

**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**

<b>CONTRAENTE GENERALE:</b> 	<i>Il responsabile del Contraente Generale:</i>  Ing. Federico Montanari	<i>Il responsabile Integrazioni delle Prestazioni Specialistiche:</i>  Ing. Salvatore Lieto
--	--	---

<i>PROGETTAZIONE: Associazione Temporanea di Imprese</i>			
<i>Mandataria:</i>		<i>Mandanti:</i>	
			

RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE PER I'ATI  Ing. Antonio Grimaldi  GEOLOGO Dott. Geol. Fabrizio Pontoni  COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE Ing. Michele Curiale			
---	---	--	---

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO  Ing. Iginio Farotti		
---	--	--

<b>2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE</b> <b>3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud</b> <b>4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia</b>  <b>OPERE D'ARTE MINORI: GENERALE</b> Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 Relazione tecnica e di calcolo	SCALA:
	DATA:  Settembre 2020

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

Codice Elaborato:	Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.
	L 0 7 0 3	2 1 3	E	1 6	M U 0 0 1 8	R E L	0 1	A

REV.	DATA	DESCRIZIONE	Redatto		Controllato	Approvato
A	Settembre 2020	Emissione PE	Progin	M. Tartaglia	S.Lieto	A.Grimaldi

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 2 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

### INDICE

<b>1. GENERALITÀ.....</b>	<b>4</b>
<b>2. DESCRIZIONE DELL' OPERA .....</b>	<b>4</b>
<b>3. UNITA' DI MISURA .....</b>	<b>5</b>
<b>4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>5. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI .....</b>	<b>7</b>
5.1 CALCESTRUZZO PARAMENTO MURI C25/30.....	7
5.2 CALCESTRUZZO C32/40.....	7
5.3 ACCIAIO DI ARMATURA B450C.....	8
<b>6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>9</b>
<b>7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA .....</b>	<b>9</b>
<b>8. VERIFICHE STRUTTURALI – CRITERI GENERALI.....</b>	<b>12</b>
8.1 VERIFICA SLE.....	12
8.1.1 Verifiche delle tensioni.....	12
8.1.2 Verifiche a fessurazione.....	13
8.2 VERIFICHE ALLO SLU .....	14
8.2.1 Pressoflessione .....	14
8.2.2 Taglio.....	15
<b>9. CRITERI DI ANALISI E VERIFICA DEI MURI DI SOSTEGNO.....</b>	<b>17</b>
9.1 VERIFICHE DI STABILITA' LOCALE .....	17
9.1.1 Verifica allo scorrimento .....	17
9.1.2 Verifica a carico limite.....	19
9.1.3 Verifica al Ribaltamento.....	21
9.2 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE .....	22
9.2.1 Richiami teorici ed impostazione delle analisi.....	22
9.2.2 Il metodo di BISHOP.....	24
9.2.3 Prescrizioni del DM 14-01-08 .....	24
9.2.4 Stabilità di opere di materiali sciolti e fronti di scavo .....	24
9.2.5 Verifiche in fase sismica.....	25
9.3 STATI LIMITE E COMBINAZIONI DI CALCOLO AI SENSI DM 14.01.08.....	27
<b>10. ANALISI DEI PALI .....</b>	<b>29</b>
10.1 ANALISI AGLI STATI LIMITE .....	29
10.2 METODOLOGIA DI CALCOLO CAPACITÀ PORTANTE AI CARICHI VERTICALI ..	30
10.3 CURVE DI CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI.....	30
10.4 CALCOLO COEFFICIENTE ALFA DI MATLOCK-REESE.....	33
<b>11. ANALISI DEI CARICHI.....</b>	<b>34</b>
11.1 CARICHI FISSI.....	34
11.2 SPINTE DEL TERRENO .....	34
11.3 SOVRACCARICHI ACCIDENTALI .....	37
11.4 AZIONE SISMICA.....	39
11.4.1 Forze d'inerzia.....	40
11.4.2 Effetti sismici sulle spinte del terreno.....	40
11.4.3 Effetti dell'Azione sismica sulla falda .....	40
<b>12. COMBINAZIONI DI CALCOLO .....</b>	<b>41</b>

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 3 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

### 13. RISULTATI ANALISI E VERIFICHE ..... 44

13.1 RISULTATI ANALISI E VERIFICHE MURI DI CONTRORIPA TIPO 1 ..... 44

13.1.1 Modelli di calcolo ..... 44

13.1.2 Verifiche strutturali ..... 47

## 1. GENERALITÀ

Nella presente relazione vengono descritte le analisi e le verifiche strutturali relative ai muri di sostegno in c.a., ai muri di sottoscarpa in c.a. ed ai muri di controripa in c.a. che interessano gli stralci funzionali 3 e 4 di completamento del tratto della Pedemontana Marche, che si sviluppa per oltre 13 km.

## 2. DESCRIZIONE DELL' OPERA

Le Analisi e Verifiche nel seguito esposte fanno in particolare riferimento all' opera di sostegno MU18 situata in SX dell'asse stradale, dal km 4+480 al km 4+529.65 per uno sviluppo totale di 49.65 m.

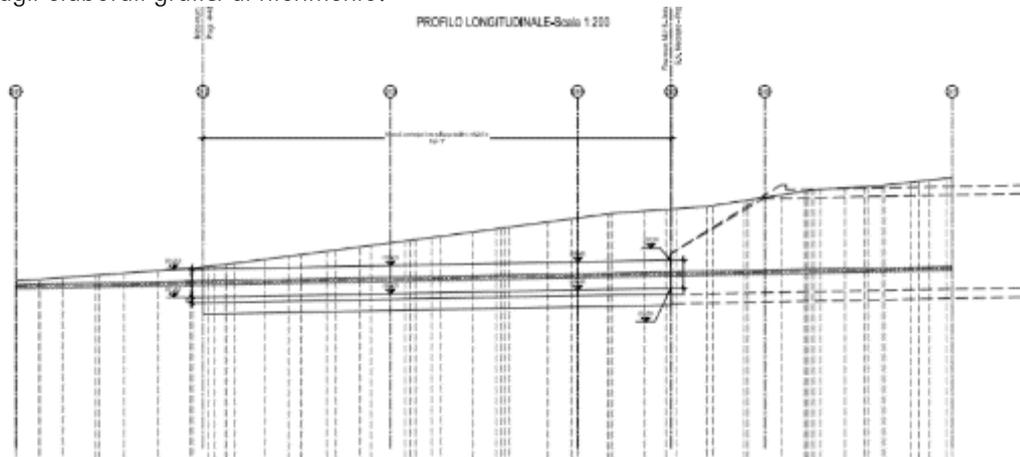
L'opera di sostegno è costituita da muri di controripa in c.a. In particolare: *muro di controripa di tipo 1*.

