,6991	1318,7346	2296,3992	381,9099	591,7742

##### 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	0,45	5,6965	5,6965	1,2928	2,6129	6,2416	12,1535
3	0,89	11,8761	11,8761	5,4308	10,6737	13,3814	25,0786
4	1,33	18,5386	18,5386	12,8013	24,5119	21,4119	38,7604
5	1,78	25,6841	25,6841	23,7892	44,4522	30,3312	53,1958
6	2,23	33,3126	33,3126	38,7792	70,8193	40,1393	68,3853
7	2,67	41,4241	41,4241	58,1560	103,9380	50,8362	84,3294

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 55 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

8	3,12	50,0186	50,0186	82,3044	144,1336	62,4219	101,0286
9	3,56	59,0960	59,0960	111,6090	191,7312	74,8965	118,4832
10	4,00	68,6565	68,6565	146,4547	247,0564	88,2599	136,6935
11	4,45	78,7000	78,7000	187,2261	310,4346	102,5121	155,6598
12	4,90	89,2264	89,2264	234,3080	382,1915	117,6531	175,3825
13	5,34	100,2358	100,2358	288,0851	462,6531	133,6829	195,8618
14	5,79	111,7283	111,7283	348,9421	552,1452	150,6016	217,0978
15	6,23	123,7037	123,7037	417,2637	650,9938	168,4090	239,0908
16	6,67	136,1621	136,1621	493,4348	759,5251	187,1053	261,8410
17	7,12	149,1035	149,1035	577,8399	878,0652	206,6904	285,3485
18	7,57	162,5279	162,5279	670,8638	1006,9404	227,1644	309,6136
19	8,01	176,4353	176,4353	772,8914	1146,4770	248,5271	334,6363
20	8,46	190,8257	190,8257	884,3072	1297,0015	270,7787	360,4167
21	8,90	205,6991	205,6991	1005,4791	1458,8257	293,7768	386,8336

### 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 <sub>fs</sub>	area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [mq]
A <sub>fi</sub>	area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [mq]
σ <sub>c</sub>	tensione nel calcestruzzo espressa in [kPa]
τ <sub>c</sub>	tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [kPa]
σ <sub>fs</sub>	tensione nell'armatura disposta sul lembo di monte in [kPa]
σ <sub>fi</sub>	tensione nell'armatura disposta sul lembo di valle in [kPa]
N <sub>u</sub>	sforzo normale ultimo espresso in [kN]
M <sub>u</sub>	momento ultimo espresso in [kNm]
CS	coefficiente sicurezza sezione
VRd	Resistenza al taglio, espresso in [kN]

#### Inviluppo SLU

Nr.	Y	B, H	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	CS	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>
2	0,45	1,00, 0,54	0,004524	0,001901	78,97	-832,42	13,86	280,59	--	--
3	0,89	1,00, 0,59	0,004524	0,001901	138,90	-922,08	11,70	292,92	--	--
4	1,33	1,00, 0,63	0,004524	0,001901	184,02	-1011,23	9,93	304,97	--	--
5	1,78	1,00, 0,68	0,004524	0,001901	217,85	-1099,72	8,48	316,77	--	--
6	2,23	1,00, 0,72	0,004524	0,001901	243,16	-1187,51	7,30	328,35	--	--
7	2,67	1,00, 0,77	0,004524	0,001901	262,07	-1274,65	6,33	339,74	--	--
8	3,12	1,00, 0,81	0,004524	0,001901	276,18	-1361,18	5,52	350,96	--	--
9	3,56	1,00, 0,86	0,004524	0,001901	273,90	-1443,29	4,63	362,03	--	--
10	4,00	1,00, 0,90	0,004524	0,001901	261,20	-1521,92	3,80	372,97	--	--
11	4,45	1,00, 0,94	0,004524	0,001901	251,42	-1601,03	3,19	383,80	--	--
12	4,90	1,00, 0,99	0,004524	0,001901	243,72	-1680,49	2,73	394,52	--	--
13	5,34	1,00, 1,03	0,004524	0,001901	237,56	-1760,21	2,37	405,16	--	--
14	5,79	1,00, 1,08	0,004524	0,001901	232,58	-1840,10	2,08	415,71	--	--
15	6,23	1,00, 1,12	0,004524	0,001901	228,51	-1920,20	1,85	426,19	--	--
16	6,67	1,00, 1,17	0,004524	0,001901	225,17	-2000,45	1,65	436,61	--	--
17	7,12	1,00, 1,21	0,004524	0,001901	222,40	-2080,84	1,49	446,97	--	--
18	7,57	1,00, 1,26	0,004524	0,001901	220,11	-2161,35	1,35	457,29	--	--
19	8,01	1,00, 1,30	0,004524	0,001901	218,20	-2241,97	1,24	467,56	--	--
21	8,90	1,00, 1,39	0,004524	0,001901	215,29	-2403,49	1,05	488,01	--	--

#### Inviluppo SLE

Nr.	Y	B, H	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>	τ <sub>c</sub>	σ <sub>fs</sub>	σ <sub>fi</sub>
1	0,00	1,00, 0,50	0,000000	0,000000	0	0	0	0
2	0,45	1,00, 0,54	0,004524	0,001901	59	28	796	-754
3	0,89	1,00, 0,59	0,004524	0,001901	199	54	3754	-2489

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 56 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

4	1,33	1,00, 0,63	0,004524	0,001901	393	77	8525	-4928
5	1,78	1,00, 0,68	0,004524	0,001901	628	98	14826	-7896
6	2,23	1,00, 0,72	0,004524	0,001901	891	118	22451	-11269
7	2,67	1,00, 0,77	0,004524	0,001901	1177	137	31246	-14961
8	3,12	1,00, 0,81	0,004524	0,001901	1479	154	41092	-18908
9	3,56	1,00, 0,86	0,004524	0,001901	1795	171	51899	-23063
10	4,00	1,00, 0,90	0,004524	0,001901	2122	187	63593	-27391
11	4,45	1,00, 0,94	0,004524	0,001901	2457	203	76118	-31864
12	4,90	1,00, 0,99	0,004524	0,001901	2800	218	89426	-36463
13	5,34	1,00, 1,03	0,004524	0,001901	3149	232	103481	-41170
14	5,79	1,00, 1,08	0,004524	0,001901	3504	246	118249	-45975
15	6,23	1,00, 1,12	0,004524	0,001901	3863	260	133706	-50865
16	6,67	1,00, 1,17	0,004524	0,001901	4227	274	149830	-55835
17	7,12	1,00, 1,21	0,004524	0,001901	4595	287	166601	-60877
18	7,57	1,00, 1,26	0,004524	0,001901	4966	300	184004	-65986
19	8,01	1,00, 1,30	0,004524	0,001901	5341	313	202026	-71157
21	8,90	1,00, 1,39	0,004524	0,001901	6100	338	239877	-81674

### 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 <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	CS	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>
1	0,00	1,00, 1,30	0,002262	0,000000	0,00	-1073,57	1,04	367,73	--	--
2	0,22	1,00, 1,30	0,002262	0,000000	0,00	-1073,57	0,07	367,73	--	--
3	0,44	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	37,81	505,97	--	--
4	0,64	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	17,81	505,97	--	--
5	0,84	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	2157,11	10,12	505,97	--	--
6	1,04	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	2157,11	6,49	505,97	--	--
7	1,24	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	2157,11	3,71	505,97	--	--
8	1,45	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	2157,11	1,90	505,97	--	--

#### Inviluppo SLE

Nr.	X	B, H	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>	τ <sub>c</sub>	σ <sub>fs</sub>	σ <sub>fs</sub>
9	0,00	1,00, 1,30	0,002262	0,000000	1659	7	0	10355
10	0,22	1,00, 1,30	0,002262	0,000000	21671	32	0	135299
11	0,44	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	106	79	5132	3844
12	0,64	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	213	130	10889	5226
13	0,84	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	376	300	19180	-4853
14	1,04	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	587	458	29924	-7571
15	1,24	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	1038	612	52931	-13392
16	1,45	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	2055	605	104834	-26524

#### 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 <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	CS	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>
1	0,00	1,00, 1,30	0,002262	0,000000	0,00	1,34	1,13	367,73	--	--
2	0,20	1,00, 1,30	0,002262	0,000000	0,00	-1073,57	1,11	367,73	--	--
3	0,40	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	100,83	505,97	--	--
4	0,60	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	41,96	505,97	--	--
5	0,80	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	22,56	505,97	--	--
6	1,00	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	13,96	505,97	--	--
7	1,20	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	9,50	505,97	--	--



## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 57 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

8	1,41	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	6,74	505,97	--	--
9	1,63	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	5,05	367,73	--	--
10	1,84	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	4,01	367,73	--	--
11	2,05	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	3,29	505,97	--	--
12	2,26	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	2,77	505,97	--	--
13	2,47	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	2,37	505,97	--	--
14	2,69	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	2,05	505,97	--	--
15	2,90	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	1,78	505,97	--	--
16	3,10	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	1,59	505,97	--	--
17	3,30	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	1,46	505,97	--	--
18	3,50	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	1,36	505,97	--	--
19	3,70	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	0,00	-3202,97	1,24	505,97	--	--

Inviluppo SLE

Nr.	X	B, H	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>	τ <sub>c</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>fs</sub>
20	0,00	1,00, 1,30	0,002262	0,000000	2283	0	0	14253
21	0,20	1,00, 1,30	0,002262	0,000000	1345	0	0	8396
22	0,40	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	91	0	-1219	3293
23	0,60	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	189	0	-2525	6824
24	0,80	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	249	0	-3337	9018
25	1,00	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	286	0	-3831	10354
26	1,20	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	284	19	-3804	10278
27	1,41	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	327	1	-4369	11805
28	1,63	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	423	0	-5654	15278
29	1,84	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	552	0	-7384	19953
30	2,05	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	720	0	-9634	26033
31	2,26	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	928	0	-12415	33548
32	2,47	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	1172	0	-15679	42369
33	2,69	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	1463	0	-19569	52881
34	2,90	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	1874	0	-25066	67734
35	3,10	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	2241	0	-29974	80995
36	3,30	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	2485	0	-33236	89811
37	3,50	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	2732	36	-36538	98734
38	3,70	1,00, 1,30	0,006786	0,004524	3252	176	-43502	117552

### Verifica fessurazione paramento

N°	Y	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	M <sub>pr</sub>	M	ε <sub>m</sub>	s <sub>m</sub>	w
1	0,00	0,000000	0,000000	-58,83	0,00	0,0000	0,00	0,000
2	0,45	0,004524	0,001901	-93,84	-1,29	0,0000	0,00	0,000
3	0,89	0,004524	0,001901	-108,23	-5,43	0,0000	0,00	0,000
4	1,33	0,004524	0,001901	-123,54	-12,80	0,0000	0,00	0,000
5	1,78	0,004524	0,001901	-139,78	-23,79	0,0000	0,00	0,000
6	2,23	0,004524	0,001901	-156,96	-38,78	0,0000	0,00	0,000
7	2,67	0,004524	0,001901	-175,06	-58,16	0,0000	0,00	0,000
8	3,12	0,004524	0,001901	-194,09	-82,30	0,0000	0,00	0,000
9	3,56	0,004524	0,001901	-214,06	-111,61	0,0000	0,00	0,000
10	4,00	0,004524	0,001901	-234,95	-146,45	0,0000	0,00	0,000
11	4,45	0,004524	0,001901	-256,77	-187,23	0,0000	0,00	0,000
12	4,90	0,004524	0,001901	-279,52	-234,31	0,0000	0,00	0,000
13	5,34	0,004524	0,001901	-303,20	-288,09	0,0000	0,00	0,000
14	5,79	0,004524	0,001901	-327,81	-348,94	0,0207	97,64	0,034
15	6,23	0,004524	0,001901	-353,35	-417,26	0,0238	97,64	0,039
16	6,67	0,004524	0,001901	-379,82	-493,43	0,0286	97,64	0,047
17	7,12	0,004524	0,001901	-407,21	-577,84	0,0354	97,64	0,059
18	7,57	0,004524	0,001901	-435,54	-670,86	0,0424	97,64	0,070
19	8,01	0,004524	0,001901	-464,79	-772,89	0,0496	97,64	0,082

### Verifica fessurazione fondazione

N°	Y	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	M <sub>pr</sub>	M	ε <sub>m</sub>	s <sub>m</sub>	w
1	-2,84	0,002262	0,000000	-428,11	-0,71	0,0000	0,00	0,000
2	-2,62	0,002262	0,000000	404,93	8,04	0,0000	0,00	0,000
3	-2,40	0,006786	0,004524	-504,74	-26,61	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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 58 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

4	-2,20	0,006786	0,004524	480,94	49,87	0,0000	0,00	0,000
5	-2,00	0,006786	0,004524	480,94	87,88	0,0000	0,00	0,000
6	-1,80	0,006786	0,004524	480,94	137,16	0,0000	0,00	0,000
7	-1,60	0,006786	0,004524	480,94	243,38	0,0000	0,00	0,000
8	-1,39	0,006786	0,004524	480,94	483,97	0,0263	97,64	0,044
9	0,00	0,006786	0,004524	-504,74	-746,44	0,0360	81,68	0,050
10	0,20	0,006786	0,004524	-504,74	-627,40	0,0267	81,68	0,037
11	0,40	0,006786	0,004524	-504,74	-574,42	0,0223	81,68	0,031
12	0,60	0,006786	0,004524	-504,74	-520,89	0,0193	81,68	0,027
13	0,80	0,006786	0,004524	-504,74	-436,75	0,0000	0,00	0,000
14	1,01	0,006786	0,004524	-504,74	-341,34	0,0000	0,00	0,000
15	1,23	0,006786	0,004524	-504,74	-274,47	0,0000	0,00	0,000
16	1,44	0,006786	0,004524	-504,74	-218,21	0,0000	0,00	0,000
17	1,65	0,006786	0,004524	-504,74	-170,05	0,0000	0,00	0,000
18	1,86	0,006786	0,004524	-504,74	-130,92	0,0000	0,00	0,000
19	2,07	0,006786	0,004524	-504,74	-100,68	0,0000	0,00	0,000
20	2,29	0,006786	0,004524	-504,74	-78,04	0,0000	0,00	0,000
21	2,50	0,006786	0,004524	-504,74	-67,80	0,0000	0,00	0,000
22	2,70	0,006786	0,004524	-504,74	-67,96	0,0000	0,00	0,000
23	2,90	0,006786	0,004524	-504,74	-59,00	0,0000	0,00	0,000
24	3,10	0,006786	0,004524	-504,74	-44,53	0,0000	0,00	0,000
25	3,30	0,006786	0,004524	-504,74	-21,48	0,0000	0,00	0,000
26	3,50	0,002262	0,000000	-428,11	-6,04	0,0000	0,00	0,000
27	3,70	0,002262	0,000000	404,93	0,82	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 <sub>Ed</sub>	b	h	V <sub>Rd</sub>	ESITO	Armatura a taglio
[-]	[kN]	[cm]	[cm]	[kN]	[-]	[-]
Paramento	591	100	130	1090	verificato	Spilli $\Phi 14/40 \times 40$
Fondazione	1250	100	135	1353	verificato	$\Phi 2020$

### VERIFICHE STRUTTURALI PALI DI FONDAZIONE

Per i pali di fondazione si prevedono le seguenti armature:

- Gabbia superiore 29 $\phi 26$  e staffa a spirale  $\phi 14/10$
- Gabbia inferiore 18 $\phi 20$  e staffa a spirale  $\phi 14/20$