Le principali caratteristiche geometriche dei muri in questione sono riassunte nella tabella seguente:

Pk (km+m)		Tipo	Lunghezza opera [m]	ALTEZZA PARAMENTO	FONDAZIONE SUPERFICILAE		FONDAZIONE PROFONDA		
Inizio	Fine			Hp [m]	h [m]	Lf [m]	n.pali allineati [-]	D [mm]	L pali [m]
4+480.00	4+529.65	1	49.65	3	0.60	3.80			

**Tabella 2.1 – Caratteristiche geometriche dei muri di controripa**

Di seguito si riportano alcune immagini rappresentative delle sezioni di muro presenti. Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici di riferimento:



**Figura 2.1 - Profilo longitudinale opera di controripa MU18**

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	16	MU0018	REL	01	A	5 di 59

SEZIONE N. : 243

Q. PROGETTO : 333.546

DIST.PROG. : 4+500,00

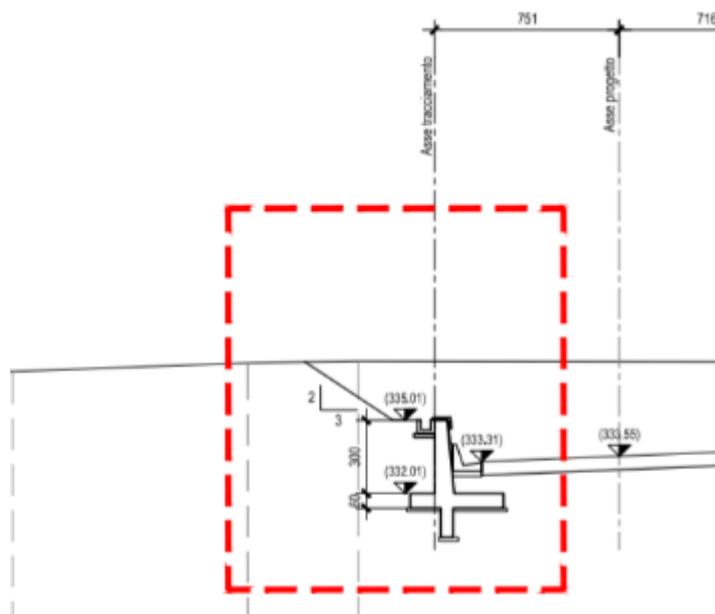


Figura 2.2 – Sezione opera di controripa di tipo 1, Hparam=3m

### 3. UNITA' DI MISURA

Nel seguito si adatteranno 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

### 4. 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.*

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 6 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

- 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.*

## 5. 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.

### 5.1 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
- $\sigma_t = f_{ctm} / 1.2 = 2.13$  MPa tensione limite di fessurazione (trazione)

### 5.2 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

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 8 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

### 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)

### 5.3 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

## 6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Nel presente paragrafo si riporta la caratterizzazione geotecnica specifica per l'opera in esame. Per dettagli si rimanda alla Relazione Geotecnica Generale. Si sottolinea, comunque, che mediamente il profilo stratigrafico presenta un primo strato costituito da depositi alluvionali od eluvio colluviali limoso-argillosi che si estendono per una profondità media di circa 17 m. Al di sotto di tale strato è presente una fascia di spessore variabile costituita da argilla limosa marnosa, consistente che sovrasta il substrato a carattere da semilitoide a litoide, rappresenta la parte superiore alterata del substrato. Quest'ultimo è costituito dalla Formazione di Camerino (e sovrastante Formazione gessoso-solfifera).

Analizzando il profilo geologico geotecnico, con riferimento ai tratti di ubicazione dell'opera di sostegno oggetto di dimensionamento, è possibile dunque assumere cautelativamente, la seguente configurazione stratigrafica:

**Tabella 6.1 – Stratigrafia di riferimento MU08**

Unità geotecnica	Profondità [m] da p.c.	Descrizione	Tipo di sottosuolo
Ecla	0 ÷ 23	Depositi Eluvio colluviali limoso argillosi	C
<b>Falda:</b> La falda è riscontrata a profondità variabili. Nelle analisi assume cautelativamente un livello di <b>falda prossima ad una profondità di 1 metri dal piano di posa della fondazione.</b>			

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

**Tabella 6.2 – Parametri geotecnici**

	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]	$c'$ [kPa]
Ecla	19.0	25	10

$\gamma$  = peso dell'unità di volume

$\phi'$  = angolo di resistenza al taglio

$c'$  = coesione drenata

Il rinterro a tergo del muro di sostegno viene realizzato con materiale da rilevato stradale, vengono pertanto considerati i seguenti parametri caratteristici:

$\gamma_{terr}=20 \text{ kN/m}^3$       Peso Specifico;

$\phi=35^\circ$       Angolo di attrito;

$c=0$       Coesione.

## 7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

L'opera è progettata per una vita nominale VN 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 CU = 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:

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	16	MU0018	REL	01	A	10 di 59

- 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;
- $a_{g,SLV}$  = **0.220 g**;
- $F_{0,SLV}$  = **2.544**;
- $T_{c,SLV}^*$  = **0.333 sec.**

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 11 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### Accelerazione ( $a_g$ ), fattore ( $F_0$ ) e periodo ( $T^*c$ )

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

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

Categoria di suolo	B
Categoria topografica	T1
$S_s$ , fattore stratigrafico	1.176
$S_T$ , fattore topografico	1.0

## 8. VERIFICHE STRUTTURALI – CRITERI GENERALI

### 8.1 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:

#### 8.1.1 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

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

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

#### CALCESTRUZZO C25/30

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

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

#### ACCIAIO

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

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

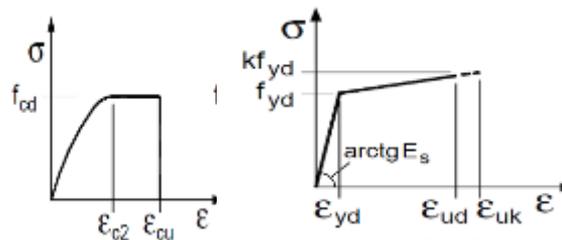
Combinazione Frequente :  $w \leq 0.3 \text{ mm}$

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.

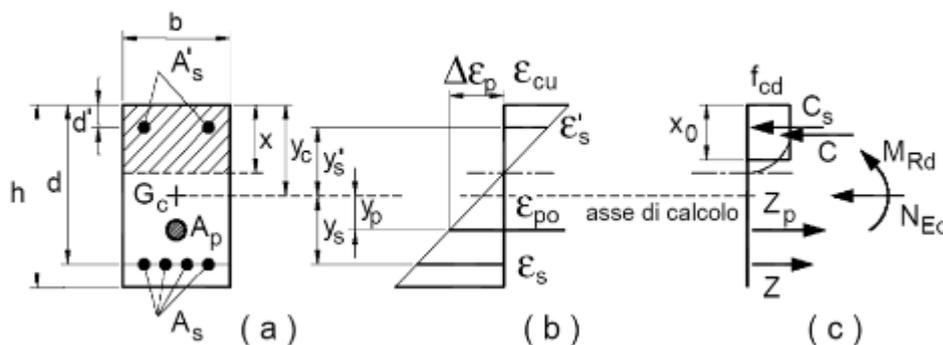
## 8.2 VERIFICHE ALLO SLU

### 8.2.1 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.

### 8.2.2 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.

$$1 \leq \text{ctg} \theta \leq 2,5 \quad 45^\circ \geq \theta \geq 21.8^\circ$$

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

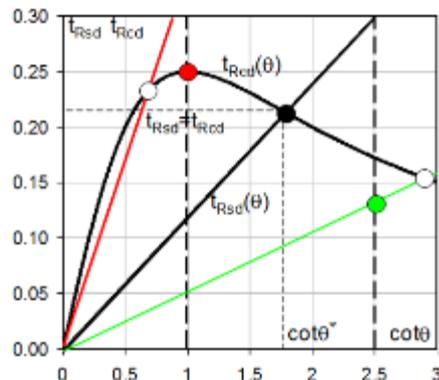
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 16 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



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  $\cot \theta = 1,0$ .

## 9. CRITERI DI ANALISI E VERIFICA DEI MURI DI SOSTEGNO

### 9.1 VERIFICHE DI STABILITÀ LOCALE

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

#### 9.1.1 Verifica allo scorrimento

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

$$F_r / F_s \geq \eta_s$$

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

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

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

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

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

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

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

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

Nel caso di fondazione con dente, viene calcolata la resistenza passiva sviluppatasi lungo il cuneopassante per lo spigolo inferiore del dente, inclinato dell'angolo  $\varrho$  (rispetto all'orizzontale). Tale cuneo viene individuato attraverso un procedimento iterativo volto a determinare il coefficiente di sicurezza a scorrimento minimo. In dipendenza della geometria della fondazione e del dente, dei parametri geotecnici del terreno e del carico risultante in fondazione, tale cuneo può avere forma triangolare o trapezoidale. Detta  $N$  la componente normale del carico agente sul piano di

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

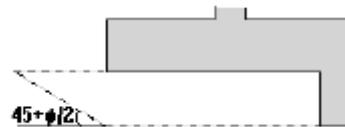
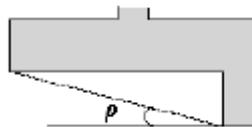
Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	16	MU0018	REL	01	A	18 di 59

posadella fondazione,  $Q$  l'aliquota di carico gravante sul cuneo passivo,  $Sp$  la resistenza passiva,  $Lc$  l'ampiezza del cuneo e indicando con  $\delta_f$  l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con  $ca$  l'adesione terreno-fondazione e con  $Br$  la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come:

$$Fr = (N - Q) \cdot \operatorname{tg}(\delta_f) + Sp + ca \cdot Lr$$

con  $Lr = Br - Lc$



### 9.1.2 Verifica a carico limite

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

$$Q_u / R \geq \eta_q$$

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

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

#### Caso generale

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

#### Caso di terreno puramente coesivo $\phi=0$

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

in cui:

$d_c, d_q, d_\gamma$ , sono i fattori di profondità;

$s_c, s_q, s_\gamma$ , sono i fattori di forma;

$i_c, i_q, i_\gamma$ , sono i fattori di inclinazione del carico;

$b_c, b_q, b_\gamma$ , sono i fattori di inclinazione del piano di posa;

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

I fattori  $N_c, N_q, N_\gamma$  sono espressi come:

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

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

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

Risulta inoltre:

#### Fattori di forma

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

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

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

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

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 20 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### Fattori di profondità

Si definisce il parametro  $k$  come:

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

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

I vari coefficienti si esprimono come:

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

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

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

$$d_\gamma = 1$$

### Fattori di inclinazione del carico

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

I fattori di inclinazione del carico si esprimono come:

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

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

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

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

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

$c_a$  : adesione alla base delle fondazione

### Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

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

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

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

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

**2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**
**3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud**
**4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia**

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 21 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Fattori di inclinazione del terreno

 Indicando con  $\beta$  la pendenza del pendio i fattori  $g$  si ottengono dalle espressioni seguenti:

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

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

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

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

$$H < V \operatorname{tg} \delta + A r c_a$$

$$\beta \leq \phi$$

$$i_x, i_y > 0$$

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

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

### 9.1.3 Verifica al Ribaltamento

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

Deve quindi essere verificata la seguente disequaglianza

$$M_s / M_r \geq \eta_r$$

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

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

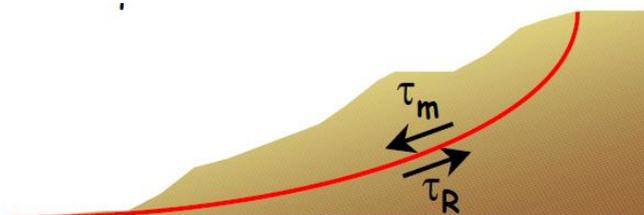
## 9.2 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