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

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

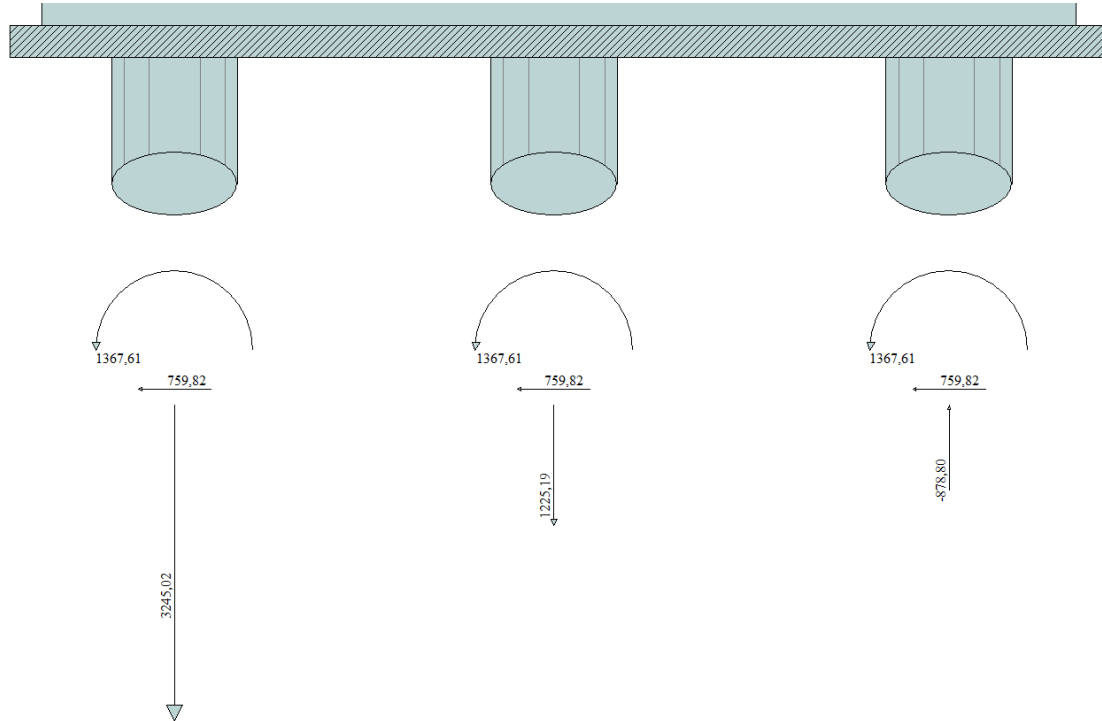
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muri di sottscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 59 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------



Sollecitazioni massime testa palo – SLU

Verifica a pressoflessione - SLU		
$M_{Ed,Max}$	$M_{Rd}$	c.s. Flessione
[kNm]	[kNm]	[-]
1368	1395	1.02

Verifica a taglio - SLU		
$V_{Ed,Max}$	$V_{Rd}$	c.s. Taglio
[kNm]	[kNm]	[-]
759	1097	1.44

Verifica tensionale - SLE		
Combo Rara		
$M_{Ed,Max}$	$\sigma_{C,MAX}$	$\sigma_{S,MIN}$
[kNm]	[MPa]	[MPa]
636	10.9	-173.4

Verifica a fessurazione - SLE			
Combo QP		Combo F	
$M_{Ed,Max}$	w	$M_{Ed,Max}$	w
[kNm]	[mm]	[kNm]	[mm]
560	0.188	617	0.209

### 11.3.3 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

$N_{Ed,Max} = 3245$  kN;  $N_{Ed,Min} = -878$  kN

In definitiva si è assunto per il muro **Lpali = 16.00m**.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 60 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 11.4 VERIFICA LOCALE DEL CORDOLO PER AZIONI D'URTO

In questo paragrafo sono riportati i risultati ottenuti dalle verifiche locali dei cordoli che ospitano le barriere di sicurezza. Le azioni di progetto sono state definite secondo le indicazioni del paragrafo 3.6.3.3.2 delle NTC08. Il carico di progetto è costituito da una forza orizzontale di  $F=100$  KN, applicata alla quota minima fra 1,0 m sopra il piano di marcia e 100 mm sotto la sommità della barriera.

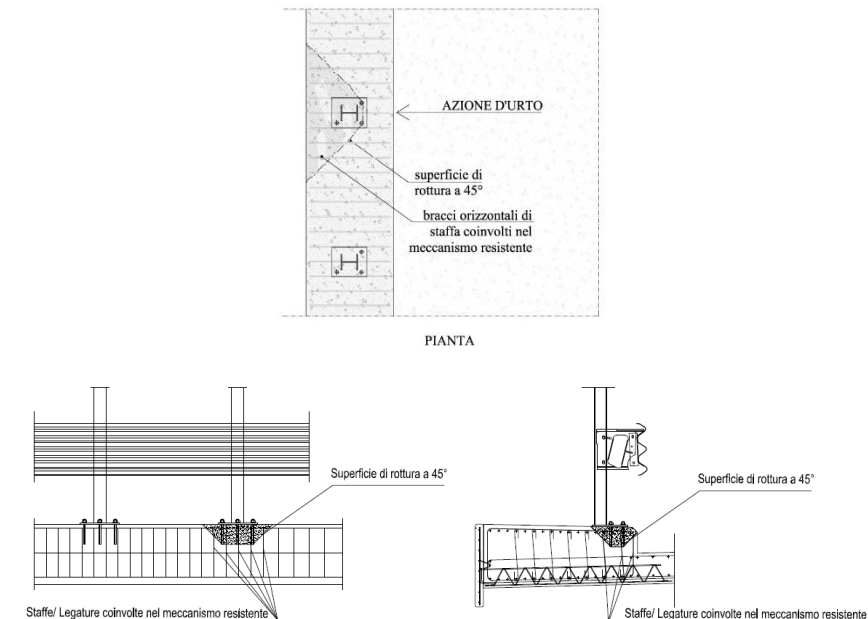
Nel caso in esame si assume che la forza agisca ad una distanza  $d= 0.90$  m dalla base della barriera. Lo spessore del cordolo è pari ad  $s = 0.50$ .

#### Verifica delle staffe disposte all'interno del cordolo

La funzione di tali staffe è duplice:

- Equilibrare l'azione orizzontale  $F$ ;
- Equilibrare la trazione dei tirafondi della barriera nel meccanismo di pull out.

La forza orizzontale  $F$  è equilibrata dalle barre  $\Phi 14/20$  che sono sempre presenti all'interno del cono di rottura evidenziato nella seguente figura.



**Figura 4 – Meccanismi di rottura locali per azioni d'urto**

La trazione  $T_d$  dei tirafondi della barriera è equilibrata dai bracci verticali delle staffe e dalle legature.

Ipotizzando un braccio di leva delle forze interne della piastra di base della barriera pari a 0.22 m e un'altezza della forza d'urto sopra tale piastra di 0.90 m, si stima  $T_d$  come:

$$T_d = 0.90m \cdot N / 0.22m = 409 \text{ kN}$$



**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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 61 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

Avendo disposto le staffe e legature  $\Phi 14/20$  ed ipotizzando una lunghezza dei tirafondi di almeno 19 cm (nonché l'interasse tra i due tirafondi tesi di 0.15 m), risulta che i bracci verticali compresi nel cono di rottura sono disposti su 3 filari per un numero complessivo pari a:

$$n = 3 \cdot (2 \cdot 0.15 \text{ m} + 2 \cdot 0.19 \text{ m}) / 20 \text{ cm} = 10.2 \text{ bracci}$$

che corrisponde ad una trazione resistente pari a :

$$T_r = n \cdot 154.1 \cdot f_{yd} \cdot 10^{-3} = 614 \text{ kN} > T_d$$



**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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 62 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

# ALLEGATO 1

## TABULATI DI CALCOLO MURO 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 63 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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 OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 64 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

## 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  $\gamma$ . 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  $\rho$  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  $\varepsilon$  l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e  $\beta$  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,  $\theta$  assume le seguenti espressioni:

Terreno a bassa permeabilità

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

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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 65 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

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

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  $\theta$ .

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  $\eta_g$

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

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

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 66 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

In questa espressione  $n$  è il numero delle strisce considerate,  $b_i$  e  $\alpha_i$  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  $\phi_i$  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  $\eta$ . Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per  $\eta$  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  $\phi$  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  $\eta_p$  ed il coefficiente di sicurezza della portanza per attrito laterale  $\eta_l$ .

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,  $\gamma$  è il peso specifico del terreno,  $D$  è il diametro del palo ed i coefficienti  $N'_c$ ,  $N'_q$ ,  $N'_\gamma$  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  $\eta$  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:  $K_0 = 1 - \sin\phi$ .

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 67 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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  $\tau_a$  è dato dalla nota relazione di Coulomb

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

dove  $c_a$  è l'adesione palo-terreno,  $\delta$  è l'angolo di attrito palo-terreno,  $\gamma$  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  $\text{Kg/cm}^2$ ) 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 rigidezza 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 rigidezze.

La piastra di fondazione viene considerata infinitamente rigida (3 gradi di libertà) ed i pali vengono considerati incastri 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 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  $3 \times 3$ ) 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.

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 68 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### Normativa

#### N.T.C. 2008 - Approccio 2

##### Simbologia adottata

$\gamma_{Gsfav}$	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{Gfav}$	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{Qsfav}$	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{Qfav}$	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{tan\phi'}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
$\gamma_c$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
$\gamma_{cu}$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
$\gamma_{qu}$	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
$\gamma_\gamma$	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	$\gamma_{Gfav}$	1,00	1,00	0,90	0,90
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,30	1,00	1,10	1,30
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	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	$\gamma_c$		1,00	1,25	1,25	1,00
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$		1,00	1,40	1,40	1,00
Resistenza a compressione uniaxiale	$\gamma_{qu}$		1,00	1,60	1,60	1,00
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$		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	$\gamma_{Gfav}$	1,00	1,00	1,00	0,90
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,00	1,00	1,00	1,30
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	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	$\gamma_c$		1,00	1,25	1,25	1,00
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$		1,00	1,40	1,40	1,00
Resistenza a compressione uniaxiale	$\gamma_{qu}$		1,00	1,60	1,60	1,00
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$		1,00	1,00	1,00	1,00

#### FONDAZIONE SUPERFICIALE

##### Coefficienti parziali $\gamma_R$ 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	



**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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 69 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### PALI DI FONDAZIONE

CARICHI VERTICALI. Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche dei pali

#### Pali trivellati

		R1	R2	R3
Punta	$\gamma_b$	1,00	1,70	1,35
Laterale compressione	$\gamma_s$	1,00	1,45	1,15
Totale compressione	$\gamma_t$	1,00	1,60	1,30
Laterale trazione	$\gamma_{st}$	1,00	1,60	1,25

CARICHI TRASVERSALI. Coefficienti parziali  $\gamma_T$  per le verifiche dei pali.

	R1	R2	R3
$\gamma_T$	1,00	1,60	1,30

Coefficienti di riduzione  $\xi$  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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 70 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### Geometria muro e fondazione

#### Descrizione

	<b>Muro a mensola in c.a.</b>
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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 71 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 72 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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 $\sigma_{fa}$	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 $\sigma_{fa}$	449936 [kPa]
Tensione di snervamento $\sigma_{fa}$	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
$\gamma$		Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
$\gamma_s$		Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
$\phi$		Angolo d'attrito interno espresso in [°]
$\delta$		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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 73 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

c Coesione espressa in [kPa]

c<sub>a</sub> Adesione terra-muro espressa in [kPa]

Descrizione	$\gamma$	$\gamma_s$	$\phi$	$\delta$	c	c <sub>a</sub>
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	$\gamma$	$\gamma_s$	$\phi$	$\delta$	c	c <sub>a</sub>
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	$\gamma$	$\gamma_s$	$\phi$	$\delta$	c	c <sub>a</sub>
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



## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 74 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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	$X_i=9,65$	$X_f=17,45$	$Q_i=60,0000$	$Q_f=20,0000$
---	---------	------------	-------------	---------------	---------------

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 75 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### Descrizione combinazioni di carico

#### Simbologia adottata

F/S	Effetto dell'azione (FAV: Favorevole, SFAV: Sfavorevole)
$\gamma$	Coefficiente di partecipazione della condizione
$\Psi$	Coefficiente di combinazione della condizione

#### Combinazione n° 1 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 76 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 77 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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<sub>SCO</sub></i>	Coeff. di sicurezza allo scorrimento
<i>CS<sub>RIB</sub></i>	Coeff. di sicurezza al ribaltamento
<i>CS<sub>QLIM</sub></i>	Coeff. di sicurezza a carico limite
<i>CS<sub>STAB</sub></i>	Coeff. di sicurezza a stabilità globale

<b>C</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sisma</b>	<b>CS<sub>SCO</sub></b>	<b>CS<sub>RIB</sub></b>	<b>CS<sub>QLIM</sub></b>	<b>CS<sub>STAB</sub></b>
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]	--	--	--	--	--

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 78 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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<sup>2</sup>]

Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)

1.19

Coefficiente di amplificazione topografica (St)

1.00

Coefficiente riduzione ( $\beta_m$ )

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)

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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	OS0100	REL	01	A	79 di 193

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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 80 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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 sottoscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 81 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymax</sub>
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 <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 82 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 83 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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 sottoscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 84 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymax</sub>
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 <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 85 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

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]			
<b><u>Risultanti</u></b>					
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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 86 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 87 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymax</sub>
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 <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 88 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

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]			
<b>Risultanti</b>					
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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 89 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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 sottoscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 90 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymax</sub>
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 <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 91 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

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]			
<b>Risultanti</b>					
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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 92 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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 sottoscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 93 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymax</sub>
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 <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 94 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 95 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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 sottoscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 96 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymax</sub>
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 <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 97 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 98 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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 sottoscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 99 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	---------------------------

### 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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymax</sub>
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 <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 100 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 101 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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 sottoscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 102 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymax</sub>
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 <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
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



**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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 103 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

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 sottoscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 104 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 105 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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.

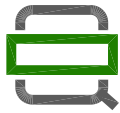
#### Informazioni generali sull'elaborazione

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.



**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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 106 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

# ALLEGATO 2

## TABULATI DI CALCOLO MURO 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 107 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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 OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 108 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

## 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  $\gamma$ . 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  $\rho$  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  $\varepsilon$  l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e  $\beta$  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,  $\theta$  assume le seguenti espressioni:

Terreno a bassa permeabilità

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

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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 109 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

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

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  $\theta$ .

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  $\eta_g$

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 sottoscampa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 110 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

In questa espressione  $n$  è il numero delle strisce considerate,  $b_i$  e  $\alpha_i$  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  $\phi_i$  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  $\eta$ . Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per  $\eta$  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  $\phi$  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  $\eta_p$  ed il coefficiente di sicurezza della portanza per attrito laterale  $\eta_l$ .

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,  $\gamma$  è il peso specifico del terreno,  $D$  è il diametro del palo ed i coefficienti  $N'_c$ ,  $N'_q$ ,  $N'_\gamma$  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  $\eta$  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:  $K_0 = 1 - \sin\phi$ .

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 111 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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  $\tau_a$  è dato dalla nota relazione di Coulomb

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

dove  $c_a$  è l'adesione palo-terreno,  $\delta$  è l'angolo di attrito palo-terreno,  $\gamma$  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  $\text{Kg/cm}^2$ ) 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  $3 \times 3$ ) 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.

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 112 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Normativa

#### N.T.C. 2008 - Approccio 2

##### Simbologia adottata

$\gamma_{Gsfav}$	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{Gfav}$	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{Qsfav}$	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{Qfav}$	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{tan\phi'}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
$\gamma_c$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
$\gamma_{cu}$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
$\gamma_{qu}$	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
$\gamma_\gamma$	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	$\gamma_{Gfav}$	1,00	1,00	0,90	0,90
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,30	1,00	1,10	1,30
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	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	$\gamma_c$	1,00	1,25	1,25	1,00
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$	1,00	1,40	1,40	1,00
Resistenza a compressione uniaxiale	$\gamma_{qu}$	1,00	1,60	1,60	1,00
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	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	$\gamma_{Gfav}$	1,00	1,00	1,00	0,90
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,00	1,00	1,00	1,30
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	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	$\gamma_c$	1,00	1,25	1,25	1,00
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$	1,00	1,40	1,40	1,00
Resistenza a compressione uniaxiale	$\gamma_{qu}$	1,00	1,60	1,60	1,00
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	1,00	1,00	1,00	1,00

#### FONDAZIONE SUPERFICIALE

##### Coefficienti parziali $\gamma_R$ 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	



## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 113 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### PALI DI FONDAZIONE

CARICHI VERTICALI. Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche dei pali

#### Pali trivellati

		R1	R2	R3
Punta	$\gamma_b$	1,00	1,70	1,35
Laterale compressione	$\gamma_s$	1,00	1,45	1,15
Totale compressione	$\gamma_t$	1,00	1,60	1,30
Laterale trazione	$\gamma_{st}$	1,00	1,60	1,25

CARICHI TRASVERSALI. Coefficienti parziali  $\gamma_T$  per le verifiche dei pali.