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

### 9.2.1 Richiami teorici ed impostazione delle analisi

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

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



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

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

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

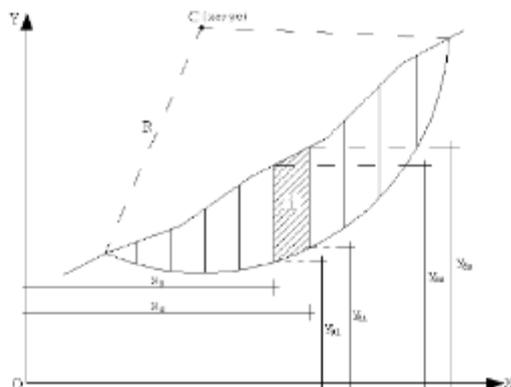
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

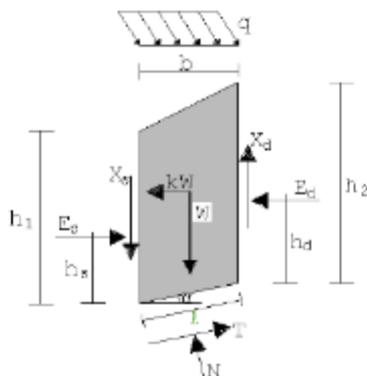
Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	16	MU0018	REL	01	A	23 di 59



Il sistema di riferimento assunto è riportato in figura.



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

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

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

**2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**
**3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud**
**4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia**

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 24 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### 9.2.2 Il metodo di BISHOP

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

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

con

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

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

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

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

### 9.2.3 Prescrizioni del DM 14-01-08

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

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

### 9.2.4 Stabilità di opere di materiali sciolti e fronti di scavo

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

Le verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 1-Combinazione 2 (A2+M2+R2) tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.1, 6.2.11 e 6.8.1.

**2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**
**3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud**
**4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia**

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 25 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_i$ (o $\gamma_e$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{e1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{e2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{e3}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

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

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

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

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

Coefficiente	R2
$\gamma_R$	1,1

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

$$c'_d = c' / 1,25;$$

$$\varphi'_d = \arctan (1 / 1,25 \cdot \tan \varphi').$$

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

### 9.2.5 Verifiche in fase sismica

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

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

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

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

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 26 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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

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

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

### 7.11.1 REQUISITI NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE

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

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

La circolare applicativa n°17 specifica ulteriormente al C7.11.4 che, Le verifiche pseudostatiche di sicurezza dei fronti di scavo e dei rilevati si eseguono con la combinazione di coefficienti parziali di cui al § 6.8.2:  $(A_2 + M_2 + R_2)$ , utilizzando valori unitari per i coefficienti parziali  $A_2$  come specificato al § 7.11.1.

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

### 9.3 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 6.2.1 e 6.2.11 per le azioni e i parametri geotecnici, e della Tabelle 6.5.1 e 6.8.1 per ciò che concerne i coefficienti parziali sulle resistenze che di seguito si riportano per maggiore chiarezza.

**Tabella 6.2.1 – 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	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

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

**2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 28 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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

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

**Tabella 6.5.1 - 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	$\gamma_k = 1,0$	$\gamma_k = 1,0$	$\gamma_k = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_k = 1,0$	$\gamma_k = 1,0$	$\gamma_k = 1,1$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_k = 1,0$	$\gamma_k = 1,0$	$\gamma_k = 1,4$

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

Coefficiente	R2
$\gamma_k$	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

## 10. ANALISI DEI PALI

Nel presente paragrafo si riportano le metodologie di calcolo della capacità portante per i pali trivellati di grande diametro previsti in progetto e per i pali dei muri andatori.

### 10.1 ANALISI AGLI STATI LIMITE

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

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

essendo

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

dove:

$F_{cd}$  = carico assiale di compressione di progetto;

$R_{cd}$  = capacità portante di progetto nei confronti dei carichi assiali;

$R_k$  = valore caratteristico della capacità portante limite del palo.

In particolare le verifiche di capacità portante dei pali agli stati limite ultimi (SLU) vengono condotte con riferimento ad almeno uno dei due approcci:

Approccio 1:

$$\text{Combinazione 1: } A1 + M1 + R1$$

$$\text{Combinazione 2: } A2 + M1 + R2$$

Approccio 2:

$$\text{Combinazione 1: } A1 + M1 + R3$$

tenendo conto dei coefficienti parziali di riferimento normativo.

La resistenza di progetto a compressione  $R_{c,d}$  è calcolata applicando al valore caratteristico della resistenza  $R_{c,k}$  i coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati in tabella seguente, relativi alla condizione di pali trivellati. Il valore caratteristico della resistenza  $R_{c,k}$  a compressione è ottenuto applicando i fattori di correlazione  $\xi_3$  e  $\xi_4$  (vedasi tabella seguente) alle resistenze di calcolo  $R_{cal}$ ; tali fattori sono funzione del numero di verticali d'indagine rappresentative.

Per ogni opera verrà assunto un coefficiente  $\xi_3$  in funzione delle verticali di indagine eseguite. Nella tabella si riassumono i fattori di sicurezza assunti per ciascuna opera d'arte principale.

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

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 30 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

**Tabella 1 - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche**

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	$\gamma_t$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

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

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

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

**Tabella 2 - Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali d'indagine**

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

## 10.2 METODOLOGIA DI CALCOLO CAPACITÀ PORTANTE AI CARICHI VERTICALI

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

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

dove:

$Q_{ll}$  = portata laterale limite,

$Q_{bl}$  = portata di base limite,

$W'p$  = peso efficace del palo (al netto del peso del terreno asportato),

FSL = fattore di sicurezza per la portata laterale ( $=\xi_3 \cdot \gamma_s$ ).

FSB = fattore di sicurezza per la portata di base ( $=\xi_3 \cdot \gamma_b$ ).

## 10.3 CURVE DI CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI

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



## 2.12PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 32 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

10	948.8	1122.9	2046.5	25.1	396.6	400.3	771.8	500.0	504.1	979.0
11	1133.4	1132.9	2238.7	27.6	473.7	403.9	850.0	597.3	508.6	1078.3
12	1335.6	1143.0	2448.4	30.1	558.3	407.5	935.6	703.9	513.1	1186.9
13	1386.0	1959.4	3312.7	32.7	579.3	698.5	1245.2	730.4	879.6	1577.4
14	1689.3	2155.3	3809.5	35.2	706.1	768.4	1439.3	890.3	967.6	1822.7
15	2000.2	2351.2	4313.7	37.7	836.0	838.2	1636.6	1054.1	1055.5	2072.0
16	2315.1	2547.2	4822.1	40.2	967.6	908.1	1835.5	1220.1	1143.5	2323.4
17	2630.8	2743.1	5331.2	42.7	1099.6	977.9	2034.8	1386.5	1231.5	2575.2
18	2944.0	2913.9	5812.7	45.2	1230.5	1038.8	2224.1	1551.5	1308.2	2814.5
19	3251.6	2913.9	6117.8	47.7	1359.1	1038.8	2350.2	1713.6	1308.2	2974.1
20	3550.4	2913.9	6414.1	50.2	1484.0	1038.8	2472.6	1871.1	1308.2	3129.0
21	3837.3	2913.9	6698.4	52.8	1603.9	1038.8	2590.0	2022.3	1308.2	3277.7
22	4109.2	2913.9	6967.8	55.3	1717.5	1038.8	2701.1	2165.6	1308.2	3418.5
23	4363.1	2913.9	7219.2	57.8	1823.6	1038.8	2804.7	2299.4	1308.2	3549.8
24	4596.0	2913.9	7449.6	60.3	1921.0	1038.8	2899.5	2422.1	1308.2	3670.0
25	4804.9	2913.9	7656.0	62.8	2008.3	1038.8	2984.4	2532.2	1308.2	3777.6
26	4992.7	2913.9	7841.3	65.3	2086.8	1038.8	3060.3	2631.2	1308.2	3874.0
27	5184.6	2913.9	8030.7	67.8	2167.0	1038.8	3138.0	2732.3	1308.2	3972.6
28	5384.6	2913.9	8228.2	70.3	2250.6	1038.8	3219.1	2837.7	1308.2	4075.5
29	5592.8	2913.9	8433.8	72.8	2337.6	1038.8	3303.6	2947.4	1308.2	4182.7
30	5809.1	2913.9	8647.7	75.4	2428.0	1038.8	3391.5	3061.5	1308.2	4294.2

**Tabella –Capacità portante palo D=800 mm – MU14**

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 33 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### 10.4 CALCOLO COEFFICIENTE ALFA DI MATLOCK-REESE

La modellazione dei muri su pali è stata condotta nell'ipotesi di palo incernierato in testa, tale da ottenere un momento flettente, in testa palo, a valle dell'analisi, pari a zero. Da qui la necessità di valutare l'azione flettente attraverso il coefficiente  $\alpha$  di Matlock-Reese, tale che, per definizione:

$$\alpha = \frac{M}{T}$$

da cui:

$$M = \alpha T$$

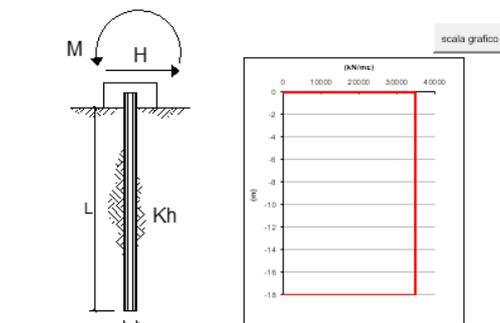
dove:

- M rappresenta il momento flettente;
- T rappresenta il taglio.

Il calcolo di  $\alpha$  è stato condotto utilizzando il foglio Excel:

— M. Mancina, R. Nori, P. Iasiello - Progetti e Calcoli di Geotecnica con Excel vol.2 - ed. DEI—

di cui si riporta la schermata principale:



strati terreno	descrizione	quote (m)	$k_h$ (kN/m <sup>3</sup> )	$n_h$ (kN/m <sup>2</sup> )
p.c.=strato 1		0.00	35000	0
W strato 2		-23.00	35000	
□ strato 3				
□ strato 4				
□ strato 5				
□ strato 6				

Diametro del palo: 0.8 (m)  
 J palo: 0.02011 (m<sup>4</sup>)  
 Lunghezza del palo: 18 (m)  
 Forza orizzontale in testa: 620 (kN)  
 Momento in testa: 0 (kNm)  
 E cls: 31475.81 (Mpa)  
 dimensione elementi: 0.2 (m)

palo impedito di ruotare  
 palo impedito di traslare  
 palo libero

Calcolo (CTRL+R)

— M. Mancina, R. Nori, P. Iasiello - Progetti e Calcoli di Geotecnica con Excel vol.2 - ed. DEI—

In testa al palo è stata applicata l'azione tagliante ottenuta dall'analisi eseguita con MAX 15. Inoltre, si sottolinea che la valutazione del coefficiente  $\alpha$  è stata eseguita nell'ipotesi di  $k_h$  costante con la profondità.

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

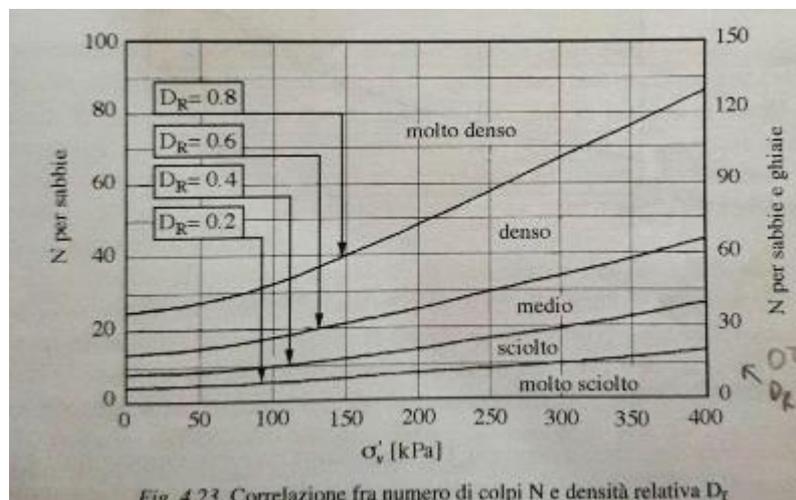
Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 34 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Lo stesso  $k_h$ , per le diverse tipologie di terreno è stato valutato in funzione delle indicazioni contenuta nella seguente tabella, estratta da "C. Viggiani, Fondazioni":

Valori tipici di  $k_1$  [N/cm<sup>3</sup>] per terreni coesivi sovraconsolidati (da C. Viggiani, Fondazioni)