		R1	R2	R3
	$\gamma_T$	1,00	1,60	1,30

Coefficienti di riduzione  $\xi$  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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 114 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Geometria muro e fondazione

#### Descrizione

Altezza del paramento	6,53 [m]
Spessore in sommità	0,50 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	1,15 [m]
Inclinazione paramento esterno	5,70 [°]
Inclinazione paramento interno	0,00 [°]
Lunghezza del muro	7,20 [m]

#### Muro a mensola in c.a.

#### Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	1,45 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	3,90 [m]
Lunghezza totale fondazione	6,50 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0,00 [°]
Spessore fondazione	1,30 [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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 115 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Descrizione pali di fondazione

Pali in c.a.	
Numero di file di pali	3
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	0,70	3	0,8000	16,00	0,00	Centrati
2	3,25	3	0,8000	16,00	0,00	Centrati
3	5,75	3	0,8000	16,00	0,00	Centrati

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 116 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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 $\sigma_{fa}$	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 $\sigma_{fa}$	449936 [kPa]
Tensione di snervamento $\sigma_{fa}$	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	10,00	3,20	17,74
2	20,00	3,20	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	-1,00	[m]
---	-------	-----

### Descrizione terreni

#### Simbologia adottata

Nr.	Descrizione terreno	Indice del terreno
$\gamma$		Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
$\gamma_s$		Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
$\phi$		Angolo d'attrito interno espresso in [°]
$\delta$		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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 117 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

c Coesione espressa in [kPa]  
 c<sub>a</sub> Adesione terra-muro espressa in [kPa]

Descrizione	$\gamma$	$\gamma_s$	$\phi$	$\delta$	c	c <sub>a</sub>
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	$\gamma$	$\gamma_s$	$\phi$	$\delta$	c	c <sub>a</sub>
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	$\gamma$	$\gamma_s$	$\phi$	$\delta$	c	c <sub>a</sub>
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



## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 118 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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	$X_i=10,00$	$X_f=17,45$	$Q_i=60,0000$	$Q_f=20,0000$
---	---------	-------------	-------------	---------------	---------------

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 119 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Descrizione combinazioni di carico

#### Simbologia adottata

F/S	Effetto dell'azione (FAV: Favorevole, SFAV: Sfavorevole)
$\gamma$	Coefficiente di partecipazione della condizione
$\Psi$	Coefficiente di combinazione della condizione

#### Combinazione n° 1 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 120 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 121 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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<sub>SCO</sub></i>	Coeff. di sicurezza allo scorrimento
<i>CS<sub>RIB</sub></i>	Coeff. di sicurezza al ribaltamento
<i>CS<sub>QLIM</sub></i>	Coeff. di sicurezza a carico limite
<i>CS<sub>STAB</sub></i>	Coeff. di sicurezza a stabilità globale

<b>C</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sisma</b>	<b>CS<sub>SCO</sub></b>	<b>CS<sub>RIB</sub></b>	<b>CS<sub>QLIM</sub></b>	<b>CS<sub>STAB</sub></b>
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]	--	--	--	--	--

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 122 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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<sup>2</sup>]

Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)

1.19

Coefficiente di amplificazione topografica (St)

1.00

Coefficiente riduzione ( $\beta_m$ )

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)

0,0

Lunghezza del muro

7,20 [m]

Peso muro

338,5059 [kN]

Baricentro del muro

X=0,23 Y=-5,80

#### Superficie di spinta

Punto inferiore superficie di spinta

X = 3,90 Y = -7,80

Punto superiore superficie di spinta

X = 3,90 Y = 1,25

Altezza della superficie di spinta

9,05 [m]

Inclinazione superficie di spinta (rispetto alla verticale)

0,00 [°]

#### COMBINAZIONE n° 1

##### **Peso muro favorevole e Peso terrapieno favorevole**

Valore della spinta statica

505,0767 [kN]

Componente orizzontale della spinta statica

463,7696 [kN]

Componente verticale della spinta statica

200,0507 [kN]

Punto d'applicazione della spinta

X = 3,90 [m] Y = -4,17 [m]

Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie

23,33 [°]

Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche

57,07 [°]

Punto d'applicazione della spinta della falda

X = 3,90 [m] Y = -7,80 [m]

Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte

555,6720 [kN]

Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte

X = 2,01 [m] Y = -2,93 [m]

#### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale

463,7696 [kN]

Risultante dei carichi applicati in dir. verticale

1094,2285 [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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 123 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	1094,2285	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	463,7696	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,39	[m]
Lunghezza fondazione reagente	6,50	[m]
Risultante in fondazione	1188,4521	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	22,97	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	422,6700	[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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 124 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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	0,33	4,1128	1,0177	6,5990
3	0,65	8,4833	4,2401	13,9916
4	0,98	13,1114	9,9193	22,1666
5	1,30	17,9971	18,3047	31,1214
6	1,63	23,1404	29,6453	40,8558
7	1,95	28,5413	44,1905	51,3701
8	2,27	34,1999	62,1895	62,6641
9	2,60	40,1161	83,8915	74,7378
10	2,93	46,2899	109,5457	87,5913
11	3,25	52,7214	139,4012	101,2245
12	3,58	59,4104	173,7074	115,6375
13	3,90	66,3571	212,7134	130,8302
14	4,23	73,5614	256,6684	146,8027
15	4,55	81,0234	305,8217	163,5549
16	4,88	88,7429	360,4224	181,0868
17	5,20	96,7201	420,7198	199,3985
18	5,53	104,9549	486,9631	218,4900
19	5,85	113,4474	559,4015	238,3612
20	6,17	122,1974	638,2841	259,0121
21	6,50	131,2051	723,8495	280,3180

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 125 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

#### Combinazione n° 1

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 6.50

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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymax</sub>
1	0,00	-0,5896	0,4724	-15,6488	33,1570
2	0,17	-3,7191	10,8848	-113,0665	85,5785
3	0,35	-25,0182	26,2967	-116,7535	151,6823
4	0,55	-34,6646	55,5864	0,0000	242,5911
5	0,75	0,0000	99,6384	0,0000	418,0071
6	0,95	0,0000	155,1132	0,0000	712,8884
7	1,15	0,0000	240,3566	0,0000	1045,7860
8	1,45	0,0000	558,3464	0,0000	1025,2680
9	2,60	-1258,6104	0,0000	-640,8848	0,0000
10	2,85	-1085,6985	0,0000	-594,3092	0,0000
11	3,05	-1012,6179	0,0000	-491,9366	0,0000
12	3,25	-937,7603	0,0000	-485,4678	0,0000
13	3,45	-843,9527	0,0000	-560,7738	0,0000
14	3,65	-728,1075	0,0000	-687,3692	0,0000
15	3,87	-602,1719	0,0000	-571,9419	0,0000
16	4,09	-502,7939	0,0000	-485,5144	0,0000
17	4,31	-411,3810	0,0000	-419,4452	0,0000
18	4,52	-329,1594	0,0000	-361,5353	0,0000
19	4,74	-257,1535	0,0000	-306,4813	0,0000
20	4,96	-195,5132	0,0000	-262,0113	0,0000
21	5,18	-143,8197	0,0000	-222,5975	0,0000
22	5,40	-102,9337	0,0000	-185,3741	0,0000
23	5,60	-76,8172	0,0000	-152,9032	0,0000
24	5,80	-52,2552	0,0000	-128,1120	0,0000
25	6,00	-30,8920	0,0000	-116,5597	0,0000
26	6,20	-11,5625	0,0000	-107,6156	0,0000
27	6,50	0,0000	1,7917	-18,4566	0,0000

#### Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
1	0,00	-1,0090	3,4006	-23,4792	170,8058
2	0,40	-3,7622	20,2838	-225,8252	188,3112
3	0,80	-60,3684	1,6804	-513,4574	185,9080
4	1,20	-107,1594	0,0000	-173,6513	205,2464
5	1,60	-46,4073	2,2579	-144,2946	565,6793
6	2,00	0,0000	51,7778	-146,3932	269,3831
7	2,40	0,0000	70,5254	-70,8952	75,2357
8	2,80	0,0000	52,1813	-263,4153	140,7756
9	3,20	-44,6453	2,3003	-529,5486	138,7112
10	3,60	-101,1334	0,0000	-167,8389	167,8389
11	4,00	-44,6453	2,3003	-138,7112	529,5486
12	4,40	0,0000	52,1813	-140,7756	263,4153
13	4,80	0,0000	70,5254	-75,2357	70,8952
14	5,20	0,0000	51,7778	-269,3831	146,3932
15	5,60	-46,4073	2,2579	-565,6793	144,2946
16	6,00	-107,1594	0,0000	-205,2464	173,6513
17	6,40	-60,3684	1,6804	-185,9080	513,4574

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	OS0100	REL	01	A	126 di 193

18	6,80	-3,7622	20,2838	-188,3112	225,8252
19	7,20	-1,0090	3,4006	-170,8058	23,4792

### COMBINAZIONE n° 2

#### Peso muro favorevole e Peso terrapieno favorevole

Valore della spinta statica	549,2607	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	504,3400	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	217,5511	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 3,90	[m]	Y = -4,34	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	23,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	53,94	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 3,90	[m]	Y = -7,80	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	555,6720	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 2,01	[m]	Y = -2,93	[m]

#### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	504,3400	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	1111,7289	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	1111,7289	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	504,3400	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,38	[m]
Lunghezza fondazione reagente	6,50	[m]
Risultante in fondazione	1220,7785	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	24,40	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	426,2218	[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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 127 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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	0,33	4,1128	1,0177	6,5990
3	0,65	8,4833	4,2401	13,9916
4	0,98	13,1114	9,9193	22,1666
5	1,30	17,9971	18,3047	31,1214
6	1,63	23,1404	29,6453	40,8558
7	1,95	28,5413	44,1905	51,3701
8	2,27	34,1999	62,1895	62,6641
9	2,60	40,1161	83,8915	74,7378
10	2,93	46,2899	109,5457	87,5913
11	3,25	52,7214	139,4012	101,2245
12	3,58	59,4104	173,7074	115,6375
13	3,90	66,3571	212,7134	130,8302
14	4,23	73,5614	256,6684	146,8027
15	4,55	81,0234	305,8217	163,5549
16	4,88	88,7429	360,4224	181,0868
17	5,20	96,7201	420,7198	199,3985
18	5,53	104,9549	486,9631	218,4900
19	5,85	113,4474	559,4015	238,3612
20	6,17	122,1974	638,2841	259,0121
21	6,50	131,2051	723,8495	280,3180

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 128 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

#### Combinazione n° 2

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 6.50

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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymax</sub>
1	0,00	-0,6138	0,4865	-16,1470	34,3725
2	0,17	-3,8385	11,2929	-116,8999	88,8710
3	0,35	-25,8526	27,3119	-120,5837	157,5462
4	0,55	-35,7432	57,7568	0,0000	251,9845
5	0,75	0,0000	103,5411	0,0000	434,0083
6	0,95	0,0000	161,2029	0,0000	739,6511
7	1,15	0,0000	249,7474	0,0000	1084,7241
8	1,45	0,0000	579,6215	0,0000	1063,7954
9	2,60	-1290,9998	0,0000	-648,4662	0,0000
10	2,85	-1116,1540	0,0000	-601,8605	0,0000
11	3,05	-1042,5468	0,0000	-500,7552	0,0000
12	3,25	-966,3148	0,0000	-494,1991	0,0000
13	3,45	-870,7050	0,0000	-572,0653	0,0000
14	3,65	-752,5726	0,0000	-701,1683	0,0000
15	3,87	-623,9406	0,0000	-584,6556	0,0000
16	4,09	-522,0805	0,0000	-497,6657	0,0000
17	4,31	-428,1556	0,0000	-431,4060	0,0000
18	4,52	-343,3952	0,0000	-373,4860	0,0000
19	4,74	-268,8485	0,0000	-318,5660	0,0000
20	4,96	-204,6952	0,0000	-272,0921	0,0000
21	5,18	-150,5923	0,0000	-231,7209	0,0000
22	5,40	-107,1051	0,0000	-193,2142	0,0000
23	5,60	-78,6630	0,0000	-159,2805	0,0000
24	5,80	-52,6584	0,0000	-132,6094	0,0000
25	6,00	-30,5499	0,0000	-116,9498	0,0000
26	6,20	-11,3288	0,0000	-103,5185	0,0000
27	6,50	0,0000	1,7808	-16,7042	0,0000

#### Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
1	0,00	-1,0603	3,3636	-24,3424	176,8864
2	0,40	-3,5124	21,0055	-234,0132	195,0488
3	0,80	-62,5429	1,7266	-533,9374	192,6502
4	1,20	-111,0138	0,0000	-181,6120	214,6576
5	1,60	-48,0762	2,3059	-149,5240	587,7435
6	2,00	0,0000	53,6396	-151,6181	279,1606
7	2,40	0,0000	73,0614	-73,5222	78,0228
8	2,80	0,0000	54,0577	-272,9770	145,7977
9	3,20	-46,2505	2,3410	-550,2400	143,7378
10	3,60	-104,7696	0,0000	-175,5246	175,5246
11	4,00	-46,2505	2,3410	-143,7378	550,2400
12	4,40	0,0000	54,0577	-145,7977	272,9770
13	4,80	0,0000	73,0614	-78,0228	73,5222
14	5,20	0,0000	53,6396	-279,1606	151,6181
15	5,60	-48,0762	2,3059	-587,7435	149,5240
16	6,00	-111,0138	0,0000	-214,6576	181,6120
17	6,40	-62,5429	1,7266	-192,6502	533,9374



## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc. REL	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	OS0100		01	A	129 di 193

18	6,80	-3,5124	21,0055	-195,0488	234,0132
19	7,20	-1,0603	3,3636	-176,8864	24,3424

### COMBINAZIONE n° 3

Valore della spinta statica	388,5205	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	356,7458	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	153,8851	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 3,90	[m]	Y = -4,17	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	23,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	57,07	[°]		
Incremento sismico della spinta	356,9118	[kN]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 3,90	[m]	Y = -3,28	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	45,51	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 3,90	[m]	Y = -7,80	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	555,6720	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 2,01	[m]	Y = -2,93	[m]
Inerzia del muro	83,0817	[kN]		
Inerzia verticale del muro	41,5408	[kN]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	136,3821	[kN]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	68,1911	[kN]		

### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	903,9318	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	1299,1605	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	1299,1605	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	903,9318	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	1,51	[m]
Lunghezza fondazione reagente	5,22	[m]
Risultante in fondazione	1582,6909	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	34,83	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	1962,6672	[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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 130 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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	0,33	4,1128	2,9816	18,6648
3	0,65	8,4833	12,0699	38,0032
4	0,98	13,1114	27,4782	58,0068
5	1,30	17,9971	49,4179	78,6734
6	1,63	23,1404	78,1003	100,0030
7	1,95	28,5413	113,7367	121,9956
8	2,27	34,1999	156,5385	144,6513
9	2,60	40,1161	206,7168	167,9700
10	2,93	46,2899	264,4829	191,9518
11	3,25	52,7214	330,0481	216,5965
12	3,58	59,4104	403,6238	241,9044
13	3,90	66,3571	485,4211	267,8752
14	4,23	73,5614	575,6514	294,5091
15	4,55	81,0234	674,5260	321,8060
16	4,88	88,7429	782,2561	349,7660
17	5,20	96,7201	899,0530	378,3890
18	5,53	104,9549	1025,1279	407,6750
19	5,85	113,4474	1160,6923	437,6241
20	6,17	122,1974	1305,9572	468,2362
21	6,50	131,2051	1461,1258	499,4154

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 131 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

#### Combinazione n° 3

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 6.50

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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymax</sub>
1	0,00	-1,1610	0,8061	-27,3795	61,8478
2	0,17	-6,5378	20,5226	-203,5855	163,3296
3	0,35	-44,7251	50,2738	-207,2301	290,1660
4	0,55	-60,1366	106,8479	0,0000	464,4184
5	0,75	0,0000	191,8129	0,0000	795,8552
6	0,95	0,0000	298,9381	0,0000	1344,9460
7	1,15	0,0000	462,1466	0,0000	1965,4119
8	1,45	0,0000	1060,8166	0,0000	1935,2017
9	2,60	-2149,1599	0,0000	-812,1869	0,0000
10	2,85	-1950,9452	0,0000	-772,7624	0,0000
11	3,05	-1856,9723	0,0000	-725,7893	0,0000
12	3,25	-1738,6028	0,0000	-730,8469	0,0000
13	3,45	-1595,3038	0,0000	-842,9046	0,0000
14	3,65	-1423,0930	0,0000	-1007,7500	0,0000
15	3,87	-1230,4132	0,0000	-884,8648	0,0000
16	4,09	-1064,9465	0,0000	-800,1612	0,0000
17	4,31	-905,2506	0,0000	-743,5203	0,0000
18	4,52	-752,7248	0,0000	-698,2604	0,0000
19	4,74	-613,6740	0,0000	-666,1795	0,0000
20	4,96	-482,3675	0,0000	-643,7890	0,0000
21	5,18	-357,0679	0,0000	-641,3521	0,0000
22	5,40	-248,5377	0,0000	-667,4561	0,0000
23	5,60	-166,3334	0,0000	-496,1187	0,0000
24	5,80	-100,0887	0,0000	-334,7505	0,0000
25	6,00	-51,1524	0,0000	-227,1820	0,0000
26	6,20	-19,2552	0,0000	-141,7768	17,9176
27	6,50	0,0000	2,3381	-35,4417	0,0000

#### Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
1	0,00	-2,2208	4,1850	-43,8378	314,5481
2	0,40	-1,6474	37,3293	-419,1616	347,4634
3	0,80	-111,7242	51,6890	-1000,2657	345,1192
4	1,20	-198,1913	79,9049	-363,7579	430,6348
5	1,60	-85,8229	40,9427	-267,7767	1088,8784
6	2,00	-24,1447	95,7494	-269,8169	500,2565
7	2,40	-39,1888	130,4198	-132,8756	140,9984
8	2,80	-27,2120	96,4978	-489,1899	259,4096
9	3,20	-82,5549	34,2231	-1020,2882	257,4039
10	3,60	-187,0130	68,6796	-351,4131	351,4131
11	4,00	-82,5549	34,2231	-257,4039	1020,2882
12	4,40	-27,2120	96,4978	-259,4096	489,1899
13	4,80	-39,1888	130,4198	-140,9984	132,8756
14	5,20	-24,1447	95,7494	-500,2565	269,8169
15	5,60	-85,8229	40,9427	-1088,8784	267,7767
16	6,00	-198,1913	79,9049	-430,6348	363,7579
17	6,40	-111,7242	51,6890	-345,1192	1000,2657

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	OS0100	REL	01	A	132 di 193

18	6,80	-1,6474	37,3293	-347,4634	419,1616
19	7,20	-2,2208	4,1850	-314,5481	43,8378

### COMBINAZIONE n° 4

Valore della spinta statica	388,5205	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	356,7458	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	153,8851	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 3,90	[m]	Y = -4,17	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	23,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	57,07	[°]		
Incremento sismico della spinta	289,9647	[kN]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 3,90	[m]	Y = -3,28	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	41,63	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 3,90	[m]	Y = -7,80	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	555,6720	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 2,01	[m]	Y = -2,93	[m]
Inerzia del muro	83,0817	[kN]		
Inerzia verticale del muro	-41,5408	[kN]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	136,3821	[kN]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	-68,1911	[kN]		

### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	842,4599	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	1053,1802	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	1053,1802	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	842,4599	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	1,82	[m]
Lunghezza fondazione reagente	4,28	[m]
Risultante in fondazione	1348,6761	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	38,66	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	1920,7537	[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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 133 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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	0,33	4,1128	2,7250	17,0853
3	0,65	8,4833	11,0432	34,8442
4	0,98	13,1114	25,1681	53,2682
5	1,30	17,9971	45,3111	72,3553
6	1,63	23,1404	71,6835	92,1054
7	1,95	28,5413	104,4966	112,5185
8	2,27	34,1999	143,9616	133,5947
9	2,60	40,1161	190,2898	155,3339
10	2,93	46,2899	243,6925	177,7361
11	3,25	52,7214	304,3810	200,8014
12	3,58	59,4104	372,5666	224,5297
13	3,90	66,3571	448,4605	248,9210
14	4,23	73,5614	532,2740	273,9754
15	4,55	81,0234	624,2184	299,6928
16	4,88	88,7429	724,5051	326,0733
17	5,20	96,7201	833,3451	353,1168
18	5,53	104,9549	950,9500	380,8233
19	5,85	113,4474	1077,5308	409,1928
20	6,17	122,1974	1213,2990	438,2254
21	6,50	131,2051	1358,4574	467,8251

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 134 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

#### Combinazione n° 4

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 6.50

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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymax</sub>
1	0,00	-1,0386	0,7346	-24,8714	55,7060
2	0,17	-5,9343	18,4589	-184,2046	146,6821
3	0,35	-40,5053	45,1396	-187,8547	260,5136
4	0,55	-54,6823	95,8713	0,0000	416,9213
5	0,75	0,0000	172,0757	0,0000	714,9543
6	0,95	0,0000	268,1411	0,0000	1209,6064
7	1,15	0,0000	414,6551	0,0000	1768,4944
8	1,45	0,0000	953,2235	0,0000	1740,3587
9	2,60	-2345,1271	0,0000	-897,3641	0,0000
10	2,85	-2125,7521	0,0000	-857,5626	0,0000
11	3,05	-2004,8293	0,0000	-812,9997	0,0000
12	3,25	-1864,7036	0,0000	-810,6498	0,0000
13	3,45	-1705,6567	0,0000	-898,4985	0,0000
14	3,65	-1524,4803	0,0000	-1024,9830	0,0000
15	3,87	-1323,5291	0,0000	-916,5238	0,0000
16	4,09	-1146,4227	0,0000	-840,1944	0,0000
17	4,31	-975,8711	0,0000	-787,9076	0,0000
18	4,52	-816,1655	0,0000	-747,3727	0,0000
19	4,74	-666,5825	0,0000	-717,7972	0,0000
20	4,96	-524,7081	0,0000	-698,7267	0,0000
21	5,18	-388,5469	0,0000	-702,5403	0,0000
22	5,40	-269,4874	0,0000	-738,7205	0,0000
23	5,60	-180,2369	0,0000	-546,3667	0,0000
24	5,80	-108,3148	0,0000	-365,8996	0,0000
25	6,00	-55,2520	0,0000	-247,7846	0,0000
26	6,20	-20,7476	0,0000	-154,7925	23,8958
27	6,50	0,0000	2,4547	-40,1604	4,9633

#### Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
1	0,00	-1,9613	3,8154	-39,4813	283,7550
2	0,40	-1,5017	33,6794	-377,7676	313,3818
3	0,80	-100,7275	60,5372	-895,6670	311,0302
4	1,20	-178,6988	93,3146	-322,8122	382,0135
5	1,60	-77,3829	48,1872	-287,1673	976,6082
6	2,00	-27,3180	86,3338	-243,3858	450,8253
7	2,40	-44,8703	117,5947	-119,6105	126,9235
8	2,80	-31,1047	87,0084	-440,8507	234,0041
9	3,20	-74,4374	40,0350	-914,9723	269,1197
10	3,60	-168,6238	79,8973	-311,8700	311,8700
11	4,00	-74,4374	40,0350	-269,1197	914,9723
12	4,40	-31,1047	87,0084	-234,0041	440,8507
13	4,80	-44,8703	117,5947	-126,9235	119,6105
14	5,20	-27,3180	86,3338	-450,8253	243,3858
15	5,60	-77,3829	48,1872	-976,6082	287,1673
16	6,00	-178,6988	93,3146	-382,0135	322,8122
17	6,40	-100,7275	60,5372	-311,0302	895,6670

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc. REL	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	OS0100		01	A	135 di 193

18	6,80	-1,5017	33,6794	-313,3818	377,7676
19	7,20	-1,9613	3,8154	-283,7550	39,4813

### COMBINAZIONE n° 5

#### Peso muro favorevole e Peso terrapieno favorevole

Valore della spinta statica	388,5205	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	356,7458	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	153,8851	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 3,90	[m]	Y = -4,17	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	23,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	57,07	[°]		
Incremento sismico della spinta	356,9118	[kN]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 3,90	[m]	Y = -3,28	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	45,51	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 3,90	[m]	Y = -7,80	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	555,6720	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 2,01	[m]	Y = -2,93	[m]
Inerzia del muro	83,0817	[kN]		
Inerzia verticale del muro	41,5408	[kN]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	136,3821	[kN]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	68,1911	[kN]		

#### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	903,9318	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	1299,1605	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	1299,1605	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	903,9318	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	1,51	[m]
Lunghezza fondazione reagente	5,22	[m]
Risultante in fondazione	1582,6909	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	34,83	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	1962,6672	[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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 136 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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	0,33	4,1128	2,9816	18,6648
3	0,65	8,4833	12,0699	38,0032
4	0,98	13,1114	27,4782	58,0068
5	1,30	17,9971	49,4179	78,6734
6	1,63	23,1404	78,1003	100,0030
7	1,95	28,5413	113,7367	121,9956
8	2,27	34,1999	156,5385	144,6513
9	2,60	40,1161	206,7168	167,9700
10	2,93	46,2899	264,4829	191,9518
11	3,25	52,7214	330,0481	216,5965
12	3,58	59,4104	403,6238	241,9044
13	3,90	66,3571	485,4211	267,8752
14	4,23	73,5614	575,6514	294,5091
15	4,55	81,0234	674,5260	321,8060
16	4,88	88,7429	782,2561	349,7660
17	5,20	96,7201	899,0530	378,3890
18	5,53	104,9549	1025,1279	407,6750
19	5,85	113,4474	1160,6923	437,6241
20	6,17	122,1974	1305,9572	468,2362
21	6,50	131,2051	1461,1258	499,4154



## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 137 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

#### Combinazione n° 5

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 6.50

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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymax</sub>
1	0,00	-1,1610	0,8061	-27,3795	61,8478
2	0,17	-6,5378	20,5226	-203,5855	163,3296
3	0,35	-44,7251	50,2738	-207,2301	290,1660
4	0,55	-60,1366	106,8479	0,0000	464,4184
5	0,75	0,0000	191,8129	0,0000	795,8552
6	0,95	0,0000	298,9381	0,0000	1344,9460
7	1,15	0,0000	462,1466	0,0000	1965,4119
8	1,45	0,0000	1060,8166	0,0000	1935,2017
9	2,60	-2149,1599	0,0000	-812,1869	0,0000
10	2,85	-1950,9452	0,0000	-772,7624	0,0000
11	3,05	-1856,9723	0,0000	-725,7893	0,0000
12	3,25	-1738,6028	0,0000	-730,8469	0,0000
13	3,45	-1595,3038	0,0000	-842,9046	0,0000
14	3,65	-1423,0930	0,0000	-1007,7500	0,0000
15	3,87	-1230,4132	0,0000	-884,8648	0,0000
16	4,09	-1064,9465	0,0000	-800,1612	0,0000
17	4,31	-905,2506	0,0000	-743,5203	0,0000
18	4,52	-752,7248	0,0000	-698,2604	0,0000
19	4,74	-613,6740	0,0000	-666,1795	0,0000
20	4,96	-482,3675	0,0000	-643,7890	0,0000
21	5,18	-357,0679	0,0000	-641,3521	0,0000
22	5,40	-248,5377	0,0000	-667,4561	0,0000
23	5,60	-166,3334	0,0000	-496,1187	0,0000
24	5,80	-100,0887	0,0000	-334,7505	0,0000
25	6,00	-51,1524	0,0000	-227,1820	0,0000
26	6,20	-19,2552	0,0000	-141,7768	17,9176
27	6,50	0,0000	2,3381	-35,4417	0,0000

#### Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
1	0,00	-2,2208	4,1850	-43,8378	314,5481
2	0,40	-1,6474	37,3293	-419,1616	347,4634
3	0,80	-111,7242	51,6890	-1000,2657	345,1192
4	1,20	-198,1913	79,9049	-363,7579	430,6348
5	1,60	-85,8229	40,9427	-267,7767	1088,8784
6	2,00	-24,1447	95,7494	-269,8169	500,2565
7	2,40	-39,1888	130,4198	-132,8756	140,9984
8	2,80	-27,2120	96,4978	-489,1899	259,4096
9	3,20	-82,5549	34,2231	-1020,2882	257,4039
10	3,60	-187,0130	68,6796	-351,4131	351,4131
11	4,00	-82,5549	34,2231	-257,4039	1020,2882
12	4,40	-27,2120	96,4978	-259,4096	489,1899
13	4,80	-39,1888	130,4198	-140,9984	132,8756
14	5,20	-24,1447	95,7494	-500,2565	269,8169
15	5,60	-85,8229	40,9427	-1088,8784	267,7767
16	6,00	-198,1913	79,9049	-430,6348	363,7579
17	6,40	-111,7242	51,6890	-345,1192	1000,2657

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc. REL	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	OS0100		01	A	138 di 193

18	6,80	-1,6474	37,3293	-347,4634	419,1616
19	7,20	-2,2208	4,1850	-314,5481	43,8378

### COMBINAZIONE n° 6

Valore della spinta statica	388,5205	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	356,7458	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	153,8851	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 3,90	[m]	Y = -4,17	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	23,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	57,07	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 3,90	[m]	Y = -7,80	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	555,6720	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 2,01	[m]	Y = -2,93	[m]

### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	356,7458	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	1048,0630	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	1048,0630	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	356,7458	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,18	[m]
Lunghezza fondazione reagente	6,50	[m]
Risultante in fondazione	1107,1150	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	18,80	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	184,0727	[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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 139 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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	0,33	4,1128	0,7752	5,0762
3	0,65	8,4833	3,2304	10,7628
4	0,98	13,1114	7,5586	17,0512
5	1,30	17,9971	13,9505	23,9395
6	1,63	23,1404	22,5969	31,4276
7	1,95	28,5413	33,6885	39,5155
8	2,27	34,1999	47,4161	48,2031
9	2,60	40,1161	63,9703	57,4906
10	2,93	46,2899	83,5420	67,3779
11	3,25	52,7214	106,3219	77,8650
12	3,58	59,4104	132,5006	88,9519
13	3,90	66,3571	162,2689	100,6386
14	4,23	73,5614	195,8176	112,9251
15	4,55	81,0234	233,3373	125,8114
16	4,88	88,7429	275,0189	139,2975
17	5,20	96,7201	321,0529	153,3835
18	5,53	104,9549	371,6303	168,0692
19	5,85	113,4474	426,9416	183,3547
20	6,17	122,1974	487,1777	199,2401
21	6,50	131,2051	552,5208	215,6292

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 140 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

#### Combinazione n° 6

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 6.50

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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymax</sub>
1	0,00	-0,4794	0,4081	-13,3772	27,6206
2	0,17	-3,1757	9,0267	-95,6102	70,5849
3	0,35	-21,2187	21,6740	-99,3146	124,9808
4	0,55	-29,7538	45,7033	0,0000	199,8169
5	0,75	0,0000	81,8675	0,0000	345,1395
6	0,95	0,0000	127,3844	0,0000	591,0254
7	1,15	0,0000	197,5964	0,0000	868,4849
8	1,45	0,0000	461,4723	0,0000	849,8378
9	2,60	-706,4542	0,0000	-418,5809	98,2287
10	2,85	-585,6533	0,0000	-382,8947	128,5663
11	3,05	-550,2493	0,0000	-278,8184	0,0000
12	3,25	-516,6869	0,0000	-279,3148	0,0000
13	3,45	-463,6494	0,0000	-347,2753	0,0000
14	3,65	-388,2212	0,0000	-478,4878	0,0000
15	3,87	-305,3228	0,0000	-378,2621	0,0000
16	4,09	-246,6260	0,0000	-302,1863	0,0000
17	4,31	-193,9543	0,0000	-245,5014	0,0000
18	4,52	-148,5409	0,0000	-196,3312	0,0000
19	4,74	-111,2992	0,0000	-155,0692	0,0000
20	4,96	-82,1830	0,0000	-126,4894	0,0000
21	5,18	-60,2625	0,0000	-102,7359	0,0000
22	5,40	-48,2040	0,0000	-83,3745	14,6415
23	5,60	-46,3955	0,0000	-69,1991	0,0000
24	5,80	-38,5722	0,0000	-58,5132	0,0000
25	6,00	-27,5672	0,0000	-81,5382	0,0000
26	6,20	-11,1915	0,0000	-115,7845	0,0000
27	6,50	0,0000	1,5171	-26,5558	0,9096

#### Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
1	0,00	-0,7754	3,0222	-19,5460	143,1339
2	0,40	-6,0992	16,9975	-188,5372	157,6346
3	0,80	-50,4673	1,4757	-420,5003	155,2054
4	1,20	-89,6089	0,0000	-137,6058	162,6899
5	1,60	-38,8082	2,0848	-120,4805	465,4151
6	2,00	0,0000	43,3002	-122,6050	224,8566
7	2,40	0,0000	58,9780	-58,9267	62,5376
8	2,80	0,0000	43,6373	-219,8715	117,9109
9	3,20	-37,3365	2,1787	-435,5317	115,8203
10	3,60	-84,5762	0,0000	-133,0422	133,0422
11	4,00	-37,3365	2,1787	-115,8203	435,5317
12	4,40	0,0000	43,6373	-117,9109	219,8715
13	4,80	0,0000	58,9780	-62,5376	58,9267
14	5,20	0,0000	43,3002	-224,8566	122,6050
15	5,60	-38,8082	2,0848	-465,4151	120,4805
16	6,00	-89,6089	0,0000	-162,6899	137,6058
17	6,40	-50,4673	1,4757	-155,2054	420,5003



## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 141 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

18	6,80	-6,0992	16,9975	-157,6346	188,5372
19	7,20	-0,7754	3,0222	-143,1339	19,5460

### COMBINAZIONE n° 7

Valore della spinta statica	409,1950	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	375,7295	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	162,0739	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 3,90	[m]	Y = -4,29	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	23,33	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	54,69	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 3,90	[m]	Y = -7,80	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	555,6720	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 2,01	[m]	Y = -2,93	[m]

### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	375,7295	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	1056,2517	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	1056,2517	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	375,7295	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,17	[m]
Lunghezza fondazione reagente	6,50	[m]
Risultante in fondazione	1121,0889	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	19,58	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	182,7185	[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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 142 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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	0,33	4,1128	0,7752	5,0762
3	0,65	8,4833	3,2304	10,7628
4	0,98	13,1114	7,5586	17,0512
5	1,30	17,9971	13,9505	23,9395
6	1,63	23,1404	22,5969	31,4276
7	1,95	28,5413	33,6885	39,5155
8	2,27	34,1999	47,4161	48,2031
9	2,60	40,1161	63,9703	57,4906
10	2,93	46,2899	83,5420	67,3779
11	3,25	52,7214	106,3219	77,8650
12	3,58	59,4104	132,5006	88,9519
13	3,90	66,3571	162,2689	100,6386
14	4,23	73,5614	195,8176	112,9251
15	4,55	81,0234	233,3373	125,8114
16	4,88	88,7429	275,0189	139,2975
17	5,20	96,7201	321,0529	153,3835
18	5,53	104,9549	371,6303	168,0692
19	5,85	113,4474	426,9416	183,3547
20	6,17	122,1974	487,1777	199,2401
21	6,50	131,2051	552,5208	215,6292

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 143 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

#### Combinazione n° 7

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 6.50

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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymax</sub>
1	0,00	-0,4901	0,4143	-13,5983	28,1590
2	0,17	-3,2285	9,2073	-97,3076	72,0428
3	0,35	-21,5882	22,1235	-101,0100	127,5770
4	0,55	-30,2312	46,6642	0,0000	203,9760
5	0,75	0,0000	83,5953	0,0000	352,2249
6	0,95	0,0000	130,0804	0,0000	602,8740
7	1,15	0,0000	201,7539	0,0000	885,7235
8	1,45	0,0000	470,8911	0,0000	866,8944
9	2,60	-719,8345	0,0000	-421,6477	98,2210
10	2,85	-598,2346	0,0000	-385,9384	128,5323
11	3,05	-562,6658	0,0000	-281,9732	0,0000
12	3,25	-528,5750	0,0000	-282,8413	0,0000
13	3,45	-474,8085	0,0000	-351,8595	0,0000
14	3,65	-398,4243	0,0000	-484,3636	0,0000
15	3,87	-314,3917	0,0000	-383,6205	0,0000
16	4,09	-254,6631	0,0000	-307,2786	0,0000
17	4,31	-200,9455	0,0000	-250,5000	0,0000
18	4,52	-154,4738	0,0000	-201,3173	0,0000
19	4,74	-116,1731	0,0000	-159,5007	0,0000
20	4,96	-86,0094	0,0000	-130,7218	0,0000
21	5,18	-63,0848	0,0000	-106,6058	0,0000
22	5,40	-49,9411	0,0000	-86,7335	0,9204
23	5,60	-47,1642	0,0000	-71,9752	0,0000
24	5,80	-38,7395	0,0000	-60,5833	0,0000
25	6,00	-27,4248	0,0000	-82,6013	0,0000
26	6,20	-11,0942	0,0000	-114,4296	0,0000
27	6,50	0,0000	1,5126	-26,0229	0,8197

#### Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
1	0,00	-0,7981	3,0068	-19,9287	145,8230
2	0,40	-5,9982	17,3170	-192,1631	160,6170
3	0,80	-51,4299	1,4964	-429,5131	158,1907
4	1,20	-91,3153	0,0000	-141,0931	166,8023
5	1,60	-39,5470	2,1066	-122,7961	475,1462
6	2,00	0,0000	44,1245	-124,9176	229,1863
7	2,40	0,0000	60,1007	-60,0910	63,7728
8	2,80	0,0000	44,4680	-224,1057	120,1337
9	3,20	-38,0471	2,1975	-444,6557	118,0462
10	3,60	-86,1860	0,0000	-136,4084	136,4084
11	4,00	-38,0471	2,1975	-118,0462	444,6557
12	4,40	0,0000	44,4680	-120,1337	224,1057
13	4,80	0,0000	60,1007	-63,7728	60,0910
14	5,20	0,0000	44,1245	-229,1863	124,9176
15	5,60	-39,5470	2,1066	-475,1462	122,7961
16	6,00	-91,3153	0,0000	-166,8023	141,0931
17	6,40	-51,4299	1,4964	-158,1907	429,5131

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc. REL	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	OS0100		01	A	144 di 193

18	6,80	-5,9982	17,3170	-160,6170	192,1631
19	7,20	-0,7981	3,0068	-145,8230	19,9287

### COMBINAZIONE n° 8

Valore della spinta statica	417,3159	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	383,1862	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	165,2904	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 3,90	[m]	Y = -4,32	[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 = 3,90	[m]	Y = -7,80	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	555,6720	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 2,01	[m]	Y = -2,93	[m]

### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	383,1862	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	1059,4683	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	1059,4683	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	383,1862	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,17	[m]
Lunghezza fondazione reagente	6,50	[m]
Risultante in fondazione	1126,6342	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	19,88	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	184,9417	[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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 145 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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	0,33	4,1128	0,7752	5,0762
3	0,65	8,4833	3,2304	10,7628
4	0,98	13,1114	7,5586	17,0512
5	1,30	17,9971	13,9505	23,9395
6	1,63	23,1404	22,5969	31,4276
7	1,95	28,5413	33,6885	39,5155
8	2,27	34,1999	47,4161	48,2031
9	2,60	40,1161	63,9703	57,4906
10	2,93	46,2899	83,5420	67,3779
11	3,25	52,7214	106,3219	77,8650
12	3,58	59,4104	132,5006	88,9519
13	3,90	66,3571	162,2689	100,6386
14	4,23	73,5614	195,8176	112,9251
15	4,55	81,0234	233,3373	125,8114
16	4,88	88,7429	275,0189	139,2975
17	5,20	96,7201	321,0529	153,3835
18	5,53	104,9549	371,6303	168,0692
19	5,85	113,4474	426,9416	183,3547
20	6,17	122,1974	487,1777	199,2401
21	6,50	131,2051	552,5208	215,6292

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 146 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

#### Combinazione n° 8

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 6.50

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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymax</sub>
1	0,00	-0,4949	0,4171	-13,6967	28,3985
2	0,17	-3,2520	9,2877	-98,0626	72,6912
3	0,35	-21,7525	22,3234	-101,7641	128,7318
4	0,55	-30,4436	47,0916	0,0000	205,8259
5	0,75	0,0000	84,3638	0,0000	355,3763
6	0,95	0,0000	131,2796	0,0000	608,1442
7	1,15	0,0000	203,6031	0,0000	893,3911
8	1,45	0,0000	475,0805	0,0000	874,4811
9	2,60	-726,7118	0,0000	-423,2991	97,6995
10	2,85	-604,7014	0,0000	-387,5735	127,9669
11	3,05	-568,9933	0,0000	-283,7148	0,0000
12	3,25	-534,5902	0,0000	-284,7392	0,0000
13	3,45	-480,4330	0,0000	-354,2213	0,0000
14	3,65	-403,5689	0,0000	-487,2193	0,0000
15	3,87	-318,9743	0,0000	-386,2605	0,0000
16	4,09	-258,7220	0,0000	-309,8173	0,0000
17	4,31	-204,4753	0,0000	-253,0067	0,0000
18	4,52	-157,4694	0,0000	-203,8257	0,0000
19	4,74	-118,6342	0,0000	-161,7442	0,0000
20	4,96	-87,9418	0,0000	-132,8623	0,0000
21	5,18	-64,5101	0,0000	-108,5605	0,0000
22	5,40	-50,8196	0,0000	-88,4285	2,1986
23	5,60	-47,5529	0,0000	-73,3744	0,0000
24	5,80	-38,8241	0,0000	-61,6258	0,0000
25	6,00	-27,3527	0,0000	-83,1168	0,0000
26	6,20	-11,0450	0,0000	-113,7395	0,0000
27	6,50	0,0000	1,5103	-25,7518	0,7740

#### Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
1	0,00	-0,8082	2,9990	-20,0989	147,0192
2	0,40	-5,9440	17,4592	-193,7758	161,9436
3	0,80	-51,8581	1,5053	-433,5239	159,5186
4	1,20	-92,0743	0,0000	-142,6455	168,6335
5	1,60	-39,8756	2,1157	-123,8261	479,4759
6	2,00	0,0000	44,4911	-125,9463	231,1121
7	2,40	0,0000	60,6001	-60,6088	64,3222
8	2,80	0,0000	44,8375	-225,9890	121,1225
9	3,20	-38,3632	2,2051	-448,7154	119,0362
10	3,60	-86,9020	0,0000	-137,9070	137,9070
11	4,00	-38,3632	2,2051	-119,0362	448,7154
12	4,40	0,0000	44,8375	-121,1225	225,9890
13	4,80	0,0000	60,6001	-64,3222	60,6088
14	5,20	0,0000	44,4911	-231,1121	125,9463
15	5,60	-39,8756	2,1157	-479,4759	123,8261
16	6,00	-92,0743	0,0000	-168,6335	142,6455
17	6,40	-51,8581	1,5053	-159,5186	433,5239



**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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 147 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

18	6,80	-5,9440	17,4592	-161,9436	193,7758
19	7,20	-0,8082	2,9990	-147,0192	20,0989

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 148 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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	0,33	4,1128	4,1128	1,0177	2,9816	6,5990	18,6648
3	0,65	8,4833	8,4833	4,2401	12,0699	13,9916	38,0032
4	0,98	13,1114	13,1114	9,9193	27,4782	22,1666	58,0068
5	1,30	17,9971	17,9971	18,3047	49,4179	31,1214	78,6734
6	1,63	23,1404	23,1404	29,6453	78,1003	40,8558	100,0030
7	1,95	28,5413	28,5413	44,1905	113,7367	51,3701	121,9956
8	2,27	34,1999	34,1999	62,1895	156,5385	62,6641	144,6513
9	2,60	40,1161	40,1161	83,8915	206,7168	74,7378	167,9700
10	2,93	46,2899	46,2899	109,5457	264,4829	87,5913	191,9518
11	3,25	52,7214	52,7214	139,4012	330,0481	101,2245	216,5965
12	3,58	59,4104	59,4104	173,7074	403,6238	115,6375	241,9044
13	3,90	66,3571	66,3571	212,7134	485,4211	130,8302	267,8752
14	4,23	73,5614	73,5614	256,6684	575,6514	146,8027	294,5091
15	4,55	81,0234	81,0234	305,8217	674,5260	163,5549	321,8060
16	4,88	88,7429	88,7429	360,4224	782,2561	181,0868	349,7660
17	5,20	96,7201	96,7201	420,7198	899,0530	199,3985	378,3890
18	5,53	104,9549	104,9549	486,9631	1025,1279	218,4900	407,6750
19	5,85	113,4474	113,4474	559,4015	1160,6923	238,3612	437,6241
20	6,17	122,1974	122,1974	638,2841	1305,9572	259,0121	468,2362
21	6,50	131,2051	131,2051	723,8495	1461,1258	280,3180	499,4154

#### 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	0,33	4,1128	4,1128	0,7752	0,7752	5,0762	5,0762
3	0,65	8,4833	8,4833	3,2304	3,2304	10,7628	10,7628
4	0,98	13,1114	13,1114	7,5586	7,5586	17,0512	17,0512
5	1,30	17,9971	17,9971	13,9505	13,9505	23,9395	23,9395
6	1,63	23,1404	23,1404	22,5969	22,5969	31,4276	31,4276
7	1,95	28,5413	28,5413	33,6885	33,6885	39,5155	39,5155
8	2,27	34,1999	34,1999	47,4161	47,4161	48,2031	48,2031
9	2,60	40,1161	40,1161	63,9703	63,9703	57,4906	57,4906
10	2,93	46,2899	46,2899	83,5420	83,5420	67,3779	67,3779
11	3,25	52,7214	52,7214	106,3219	106,3219	77,8650	77,8650
12	3,58	59,4104	59,4104	132,5006	132,5006	88,9519	88,9519
13	3,90	66,3571	66,3571	162,2689	162,2689	100,6386	100,6386
14	4,23	73,5614	73,5614	195,8176	195,8176	112,9251	112,9251
15	4,55	81,0234	81,0234	233,3373	233,3373	125,8114	125,8114
16	4,88	88,7429	88,7429	275,0189	275,0189	139,2975	139,2975
17	5,20	96,7201	96,7201	321,0529	321,0529	153,3835	153,3835
18	5,53	104,9549	104,9549	371,6303	371,6303	168,0692	168,0692
19	5,85	113,4474	113,4474	426,9416	426,9416	183,3547	183,3547
20	6,17	122,1974	122,1974	487,1777	487,1777	199,2401	199,2401
21	6,50	131,2051	131,2051	552,5208	552,5208	215,6292	215,6292

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 149 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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.



**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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 150 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

# ALLEGATO 3

## TABULATI DI CALCOLO MURO TIPO 3

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 151 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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 OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 152 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

## 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  $\gamma$ . 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  $\rho$  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  $\varepsilon$  l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e  $\beta$  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,  $\theta$  assume le seguenti espressioni:

Terreno a bassa permeabilità

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

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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 153 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

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

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  $\theta$ .

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  $\eta_g$

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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 154 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

In questa espressione  $n$  è il numero delle strisce considerate,  $b_i$  e  $\alpha_i$  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  $\phi_i$  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  $\eta$ . Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per  $\eta$  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  $\phi$  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  $\eta_p$  ed il coefficiente di sicurezza della portanza per attrito laterale  $\eta_l$ .

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,  $\gamma$  è il peso specifico del terreno,  $D$  è il diametro del palo ed i coefficienti  $N'_c$ ,  $N'_q$ ,  $N'_\gamma$  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  $\eta$  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:  $K_0 = 1 - \sin\phi$ .

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 155 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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  $\tau_a$  è dato dalla nota relazione di Coulomb

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

dove  $c_a$  è l'adesione palo-terreno,  $\delta$  è l'angolo di attrito palo-terreno,  $\gamma$  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 Kg/cm<sup>2</sup>/cm che rappresenta la pressione (in Kg/cm<sup>2</sup>) 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 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.

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 156 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Normativa

#### N.T.C. 2008 - Approccio 2

##### Simbologia adottata

$\gamma_{Gsfav}$	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{Gfav}$	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{Qsfav}$	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{Qfav}$	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{tan\phi'}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
$\gamma_c$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
$\gamma_{cu}$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
$\gamma_{qu}$	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
$\gamma_\gamma$	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	$\gamma_{Gfav}$	1,00	1,00	0,90	0,90
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,30	1,00	1,10	1,30
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	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	$\gamma_c$	1,00	1,25	1,25	1,00
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$	1,00	1,40	1,40	1,00
Resistenza a compressione uniaxiale	$\gamma_{qu}$	1,00	1,60	1,60	1,00
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	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	$\gamma_{Gfav}$	1,00	1,00	1,00	0,90
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,00	1,00	1,00	1,30
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	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	$\gamma_c$	1,00	1,25	1,25	1,00
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$	1,00	1,40	1,40	1,00
Resistenza a compressione uniaxiale	$\gamma_{qu}$	1,00	1,60	1,60	1,00
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	1,00	1,00	1,00	1,00

#### FONDAZIONE SUPERFICIALE

##### Coefficienti parziali $\gamma_R$ 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 157 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### PALI DI FONDAZIONE

CARICHI VERTICALI. Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche dei pali

#### Pali trivellati

		R1	R2	R3
Punta	$\gamma_b$	1,00	1,70	1,35
Laterale compressione	$\gamma_s$	1,00	1,45	1,15
Totale compressione	$\gamma_t$	1,00	1,60	1,30
Laterale trazione	$\gamma_{st}$	1,00	1,60	1,25

CARICHI TRASVERSALI. Coefficienti parziali  $\gamma_T$  per le verifiche dei pali.

		R1	R2	R3
	$\gamma_T$	1,00	1,60	1,30

Coefficienti di riduzione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica dei pali

Numero di verticali indagate	1	$\xi_3=1,70$	$\xi_4=1,70$
------------------------------	---	--------------	--------------

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 158 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Geometria muro e fondazione

#### Descrizione

Altezza del paramento	8,90 [m]
Spessore in sommità	0,50 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	1,39 [m]
Inclinazione paramento esterno	5,70 [°]
Inclinazione paramento interno	0,00 [°]
Lunghezza del muro	7,20 [m]

#### Muro a mensola in c.a.

#### Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	1,45 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	3,70 [m]
Lunghezza totale fondazione	6,54 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0,00 [°]
Spessore fondazione	1,30 [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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 159 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Descrizione pali di fondazione

Pali in c.a.	
Numero di file di pali	3
Vincolo pali/fondazione	Incastro
Tipo di portanza	Portanza laterale e 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	0,80	3	0,8000	16,00	0,00	Centrati
2	3,30	3	0,8000	16,00	0,00	Centrati
3	5,70	3	0,8000	16,00	0,00	Centrati

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 160 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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  $\sigma_{fa}$  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  $\sigma_{fa}$  449936 [kPa]

Tensione di snervamento  $\sigma_{fa}$  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	15,00	0,00	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

$\gamma$  Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]

$\gamma_s$  Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]

$\phi$  Angolo d'attrito interno espresso in [°]

$\delta$  Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]

c Coesione espressa in [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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 161 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

$c_a$

Adesione terra-muro espressa in [kPa]

Descrizione	$\gamma$	$\gamma_s$	$\phi$	$\delta$	c	$c_a$
Rilevato	20,00	20,00	35.00	23.33	0,0	0,0
Ala	19,00	20,00	25.00	10.00	2,0	0,0
Salt	20,00	20,00	27.00	10.00	20,0	0,0
Ap/Pa	23,00	23,00	31.00	15.00	120,0	0,0

Parametri medi

Descrizione	$\gamma$	$\gamma_s$	$\phi$	$\delta$	c	$c_a$
Rilevato	20,00	20,00	35.00	23.33	0,0	0,0
Ala	19,00	20,00	25.00	10.00	2,0	0,0
Salt	20,00	20,00	27.00	10.00	20,0	0,0
Ap/Pa	23,00	23,00	31.00	15.00	120,0	0,0

Parametri minimi

Descrizione	$\gamma$	$\gamma_s$	$\phi$	$\delta$	c	$c_a$
Rilevato	20,00	20,00	30.00	20.00	0,0	0,0
Ala	19,00	20,00	25.00	10.00	2,0	0,0
Salt	20,00	20,00	27.00	10.00	20,0	0,0
Ap/Pa	23,00	23,00	31.00	15.00	120,0	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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 162 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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	$X_i=0,00$	$X_f=7,80$	$Q_i=60,0000$	$Q_f=20,0000$
---	---------	------------	------------	---------------	---------------

#### Condizione n° 2 (Urto Veicolo)

C	Paramento	$X=-0,25$	$Y=0,00$	$F_x=20,0000$	$F_y=0,0000$
		$M=30,0000$			

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 163 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Descrizione combinazioni di carico

#### Simbologia adottata

F/S	Effetto dell'azione (FAV: Favorevole, SFAV: Sfavorevole)
$\gamma$	Coefficiente di partecipazione della condizione
$\Psi$	Coefficiente di combinazione della condizione

#### Combinazione n° 1 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
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 sottscarpa-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 164 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 165 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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<sub>SCO</sub></i>	Coeff. di sicurezza allo scorrimento
<i>CS<sub>RIB</sub></i>	Coeff. di sicurezza al ribaltamento
<i>CS<sub>QLIM</sub></i>	Coeff. di sicurezza a carico limite
<i>CS<sub>STAB</sub></i>	Coeff. di sicurezza a stabilità globale

<b>C</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sisma</b>	<b>CS<sub>SCO</sub></b>	<b>CS<sub>RIB</sub></b>	<b>CS<sub>QLIM</sub></b>	<b>CS<sub>STAB</sub></b>
1	A1-M1 - [1]	--	--	--	--	--
2	A1-M1 - [2]	--	--	--	--	--
3	A1-M1 - [3]	--	--	--	--	--
4	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	--
5	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	--
6	SLEQ - [1]	--	--	--	--	--
7	SLEF - [1]	--	--	--	--	--
8	SLER - [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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 166 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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<sup>2</sup>]

Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)

1.19

Coefficiente di amplificazione topografica (St)

1.00

Coefficiente riduzione ( $\beta_m$ )

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)

0,0

Lunghezza del muro

7,20 [m]

Peso muro

414,4097 [kN]

Baricentro del muro

X=-0,04 Y=-7,36

#### Superficie di spinta

Punto inferiore superficie di spinta

X = 3,70 Y = -10,20

Punto superiore superficie di spinta

X = 3,70 Y = 0,00

Altezza della superficie di spinta

10,20 [m]

Inclinazione superficie di spinta (rispetto alla verticale)

0,00 [°]

#### COMBINAZIONE n° 1

##### **Peso muro favorevole e Peso terrapieno favorevole**

Valore della spinta statica

528,7974 [kN]

Componente orizzontale della spinta statica

486,6724 [kN]

Componente verticale della spinta statica

206,8253 [kN]

Punto d'applicazione della spinta

X = 3,70 [m] Y = -6,26 [m]

Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie

23,02 [°]

Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche

54,58 [°]

Punto d'applicazione della spinta della falda

X = 3,70 [m] Y = -10,20 [m]

Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte

658,6000 [kN]

Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte

X = 1,85 [m] Y = -4,45 [m]

#### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale

486,6724 [kN]

Risultante dei carichi applicati in dir. verticale

1279,8351 [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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 167 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	1279,8351	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	486,6724	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,39	[m]
Lunghezza fondazione reagente	6,54	[m]
Risultante in fondazione	1369,2435	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	20,82	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	498,7059	[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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 168 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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	0,45	5,6965	1,6995	8,1141
3	0,89	11,8761	7,1374	17,3959
4	1,33	18,5386	16,8204	27,8355
5	1,78	25,6841	31,2522	39,4305
6	2,23	33,3126	50,9362	52,1811
7	2,67	41,4241	76,3758	66,0871
8	3,12	50,0186	108,0742	81,1485
9	3,56	59,0960	146,5350	97,3655
10	4,00	68,6565	192,2615	114,7378
11	4,45	78,7000	245,7571	133,2657
12	4,90	89,2264	307,5251	152,9490
13	5,34	100,2358	378,0689	173,7878
14	5,79	111,7283	457,8920	195,7820
15	6,23	123,7037	547,4978	218,9318
16	6,67	136,1621	647,3895	243,2369
17	7,12	149,1035	758,0706	268,6976
18	7,57	162,5279	880,0445	295,3137
19	8,01	176,4353	1013,8145	323,0852
20	8,46	190,8257	1159,8841	352,0123
21	8,90	205,6991	1318,7346	381,9099



## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 169 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

#### Combinazione n° 1

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 6.54

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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymax</sub>
1	0,00	-0,8733	0,7376	-15,2564	25,5705
2	0,22	-5,2025	9,7215	-127,4799	89,3743
3	0,44	-31,1685	28,6184	-131,9934	164,7725
4	0,64	-42,2836	60,7276	0,0000	270,6951
5	0,84	0,0000	106,9608	0,0000	486,0958
6	1,04	0,0000	166,8702	0,0000	833,9529
7	1,24	0,0000	294,9513	0,0000	1259,4154
8	1,45	0,0000	583,6493	0,0000	1253,0430
9	2,84	-1339,5131	0,0000	-800,6424	26,4178
10	3,04	-1172,4447	0,0000	-750,5654	0,0000
11	3,24	-1075,4138	0,0000	-620,6534	0,0000
12	3,44	-972,3323	0,0000	-612,8004	0,0000
13	3,64	-839,3305	0,0000	-775,9945	0,0000
14	3,85	-693,3073	0,0000	-649,0973	0,0000
15	4,06	-579,1311	0,0000	-552,9659	0,0000
16	4,28	-477,6003	0,0000	-478,0388	0,0000
17	4,49	-386,5013	0,0000	-410,9972	0,0000
18	4,70	-306,8601	0,0000	-349,9309	0,0000
19	4,91	-238,7439	0,0000	-302,4089	0,0000
20	5,13	-181,4205	0,0000	-259,1421	0,0000
21	5,34	-137,2358	0,0000	-219,1486	0,0000
22	5,54	-108,0957	0,0000	-184,5258	0,0000
23	5,74	-78,6052	0,0000	-161,6778	0,0000
24	5,94	-51,0216	0,0000	-159,9389	0,0000
25	6,14	-23,4552	0,0000	-162,6197	0,0000
26	6,34	-5,9784	0,0000	-81,0918	0,0000
27	6,54	0,0000	0,9446	-12,2385	0,0000

#### Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
1	0,00	-1,3102	3,9665	-22,7328	213,1041
2	0,40	-3,2183	22,3560	-229,3266	268,5835
3	0,80	-57,2394	8,7205	-557,4673	266,3320
4	1,20	-104,6647	0,0000	-201,9217	230,2945
5	1,60	-45,0232	8,9924	-228,4613	606,9287
6	2,00	0,0000	51,2321	-230,6180	270,8018
7	2,40	0,0000	66,7350	-92,7608	86,5109
8	2,80	0,0000	51,4865	-266,1270	224,2604
9	3,20	-43,7297	9,0299	-565,8362	222,1227
10	3,60	-99,7938	0,0000	-190,1777	190,1777
11	4,00	-43,7297	9,0299	-222,1227	565,8362
12	4,40	0,0000	51,4865	-224,2604	266,1270
13	4,80	0,0000	66,7350	-86,5109	92,7608
14	5,20	0,0000	51,2321	-270,8018	230,6180
15	5,60	-45,0232	8,9924	-606,9287	228,4613
16	6,00	-104,6647	0,0000	-230,2945	201,9217
17	6,40	-57,2394	8,7205	-266,3320	557,4673



## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	OS0100	REL	01	A	170 di 193

18	6,80	-3,2183	22,3560	-268,5835	229,3266
19	7,20	-1,3102	3,9665	-213,1041	22,7328

### COMBINAZIONE n° 2

#### Peso muro favorevole e Peso terrapieno favorevole

Valore della spinta statica	609,8976	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	561,1701	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	238,8789	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 3,70	[m]	Y = -5,86	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	23,06	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	57,21	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 3,70	[m]	Y = -10,20	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	938,9462	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,85	[m]	Y = -4,45	[m]

#### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	561,1701	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	1592,2348	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	1592,2348	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	561,1701	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,32	[m]
Lunghezza fondazione reagente	6,54	[m]
Risultante in fondazione	1688,2309	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	19,41	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	513,9893	[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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 171 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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	0,45	5,6965	3,6796	16,9819
3	0,89	11,8761	15,0017	34,9417
4	1,33	18,5386	34,3864	53,8587
5	1,78	25,6841	62,2472	73,7285
6	2,23	33,3126	98,9975	94,5520
7	2,67	41,4241	145,0511	116,3302
8	3,12	50,0186	200,8222	139,0637
9	3,56	59,0960	266,7253	162,7532
10	4,00	68,6565	343,1750	187,3992
11	4,45	78,7000	430,5865	213,0022
12	4,90	89,2264	529,3747	239,5627
13	5,34	100,2358	639,9552	267,0813
14	5,79	111,7283	762,7436	295,5582
15	6,23	123,7037	898,1557	324,9938
16	6,67	136,1621	1046,6072	355,3886
17	7,12	149,1035	1208,5144	386,7427
18	7,57	162,5279	1384,2933	419,0564
19	8,01	176,4353	1574,3603	452,3301
20	8,46	190,8257	1779,1318	486,5639
21	8,90	205,6991	1999,0061	521,6043

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 172 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

#### Combinazione n° 2

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 6.54

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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymax</sub>
1	0,00	-1,0653	0,8544	-17,7280	30,6983
2	0,22	-6,0752	11,7133	-150,2671	107,8872
3	0,44	-36,5613	34,6606	-154,7597	198,9579
4	0,64	-49,1440	73,5618	0,0000	326,4929
5	0,84	0,0000	129,5211	0,0000	584,6835
6	1,04	0,0000	202,0055	0,0000	999,7766
7	1,24	0,0000	355,9377	0,0000	1507,5870
8	1,45	0,0000	701,5159	0,0000	1501,2127
9	2,84	-1605,5683	0,0000	-1006,7492	31,5705
10	3,04	-1395,3262	0,0000	-939,9108	0,0000
11	3,24	-1272,6187	0,0000	-769,9014	0,0000
12	3,44	-1145,9236	0,0000	-751,1963	0,0000
13	3,64	-982,8451	0,0000	-950,3994	0,0000
14	3,85	-804,7947	0,0000	-788,5492	0,0000
15	4,06	-667,1008	0,0000	-665,3826	0,0000
16	4,28	-545,9788	0,0000	-568,4767	0,0000
17	4,49	-438,5116	0,0000	-481,8266	0,0000
18	4,70	-345,8696	0,0000	-406,5449	0,0000
19	4,91	-267,9722	0,0000	-347,2639	0,0000
20	5,13	-203,6226	0,0000	-294,5042	0,0000
21	5,34	-156,7473	0,0000	-247,4774	0,0000
22	5,54	-128,1774	0,0000	-208,4165	0,0000
23	5,74	-96,3476	0,0000	-184,1065	0,0000
24	5,94	-64,6044	0,0000	-196,4087	0,0000
25	6,14	-30,0162	0,0000	-215,7920	0,0000
26	6,34	-7,8424	0,0000	-108,1963	0,0000
27	6,54	0,0000	1,1946	-16,9579	0,0000

#### Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
1	0,00	-1,6398	5,0419	-27,1988	253,4198
2	0,40	-4,8743	26,5890	-273,4576	319,7121
3	0,80	-68,1901	10,7989	-676,9493	317,4797
4	1,20	-124,6611	0,0000	-251,7071	287,3583
5	1,60	-53,6234	11,1541	-272,3195	734,1071
6	2,00	0,0000	61,0176	-274,4557	322,9741
7	2,40	0,0000	79,4820	-110,2269	102,7855
8	2,80	0,0000	61,3209	-317,4028	266,8767
9	3,20	-52,0812	11,2171	-684,3689	264,7597
10	3,60	-118,8533	0,0000	-235,0916	235,0916
11	4,00	-52,0812	11,2171	-264,7597	684,3689
12	4,40	0,0000	61,3209	-266,8767	317,4028
13	4,80	0,0000	79,4820	-102,7855	110,2269
14	5,20	0,0000	61,0176	-322,9741	274,4557
15	5,60	-53,6234	11,1541	-734,1071	272,3195
16	6,00	-124,6611	0,0000	-287,3583	251,7071
17	6,40	-68,1901	10,7989	-317,4797	676,9493

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	OS0100	REL	01	A	173 di 193

18	6,80	-4,8743	26,5890	-319,7121	273,4576
19	7,20	-1,6398	5,0419	-253,4198	27,1988

### COMBINAZIONE n° 3

#### Peso muro favorevole e Peso terrapieno favorevole

Valore della spinta statica	528,7974	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	486,6724	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	206,8253	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 3,70	[m]	Y = -6,26	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	23,02	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	54,58	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 3,70	[m]	Y = -10,20	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	658,6000	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,85	[m]	Y = -4,45	[m]

#### Risultanti carichi esterni

Componente dir. X	30,00	[kN]
-------------------	-------	------

#### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	516,6724	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	1279,8351	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	1279,8351	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	516,6724	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,66	[m]
Lunghezza fondazione reagente	6,54	[m]
Risultante in fondazione	1380,1914	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	21,98	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	849,7059	[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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 174 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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	45,0000	30,0000
2	0,45	5,6965	60,0495	38,1141
3	0,89	11,8761	78,8374	47,3959
4	1,33	18,5386	101,8704	57,8355
5	1,78	25,6841	129,6522	69,4305
6	2,23	33,3126	162,6862	82,1811
7	2,67	41,4241	201,4758	96,0871
8	3,12	50,0186	246,5242	111,1485
9	3,56	59,0960	298,3350	127,3655
10	4,00	68,6565	357,4115	144,7378
11	4,45	78,7000	424,2571	163,2657
12	4,90	89,2264	499,3751	182,9490
13	5,34	100,2358	583,2689	203,7878
14	5,79	111,7283	676,4420	225,7820
15	6,23	123,7037	779,3978	248,9318
16	6,67	136,1621	892,6395	273,2369
17	7,12	149,1035	1016,6706	298,6976
18	7,57	162,5279	1151,9945	325,3137
19	8,01	176,4353	1299,1145	353,0852
20	8,46	190,8257	1458,5341	382,0123
21	8,90	205,6991	1630,7346	411,9099