Consistenza	Compatta ( $c_u = 50+100$ kPa)	Molto compatta ( $c_u = 100+200$ kPa)	Dura ( $c_u > 200$ kPa)
Campo	18 ÷ 35	35 ÷ 70	> 70
Valore consigliato	25	50	100

In particolar modo la scelta del campo di valori è stata eseguita in funzione della coesione non drenata del singolo strato, del numero di colpi  $N_{SPT}$  e del grafico sottostante, estratto da "C. Viggiani, Fondazioni":



In definitiva si ha:

Muro	Strato	$\alpha$	$k_h$ (kN/m <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$	$c_u$ (kPa)
Controripa tipo 2	Ala	1.7	25000	15	75

## 11. ANALISI DEI CARICHI

### 11.1 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>

### 11.2 SPINTE DEL TERRENO

Per la valutazione delle spinte del terreno in fase statica, si è fatto riferimento al metodo di Culmann, che

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

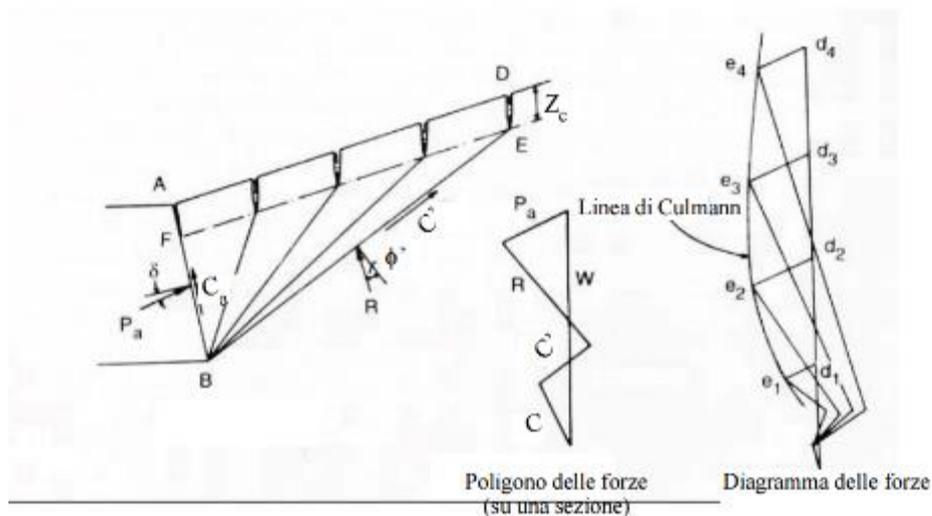
4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	16	MU0018	REL	01	A	35 di 59

ben si adatta a superfici di pendio a monte dell'opera di forma generica.



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

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

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

I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione  $\theta$  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  $S$  rispetto all'ordinata  $z$ . Noto il diagramma delle pressioni è possibile ricavare il punto di applicazione della spinta.

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



## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 36 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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

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

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

$$c' = 0$$

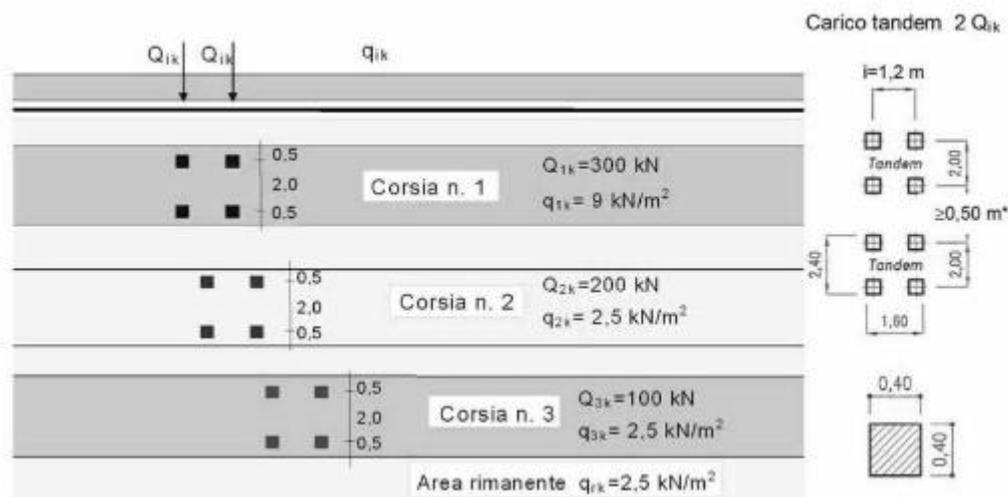
$$\varphi' = 35$$

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

In particolare, per i muri fondati su pali la spinta è stata valutata in condizioni di riposo, essendo lo spostamento di quest'ultimi non consentito.

### 11.3 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 stabiliti al punto 5.1.3.3.3 del DM 14/01/08 di cui nel seguito:



**Figura 1 – 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;
- una terza colonna di carichi (ingombro = 3 m), analoga alla precedente, ma con carichi pari rispettivamente a 200 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;
- un carico uniforme  $q_{rk} = 2.5$  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  $Q_{ik}$ , 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:

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 38 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

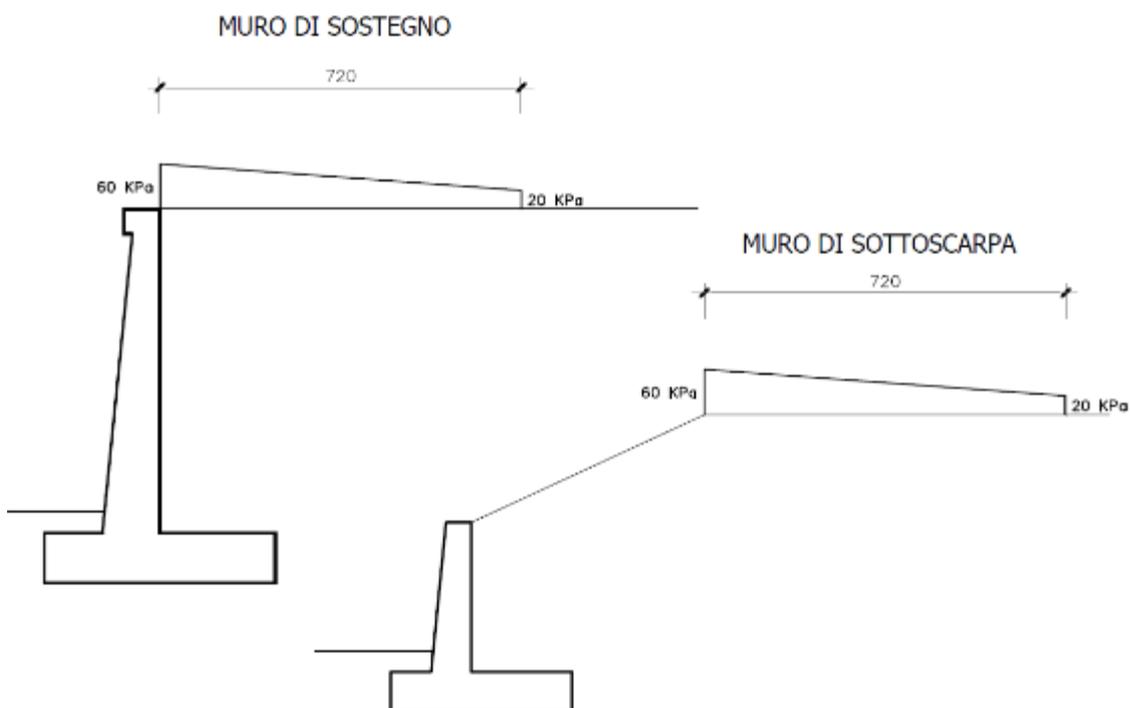
$$Q1k d = 600 / 2.40 \times 5.00 = 50 \text{ KN/m}^2$$

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

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

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:



Schemi Carico Azioni da traffico Veicolare

## 11.4 AZIONE SISMICA

Per la Valutazione degli effetti dell'azione sismica sulle masse e sui coefficienti di spinta del terreno, si è fatto riferimento al metodo pseudo-statico previsto al punto 7.11.3.5.2 - "Metodi di Analisi" - delle 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
	$\beta_m$	$\beta_m$
$0,2 < a_g(g) < 0,4$	0,31	0,31
$0,1 < a_g(g) < 0,2$	0,29	0,24
$a_g(g) < 0,1$	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:
  - $a_g/g = 0.220$ ;
  - $a_{max}/g = 0.259$
  - $\beta_m = 0.31$ ;
  - $k_h = 0.080$
- Per i muri su pali:
  - $a_g/g = 0.220$ ;
  - $a_{max}/g = 0.259$
  - $\beta_m = 1$ ;
  - $k_h = 0.259$

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 40 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### 11.4.1 Forze d'inerzia

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

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

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

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

### 11.4.2 Effetti sismici sulle spinte del terreno

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

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

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

### 11.4.3 Effetti dell'Azione sismica sulla falda

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

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

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

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

## 12. COMBINAZIONI DI CALCOLO

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

*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 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
Traffico	1.35	1.00	Sfavorevole

### Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3) H + V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

### Combinazione n° 3 - STR (A1-M1-R3) H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

### Combinazione n° 4 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Traffico	1.15	1.00	Sfavorevole

### Combinazione n° 5 - GEO (A2-M2-R2) H + V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

### Combinazione n° 6 - GEO (A2-M2-R2) H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

### Combinazione n° 7 - EQU

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	0.90	--	Favorevole
Peso terrapieno	0.90	--	Favorevole
Spinta terreno	1.10	--	Sfavorevole
Traffico	1.35	1.00	Sfavorevole

### Combinazione n° 8 - EQU H + V

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 42 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

### Combinazione n° 9 - EQU H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

### Combinazione n° 10 - SLER

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Traffico	1.00	1.00	Sfavorevole

### Combinazione n° 11 - SLEF

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Traffico	1.00	0.75	Sfavorevole

### Combinazione n° 12 - SLEQ

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Si sottolinea che per i muri con fondazioni profonde non sono state eseguite le combinazioni EQU, essendo esse prive di consistenza. Si riportano, pertanto, le combinazioni utilizzate nel caso di muri su fondazioni profonde:

### Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole

### Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3) H + V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

### Combinazione n° 3 - STR (A1-M1-R3) H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 43 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### Combinazione n° 4 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