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 175 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

#### Combinazione n° 3

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 6.54

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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymin</sub>
1	0,00	-0,9861	0,8062	-16,7092	28,5834
2	0,22	-5,7151	10,8914	-140,8653	100,2490
3	0,44	-34,3362	32,1675	-145,3656	184,8527
4	0,64	-46,3133	68,2663	0,0000	303,4705
5	0,84	0,0000	120,2125	0,0000	544,0064
6	1,04	0,0000	187,5082	0,0000	931,3561
7	1,24	0,0000	330,7740	0,0000	1405,1886
8	1,45	0,0000	652,8827	0,0000	1398,8149
9	2,84	-1562,5452	0,0000	-866,3216	0,0000
10	3,04	-1384,8523	0,0000	-815,7685	0,0000
11	3,24	-1277,5509	0,0000	-699,5002	0,0000
12	3,44	-1158,4012	0,0000	-697,4356	0,0000
13	3,64	-1009,3671	0,0000	-860,1275	0,0000
14	3,85	-845,9247	0,0000	-731,5926	0,0000
15	4,06	-714,4046	0,0000	-635,6170	0,0000
16	4,28	-595,2325	0,0000	-561,3587	0,0000
17	4,49	-486,4573	0,0000	-495,3391	0,0000
18	4,70	-389,1696	0,0000	-433,0801	0,0000
19	4,91	-303,6244	0,0000	-376,1172	0,0000
20	5,13	-229,6035	0,0000	-325,0255	0,0000
21	5,34	-167,1651	0,0000	-275,9564	0,0000
22	5,54	-121,1953	0,0000	-230,8952	0,0000
23	5,74	-81,2358	0,0000	-192,7927	0,0000
24	5,94	-48,2395	0,0000	-160,8206	0,0000
25	6,14	-21,4499	0,0000	-130,5185	0,0000
26	6,34	-5,0748	0,0000	-64,6683	0,0000
27	6,54	0,0000	0,8975	-6,7313	0,0000

#### Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
1	0,00	-1,5038	3,8290	-25,3568	236,7807
2	0,40	-1,8533	24,8424	-255,2495	298,6154
3	0,80	-63,6717	8,8254	-627,5765	296,3760
4	1,20	-116,4104	0,0000	-231,1133	263,7399
5	1,60	-50,0749	9,0628	-254,2235	681,5801
6	2,00	0,0000	56,9800	-256,3673	301,4481
7	2,40	0,0000	74,2224	-103,0187	96,0690
8	2,80	0,0000	57,2631	-296,2468	249,2922
9	3,20	-48,6353	9,0655	-635,4128	247,1676
10	3,60	-110,9891	0,0000	-215,8635	215,8635
11	4,00	-48,6353	9,0655	-247,1676	635,4128
12	4,40	0,0000	57,2631	-249,2922	296,2468
13	4,80	0,0000	74,2224	-96,0690	103,0187
14	5,20	0,0000	56,9800	-301,4481	256,3673
15	5,60	-50,0749	9,0628	-681,5801	254,2235
16	6,00	-116,4104	0,0000	-263,7399	231,1133
17	6,40	-63,6717	8,8254	-296,3760	627,5765

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc. REL	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	OS0100		01	A	176 di 193

18	6,80	-1,8533	24,8424	-298,6154	255,2495
19	7,20	-1,5038	3,8290	-236,7807	25,3568

### COMBINAZIONE n° 4

Valore della spinta statica	406,6325	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	374,2347	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	159,0546	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 3,70	[m]	Y = -6,26	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	23,03	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	54,58	[°]		
Incremento sismico della spinta	265,1487	[kN]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 3,70	[m]	Y = -5,10	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	38,64	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 3,70	[m]	Y = -10,20	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	658,6000	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,85	[m]	Y = -4,45	[m]
Inerzia del muro	101,7112	[kN]		
Inerzia verticale del muro	-50,8556	[kN]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	161,6444	[kN]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	-80,8222	[kN]		

### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	881,6137	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	1204,0996	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	1204,0996	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	881,6137	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	2,02	[m]
Lunghezza fondazione reagente	3,76	[m]
Risultante in fondazione	1492,3467	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	36,21	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	2426,3698	[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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 177 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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	0,45	5,6965	3,7606	17,3525
3	0,89	11,8761	15,3371	35,7218
4	1,33	18,5386	35,1696	55,1002
5	1,78	25,6841	63,6957	75,4860
6	2,23	33,3126	101,3528	96,8792
7	2,67	41,4241	148,5786	119,2797
8	3,12	50,0186	205,8103	142,6876
9	3,56	59,0960	273,4856	167,1029
10	4,00	68,6565	352,0419	192,5255
11	4,45	78,7000	441,9167	218,9555
12	4,90	89,2264	543,5474	246,3928
13	5,34	100,2358	657,3716	274,8375
14	5,79	111,7283	783,8267	304,2896
15	6,23	123,7037	923,3502	334,7490
16	6,67	136,1621	1076,3795	366,2158
17	7,12	149,1035	1243,3522	398,6900
18	7,57	162,5279	1424,7058	432,1715
19	8,01	176,4353	1620,8776	466,6604
20	8,46	190,8257	1832,3053	502,1566
21	8,90	205,6991	2059,4093	538,5180

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 178 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

#### Combinazione n° 4

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 6.54

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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymin</sub>
1	0,00	-1,5823	1,1692	-24,3580	44,4844
2	0,22	-8,4255	17,0776	-211,6259	157,7360
3	0,44	-51,0852	50,9333	-216,0849	291,0214
4	0,64	-67,6201	108,1265	0,0000	476,7555
5	0,84	0,0000	190,2801	0,0000	850,1627
6	1,04	0,0000	296,6312	0,0000	1446,3623
7	1,24	0,0000	520,1853	0,0000	2175,9569
8	1,45	0,0000	1018,9517	0,0000	2169,5795
9	2,84	-2574,8467	0,0000	-1131,2695	0,0000
10	3,04	-2352,7472	0,0000	-1090,0885	0,0000
11	3,24	-2194,0771	0,0000	-1018,7073	0,0000
12	3,44	-2009,4367	0,0000	-1030,5267	0,0000
13	3,64	-1795,3594	0,0000	-1192,8721	0,0000
14	3,85	-1560,6119	0,0000	-1076,0889	0,0000
15	4,06	-1352,4019	0,0000	-993,1408	0,0000
16	4,28	-1155,8965	0,0000	-932,2418	0,0000
17	4,49	-972,4064	0,0000	-887,5572	0,0000
18	4,70	-798,8520	0,0000	-854,1214	0,0000
19	4,91	-633,9305	0,0000	-832,5987	0,0000
20	5,13	-475,2500	0,0000	-837,6068	0,0000
21	5,34	-337,2994	0,0000	-879,9762	0,0000
22	5,54	-229,5209	0,0000	-654,1497	0,0000
23	5,74	-141,9923	0,0000	-443,6385	0,0000
24	5,94	-76,3315	0,0000	-308,4997	0,0000
25	6,14	-31,7655	0,0000	-202,8094	24,7359
26	6,34	-10,4497	1,2081	-104,9905	19,4051
27	6,54	0,0000	1,0497	-17,2653	0,0000

#### Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
1	0,00	-2,5274	4,1352	-39,2087	362,1090
2	0,40	-2,9772	37,9894	-392,2886	457,4216
3	0,80	-97,6823	68,0987	-1000,7978	455,2189
4	1,20	-178,5148	105,5287	-387,2313	443,1032
5	1,60	-76,7852	54,2118	-390,4255	1078,0647
6	2,00	-30,9968	87,3718	-392,5302	463,4591
7	2,40	-49,1332	113,8117	-157,3030	146,6520
8	2,80	-35,8030	87,8068	-455,4726	381,6619
9	3,20	-74,5731	44,0691	-1004,9441	379,5767
10	3,60	-170,1838	89,6883	-361,6267	361,6267
11	4,00	-74,5731	44,0691	-379,5767	1004,9441
12	4,40	-35,8030	87,8068	-381,6619	455,4726
13	4,80	-49,1332	113,8117	-146,6520	157,3030
14	5,20	-30,9968	87,3718	-463,4591	392,5302
15	5,60	-76,7852	54,2118	-1078,0647	390,4255
16	6,00	-178,5148	105,5287	-443,1032	387,2313
17	6,40	-97,6823	68,0987	-455,2189	1000,7978

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc. REL	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	OS0100		01	A	179 di 193

18	6,80	-2,9772	37,9894	-457,4216	392,2886
19	7,20	-2,5274	4,1352	-362,1090	39,2087

### COMBINAZIONE n° 5

Valore della spinta statica	406,6325	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	374,2347	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	159,0546	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 3,70	[m]	Y = -6,26	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	23,03	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	54,58	[°]		
Incremento sismico della spinta	339,2107	[kN]		
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta	X = 3,70	[m]	Y = -5,10	[m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	42,64	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 3,70	[m]	Y = -10,20	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	658,6000	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,85	[m]	Y = -4,45	[m]
Inerzia del muro	101,7112	[kN]		
Inerzia verticale del muro	50,8556	[kN]		
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	161,6444	[kN]		
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	80,8222	[kN]		

### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	949,7750	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	1496,4247	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	1496,4247	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	949,7750	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	1,67	[m]
Lunghezza fondazione reagente	4,80	[m]
Risultante in fondazione	1772,3880	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	32,40	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	2497,0582	[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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 180 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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	0,45	5,6965	4,3531	20,0153
3	0,89	11,8761	17,7070	41,0474
4	1,33	18,5386	40,5019	63,0886
5	1,78	25,6841	73,1753	86,1372
6	2,23	33,3126	116,1647	110,1932
7	2,67	41,4241	169,9076	135,2566
8	3,12	50,0186	234,8416	161,3273
9	3,56	59,0960	311,4040	188,4053
10	4,00	68,6565	400,0324	216,4908
11	4,45	78,7000	501,1642	245,5835
12	4,90	89,2264	615,2369	275,6837
13	5,34	100,2358	742,6880	306,7912
14	5,79	111,7283	883,9549	338,9061
15	6,23	123,7037	1039,4752	372,0283
16	6,67	136,1621	1209,6863	406,1579
17	7,12	149,1035	1395,0258	441,2949
18	7,57	162,5279	1595,9310	477,4392
19	8,01	176,4353	1812,8394	514,5909
20	8,46	190,8257	2046,1886	552,7500
21	8,90	205,6991	2296,3992	591,7742

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 181 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

#### Combinazione n° 5

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 6.54

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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymax</sub>
1	0,00	-1,7766	1,2875	-26,8439	49,6604
2	0,22	-9,3086	19,0934	-234,6808	176,4661
3	0,44	-56,5429	57,0481	-239,1316	325,6158
4	0,64	-74,5629	121,1151	0,0000	533,2184
5	0,84	0,0000	213,1119	0,0000	949,9165
6	1,04	0,0000	332,1892	0,0000	1614,1767
7	1,24	0,0000	581,9054	0,0000	2427,1136
8	1,45	0,0000	1138,2363	0,0000	2420,7355
9	2,84	-2385,5849	0,0000	-1053,6605	0,0000
10	3,04	-2178,9043	0,0000	-1012,7109	0,0000
11	3,24	-2047,5680	0,0000	-934,9430	0,0000
12	3,44	-1883,0864	0,0000	-955,7879	0,0000
13	3,64	-1680,0146	0,0000	-1167,8482	0,0000
14	3,85	-1453,3244	0,0000	-1036,1252	0,0000
15	4,06	-1257,9638	0,0000	-943,8822	0,0000
16	4,28	-1073,1579	0,0000	-878,9572	0,0000
17	4,49	-899,8963	0,0000	-829,3382	0,0000
18	4,70	-738,2404	0,0000	-793,3327	0,0000
19	4,91	-585,3010	0,0000	-768,0427	0,0000
20	5,13	-438,9793	0,0000	-765,9377	0,0000
21	5,34	-312,5923	0,0000	-796,7619	0,0000
22	5,54	-213,0396	0,0000	-595,6856	0,0000
23	5,74	-132,1476	0,0000	-407,3629	0,0000
24	5,94	-71,3182	0,0000	-284,2944	0,0000
25	6,14	-29,8787	0,0000	-187,1423	15,7936
26	6,34	-9,4464	0,5683	-96,8961	5,8943
27	6,54	0,0000	1,0120	-15,6703	0,0000

#### Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
1	0,00	-2,8609	4,5556	-43,7184	402,9720
2	0,40	-3,3434	42,2734	-436,9382	509,1716
3	0,80	-108,7648	58,5089	-1122,9346	506,9758
4	1,20	-198,7517	90,6909	-438,4634	502,0709
5	1,60	-85,4889	46,4641	-434,8046	1207,6209
6	2,00	-27,0712	97,2750	-436,9020	516,2453
7	2,40	-42,6622	126,7120	-174,9998	163,1426
8	2,80	-31,0908	97,7596	-507,3511	424,7976
9	3,20	-83,0251	37,9175	-1125,6930	422,7198
10	3,60	-189,4726	77,3138	-409,4601	409,4601
11	4,00	-83,0251	37,9175	-422,7198	1125,6930
12	4,40	-31,0908	97,7596	-424,7976	507,3511
13	4,80	-42,6622	126,7120	-163,1426	174,9998
14	5,20	-27,0712	97,2750	-516,2453	436,9020
15	5,60	-85,4889	46,4641	-1207,6209	434,8046
16	6,00	-198,7517	90,6909	-502,0709	438,4634
17	6,40	-108,7648	58,5089	-506,9758	1122,9346



## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 182 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

18	6,80	-3,3434	42,2734	-509,1716	436,9382
19	7,20	-2,8609	4,5556	-402,9720	43,7184

### COMBINAZIONE n° 6

Valore della spinta statica	406,6325	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	374,2347	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	159,0546	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 3,70	[m]	Y = -6,26	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	23,03	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	54,58	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 3,70	[m]	Y = -10,20	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	658,6000	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,85	[m]	Y = -4,45	[m]

### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	374,2347	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	1232,0643	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	1232,0643	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	374,2347	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,17	[m]
Lunghezza fondazione reagente	6,54	[m]
Risultante in fondazione	1287,6467	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	16,90	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	212,6241	[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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 183 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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	0,45	5,6965	1,2928	6,2416
3	0,89	11,8761	5,4308	13,3814
4	1,33	18,5386	12,8013	21,4119
5	1,78	25,6841	23,7892	30,3312
6	2,23	33,3126	38,7792	40,1393
7	2,67	41,4241	58,1560	50,8362
8	3,12	50,0186	82,3044	62,4219
9	3,56	59,0960	111,6090	74,8965
10	4,00	68,6565	146,4547	88,2599
11	4,45	78,7000	187,2261	102,5121
12	4,90	89,2264	234,3080	117,6531
13	5,34	100,2358	288,0851	133,6829
14	5,79	111,7283	348,9421	150,6016
15	6,23	123,7037	417,2637	168,4090
16	6,67	136,1621	493,4348	187,1053
17	7,12	149,1035	577,8399	206,6904
18	7,57	162,5279	670,8638	227,1644
19	8,01	176,4353	772,8914	248,5271
20	8,46	190,8257	884,3072	270,7787
21	8,90	205,6991	1005,4791	293,7768

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 184 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

#### Combinazione n° 6

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 6.54

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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymax</sub>
1	0,00	-0,7110	0,6387	-13,1582	21,2261
2	0,22	-4,4645	8,0370	-108,2060	73,7153
3	0,44	-26,6080	23,5087	-112,7441	135,8617
4	0,64	-36,4821	49,8742	0,0000	223,5051
5	0,84	0,0000	87,8823	0,0000	402,7120
6	1,04	0,0000	137,1575	0,0000	693,7189
7	1,24	0,0000	243,3771	0,0000	1049,5448
8	1,45	0,0000	483,9736	0,0000	1043,1747
9	2,84	-746,4384	0,0000	-538,2630	312,9316
10	3,04	-627,4041	0,0000	-499,6613	91,5523
11	3,24	-574,4212	0,0000	-373,7719	0,0000
12	3,44	-520,8880	0,0000	-355,2052	0,0000
13	3,64	-436,7476	0,0000	-525,4663	0,0000
14	3,85	-341,3437	0,0000	-416,6352	0,0000
15	4,06	-274,4730	0,0000	-332,9725	0,0000
16	4,28	-218,2082	0,0000	-269,3623	0,0000
17	4,49	-170,0530	0,0000	-212,9622	0,0000
18	4,70	-130,9239	0,0000	-171,4028	0,0000
19	4,91	-100,6784	0,0000	-139,2086	0,0000
20	5,13	-78,0435	0,0000	-114,0343	1,0752
21	5,34	-67,7967	0,0000	-94,5745	43,7829
22	5,54	-67,9603	0,0000	-81,2566	0,0000
23	5,74	-59,0023	0,0000	-72,4065	0,0000
24	5,94	-44,5322	0,0000	-113,3050	0,0000
25	6,14	-21,4837	0,0000	-168,0565	0,0000
26	6,34	-6,0409	0,4377	-86,5533	0,0000
27	6,54	0,0000	0,8192	-13,7390	0,0000

#### Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
1	0,00	-1,0315	3,5161	-18,9500	179,0504
2	0,40	-5,8626	18,7763	-191,9992	225,3495
3	0,80	-47,9788	8,2735	-457,0223	223,0744
4	1,20	-87,7545	0,0000	-160,2452	182,6344
5	1,60	-37,7503	8,5764	-191,3682	499,8035
6	2,00	0,0000	42,9568	-193,5498	226,6735
7	2,40	0,0000	55,9554	-78,0032	72,7607
8	2,80	0,0000	43,1699	-222,7566	188,2252
9	3,20	-36,6672	8,6532	-465,9935	186,0622
10	3,60	-83,6759	0,0000	-149,6939	149,6939
11	4,00	-36,6672	8,6532	-186,0622	465,9935
12	4,40	0,0000	43,1699	-188,2252	222,7566
13	4,80	0,0000	55,9554	-72,7607	78,0032
14	5,20	0,0000	42,9568	-226,6735	193,5498
15	5,60	-37,7503	8,5764	-499,8035	191,3682
16	6,00	-87,7545	0,0000	-182,6344	160,2452
17	6,40	-47,9788	8,2735	-223,0744	457,0223





## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc. REL	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	OS0100		01	A	185 di 193

18	6,80	-5,8626	18,7763	-225,3495	191,9992
19	7,20	-1,0315	3,5161	-179,0504	18,9500

### COMBINAZIONE n° 7

Valore della spinta statica	446,4931	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	410,8521	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	174,8046	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 3,70	[m]	Y = -5,99	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	23,05	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	56,27	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 3,70	[m]	Y = -10,20	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	798,7731	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,85	[m]	Y = -4,45	[m]

### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	410,8521	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	1387,9874	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	1387,9874	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	410,8521	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,16	[m]
Lunghezza fondazione reagente	6,54	[m]
Risultante in fondazione	1447,5180	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	16,49	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	218,7381	[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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 186 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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	0,45	5,6965	2,2829	10,6755
3	0,89	11,8761	9,3630	22,1542
4	1,33	18,5386	21,5841	34,4229
5	1,78	25,6841	39,2860	47,4787
6	2,23	33,3126	62,8082	61,3220
7	2,67	41,4241	92,4904	75,9530
8	3,12	50,0186	128,6724	91,3720
9	3,56	59,0960	171,6941	107,5792
10	4,00	68,6565	221,8955	124,5749
11	4,45	78,7000	279,6167	142,3590
12	4,90	89,2264	345,1978	160,9319
13	5,34	100,2358	418,9790	180,2936
14	5,79	111,7283	501,3006	200,4443
15	6,23	123,7037	592,5029	221,3841
16	6,67	136,1621	692,9262	243,1130
17	7,12	149,1035	802,9110	265,6311
18	7,57	162,5279	922,7978	288,9385
19	8,01	176,4353	1052,9268	313,0354
20	8,46	190,8257	1193,6387	337,9218
21	8,90	205,6991	1345,2590	363,4712

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 187 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

#### Combinazione n° 7

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 6.54

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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymax</sub>
1	0,00	-0,8061	0,6966	-14,3884	23,7720
2	0,22	-4,8968	9,0237	-119,4960	82,8879
3	0,44	-29,2793	26,5017	-124,0187	152,7962
4	0,64	-39,8803	56,2315	0,0000	251,1468
5	0,84	0,0000	99,0574	0,0000	451,5551
6	1,04	0,0000	154,5615	0,0000	775,8603
7	1,24	0,0000	273,5863	0,0000	1172,4751
8	1,45	0,0000	542,3579	0,0000	1166,1035
9	2,84	-878,2249	0,0000	-640,9405	316,4645
10	3,04	-737,6643	0,0000	-593,9947	76,4871
11	3,24	-671,8878	0,0000	-448,0158	0,0000
12	3,44	-606,6301	0,0000	-424,2883	0,0000
13	3,64	-507,5421	0,0000	-612,3418	0,0000
14	3,85	-396,2617	0,0000	-485,8904	0,0000
15	4,06	-317,6950	0,0000	-388,7126	0,0000
16	4,28	-251,7338	0,0000	-314,1117	0,0000
17	4,49	-195,4941	0,0000	-247,9044	0,0000
18	4,70	-149,9642	0,0000	-199,2951	0,0000
19	4,91	-114,9265	0,0000	-161,1536	0,0000
20	5,13	-88,8727	0,0000	-131,2055	1,8940
21	5,34	-77,3839	0,0000	-108,2395	54,2912
22	5,54	-77,9273	0,0000	-92,7132	0,0000
23	5,74	-67,8587	0,0000	-82,4363	0,0000
24	5,94	-51,3392	0,0000	-130,0260	0,0000
25	6,14	-24,7755	0,0000	-194,2843	0,0000
26	6,34	-6,9779	0,5499	-100,1277	0,0000
27	6,54	0,0000	0,9445	-15,8770	0,0000

#### Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
1	0,00	-1,1948	4,0552	-21,1666	198,9912
2	0,40	-6,7018	20,8731	-213,8645	250,6730
3	0,80	-53,4031	9,3102	-515,7756	248,4127
4	1,20	-97,6596	0,0000	-184,5984	210,4693
5	1,60	-42,0104	9,6549	-213,0958	562,4928
6	2,00	0,0000	47,8040	-215,2617	252,5225
7	2,40	0,0000	62,2695	-86,6454	80,8129
8	2,80	0,0000	48,0413	-248,1617	209,3320
9	3,20	-40,8040	9,7446	-524,4211	207,1850
10	3,60	-93,1169	0,0000	-172,4327	172,4327
11	4,00	-40,8040	9,7446	-207,1850	524,4211
12	4,40	0,0000	48,0413	-209,3320	248,1617
13	4,80	0,0000	62,2695	-80,8129	86,6454
14	5,20	0,0000	47,8040	-252,5225	215,2617
15	5,60	-42,0104	9,6549	-562,4928	213,0958
16	6,00	-97,6596	0,0000	-210,4693	184,5984
17	6,40	-53,4031	9,3102	-248,4127	515,7756



## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 188 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

18	6,80	-6,7018	20,8731	-250,6730	213,8645
19	7,20	-1,1948	4,0552	-198,9912	21,1666

### COMBINAZIONE n° 8

Valore della spinta statica	460,3475	[kN]		
Componente orizzontale della spinta statica	423,5777	[kN]		
Componente verticale della spinta statica	180,2823	[kN]		
Punto d'applicazione della spinta	X = 3,70	[m]	Y = -5,91	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	23,06	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	56,89	[°]		
Punto d'applicazione della spinta della falda	X = 3,70	[m]	Y = -10,20	[m]
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	845,4974	[kN]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1,85	[m]	Y = -4,45	[m]

### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	423,5777	[kN]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	1440,1895	[kN]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	1440,1895	[kN]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	423,5777	[kN]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0,15	[m]
Lunghezza fondazione reagente	6,54	[m]
Risultante in fondazione	1501,1875	[kN]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	16,39	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	222,0791	[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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 189 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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	0,45	5,6965	2,6129	12,1535
3	0,89	11,8761	10,6737	25,0786
4	1,33	18,5386	24,5119	38,7604
5	1,78	25,6841	44,4522	53,1958
6	2,23	33,3126	70,8193	68,3853
7	2,67	41,4241	103,9380	84,3294
8	3,12	50,0186	144,1336	101,0286
9	3,56	59,0960	191,7312	118,4832
10	4,00	68,6565	247,0564	136,6935
11	4,45	78,7000	310,4346	155,6598
12	4,90	89,2264	382,1915	175,3825
13	5,34	100,2358	462,6531	195,8618
14	5,79	111,7283	552,1452	217,0978
15	6,23	123,7037	650,9938	239,0908
16	6,67	136,1621	759,5251	261,8410
17	7,12	149,1035	878,0652	285,3485
18	7,57	162,5279	1006,9404	309,6136
19	8,01	176,4353	1146,4770	334,6363
20	8,46	190,8257	1297,0015	360,4167
21	8,90	205,6991	1458,8257	386,8336

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 190 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### Inviluppo sollecitazioni piastra di fondazione

#### Combinazione n° 8

Dimensioni della piastra

Larghezza(m) = 7.20 Altezza(m) = 6.54

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 <sub>ymin</sub>	M <sub>ymax</sub>	T <sub>ymin</sub>	T <sub>ymin</sub>
1	0,00	-0,8385	0,7164	-14,8073	24,6399
2	0,22	-5,0443	9,3603	-123,3479	86,0174
3	0,44	-30,1907	27,5229	-127,8660	158,5741
4	0,64	-41,0398	58,4006	0,0000	260,5779
5	0,84	0,0000	102,8704	0,0000	468,2195
6	1,04	0,0000	160,4998	0,0000	803,8871
7	1,24	0,0000	283,8938	0,0000	1214,4193
8	1,45	0,0000	562,2789	0,0000	1208,0473
9	2,84	-923,2002	0,0000	-675,4702	317,2275
10	3,04	-775,4131	0,0000	-625,7386	71,3817
11	3,24	-705,3341	0,0000	-473,0883	0,0000
12	3,44	-636,0987	0,0000	-447,8452	0,0000
13	3,64	-531,9517	0,0000	-641,7121	0,0000
14	3,85	-415,3031	0,0000	-509,3797	0,0000
15	4,06	-332,7453	0,0000	-407,6919	0,0000
16	4,28	-263,4684	0,0000	-329,4276	0,0000
17	4,49	-204,4499	0,0000	-259,9545	0,0000
18	4,70	-156,7025	0,0000	-208,9582	0,0000
19	4,91	-119,9844	0,0000	-168,8177	0,0000
20	5,13	-92,7116	0,0000	-137,2494	1,9721
21	5,34	-80,7217	0,0000	-113,0739	56,9886
22	5,54	-81,3119	0,0000	-96,7636	0,0000
23	5,74	-70,8233	0,0000	-85,9530	0,0000
24	5,94	-53,5951	0,0000	-135,6842	0,0000
25	6,14	-25,8632	0,0000	-202,9055	0,0000
26	6,34	-7,2860	0,5809	-104,5787	0,0000
27	6,54	0,0000	0,9860	-16,5799	0,0000

#### Sollecitazioni in direzione X

Nr.	X	M <sub>xmin</sub>	M <sub>xmax</sub>	T <sub>xmin</sub>	T <sub>xmax</sub>
1	0,00	-1,2505	4,2337	-21,9224	205,7991
2	0,40	-6,9721	21,5885	-221,3243	259,3138
3	0,80	-55,2539	9,6578	-535,8769	257,0579
4	1,20	-101,0392	0,0000	-192,9468	220,0211
5	1,60	-43,4639	10,0164	-220,5090	583,9216
6	2,00	0,0000	49,4579	-222,6702	261,3415
7	2,40	0,0000	64,4239	-89,5955	83,5616
8	2,80	0,0000	49,7034	-256,8292	216,5341
9	3,20	-42,2155	10,1102	-544,3932	214,3918
10	3,60	-96,3382	0,0000	-180,2277	180,2277
11	4,00	-42,2155	10,1102	-214,3918	544,3932
12	4,40	0,0000	49,7034	-216,5341	256,8292
13	4,80	0,0000	64,4239	-83,5616	89,5955
14	5,20	0,0000	49,4579	-261,3415	222,6702
15	5,60	-43,4639	10,0164	-583,9216	220,5090
16	6,00	-101,0392	0,0000	-220,0211	192,9468
17	6,40	-55,2539	9,6578	-257,0579	535,8769



## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 191 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

18	6,80	-6,9721	21,5885	-259,3138	221,3243
19	7,20	-1,2505	4,2337	-205,7991	21,9224

## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 192 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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	0,45	5,6965	5,6965	1,6995	60,0495	8,1141	38,1141
3	0,89	11,8761	11,8761	7,1374	78,8374	17,3959	47,3959
4	1,33	18,5386	18,5386	16,8204	101,8704	27,8355	63,0886
5	1,78	25,6841	25,6841	31,2522	129,6522	39,4305	86,1372
6	2,23	33,3126	33,3126	50,9362	162,6862	52,1811	110,1932
7	2,67	41,4241	41,4241	76,3758	201,4758	66,0871	135,2566
8	3,12	50,0186	50,0186	108,0742	246,5242	81,1485	161,3273
9	3,56	59,0960	59,0960	146,5350	311,4040	97,3655	188,4053
10	4,00	68,6565	68,6565	192,2615	400,0324	114,7378	216,4908
11	4,45	78,7000	78,7000	245,7571	501,1642	133,2657	245,5835
12	4,90	89,2264	89,2264	307,5251	615,2369	152,9490	275,6837
13	5,34	100,2358	100,2358	378,0689	742,6880	173,7878	306,7912
14	5,79	111,7283	111,7283	457,8920	883,9549	195,7820	338,9061
15	6,23	123,7037	123,7037	547,4978	1039,4752	218,9318	372,0283
16	6,67	136,1621	136,1621	647,3895	1209,6863	243,2369	406,1579
17	7,12	149,1035	149,1035	758,0706	1395,0258	268,6976	441,2949
18	7,57	162,5279	162,5279	880,0445	1595,9310	295,3137	477,4392
19	8,01	176,4353	176,4353	1013,8145	1812,8394	323,0852	514,5909
20	8,46	190,8257	190,8257	1159,8841	2046,1886	352,0123	552,7500
21	8,90	205,6991	205,6991	1318,7346	2296,3992	381,9099	591,7742

#### 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	0,45	5,6965	5,6965	1,2928	2,6129	6,2416	12,1535
3	0,89	11,8761	11,8761	5,4308	10,6737	13,3814	25,0786
4	1,33	18,5386	18,5386	12,8013	24,5119	21,4119	38,7604
5	1,78	25,6841	25,6841	23,7892	44,4522	30,3312	53,1958
6	2,23	33,3126	33,3126	38,7792	70,8193	40,1393	68,3853
7	2,67	41,4241	41,4241	58,1560	103,9380	50,8362	84,3294
8	3,12	50,0186	50,0186	82,3044	144,1336	62,4219	101,0286
9	3,56	59,0960	59,0960	111,6090	191,7312	74,8965	118,4832
10	4,00	68,6565	68,6565	146,4547	247,0564	88,2599	136,6935
11	4,45	78,7000	78,7000	187,2261	310,4346	102,5121	155,6598
12	4,90	89,2264	89,2264	234,3080	382,1915	117,6531	175,3825
13	5,34	100,2358	100,2358	288,0851	462,6531	133,6829	195,8618
14	5,79	111,7283	111,7283	348,9421	552,1452	150,6016	217,0978
15	6,23	123,7037	123,7037	417,2637	650,9938	168,4090	239,0908
16	6,67	136,1621	136,1621	493,4348	759,5251	187,1053	261,8410
17	7,12	149,1035	149,1035	577,8399	878,0652	206,6904	285,3485
18	7,57	162,5279	162,5279	670,8638	1006,9404	227,1644	309,6136
19	8,01	176,4353	176,4353	772,8914	1146,4770	248,5271	334,6363
20	8,46	190,8257	190,8257	884,3072	1297,0015	270,7787	360,4167
21	8,90	205,6991	205,6991	1005,4791	1458,8257	293,7768	386,8336



## 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-sostegno in sinistra da 0+586.50 a 0+669.60

Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS0100	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 193 di 193
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------------

### 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.