### Combinazione n° 5 - GEO (A2-M2-R2) H + V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

### Combinazione n° 6 - GEO (A2-M2-R2) H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

### Combinazione n° 7 - SLER

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

### Combinazione n° 8 - SLEF

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

### Combinazione n° 9 - SLEO

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

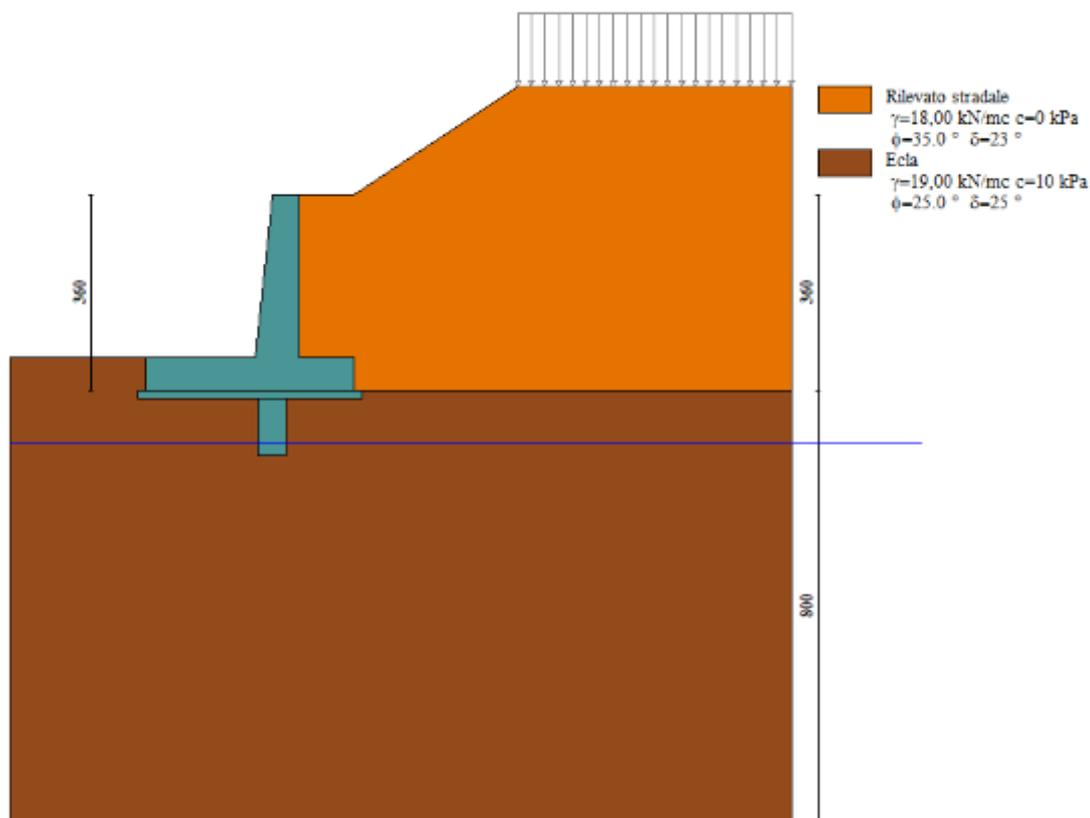
## 13. RISULTATI ANALISI E VERIFICHE

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

### 13.1 RISULTATI ANALISI E VERIFICHE MURI DI CONTRORIPA TIPO 1

#### 13.1.1 Modelli di calcolo

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



Modello di calcolo muro

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

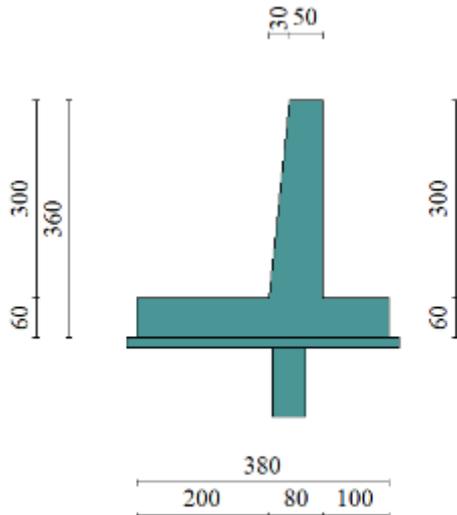
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 45 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



Geometria muro  
Spinta e forze

Simbologia adottata

Ic Indice della combinazione

A Tipo azione

I Inclinazione della spinta, espressa in [°]

V Valore dell'azione, espressa in [kN]

CX, CY Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]

PX, PY Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

Ic	A	V [kN]	I [°]	Cx [kN]	Cy [kN]	Px [m]	Py [m]
1	Spinta statica	74.58	23.33	68.49	29.54	1.00	-2.31
	Peso/Inerzia muro			0.00	118.66/0.00	-0.62	-2.73
	Peso/Inerzia terrapieno			0.00	54.00/0.00	0.50	-1.50
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				0.00	0.00	0.00
	Resistenza passiva sperone			-73.48			
2	Spinta statica	49.28	23.33	45.25	19.52	1.00	-2.30
	Incremento di spinta sismica		14.63	13.43	5.79	1.00	-2.40
	Peso/Inerzia muro			9.51	118.66/4.75	-0.62	-2.73
	Peso/Inerzia terrapieno			4.33	54.00/2.16	0.50	-1.50
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				0.00	0.00	0.00
	Resistenza passiva sperone			-75.49			

Risultanti globali

Simbologia adottata

Cmb Indice/Tipo combinazione

N Componente normale al piano di posa, espressa in [kN]

T Componente parallela al piano di posa, espressa in [kN]

Mr Momento ribaltante, espresso in [kNm]

Ms Momento stabilizzante, espresso in [kNm]

ecc Eccentricità risultante, espressa in [m]

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 46 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### Sollecitazioni

#### Elementi calcolati a trave

##### Simbologia adottata

N	Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione.
T	Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle
M	Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)

### Paramento

n°	X [m]	Nmin [kN]	Nmax [kN]	Tmin [kN]	Tmax [kN]	Mmin [kNm]	Mmax [kNm]
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	-0.10	1.24	1.24	0.02	0.13	0.00	0.00
3	-0.20	2.50	2.50	0.08	0.32	-0.01	0.02
4	-0.30	3.79	3.79	0.18	0.58	-0.01	0.04
5	-0.40	5.10	5.10	0.33	0.90	-0.01	0.10
6	-0.50	6.44	6.44	0.51	1.28	0.00	0.17
7	-0.60	7.80	7.80	0.73	1.73	0.03	0.29
8	-0.70	9.19	9.19	0.99	2.24	0.07	0.44
9	-0.80	10.60	10.60	1.29	2.81	0.14	0.64
10	-0.90	12.04	12.04	1.64	3.45	0.22	0.90
11	-1.00	13.50	13.50	2.02	4.15	0.34	1.21
12	-1.10	14.99	14.99	2.45	4.91	0.49	1.59
13	-1.20	16.50	16.50	2.91	5.73	0.68	2.05
14	-1.30	18.04	18.04	3.42	6.62	0.91	2.57
15	-1.40	19.60	19.60	3.96	7.57	1.18	3.19
16	-1.50	21.19	21.19	4.56	8.60	1.50	3.89
17	-1.60	22.80	22.80	5.22	9.71	1.88	4.70
18	-1.70	24.44	24.44	5.97	10.94	2.32	5.61
19	-1.80	26.10	26.10	6.83	12.30	2.83	6.64
20	-1.90	27.79	27.79	7.81	13.80	3.42	7.81
21	-2.00	29.50	29.50	8.91	15.44	4.11	9.12
22	-2.10	31.23	31.23	10.11	17.20	4.91	10.60
23	-2.20	33.00	33.00	11.38	19.07	5.82	12.25
24	-2.30	34.78	34.78	12.73	21.02	6.85	14.08
25	-2.40	36.59	36.59	14.13	23.07	8.01	16.10
26	-2.50	38.43	38.43	15.60	25.19	9.31	18.32
27	-2.60	40.29	40.29	17.13	27.40	10.75	20.75
28	-2.70	42.18	42.18	18.71	29.68	12.33	23.40
29	-2.80	44.09	44.09	20.35	32.05	14.06	26.26
30	-2.90	46.02	46.02	22.04	34.49	15.95	29.36
31	-3.00	47.98	47.98	23.79	37.01	18.01	32.70

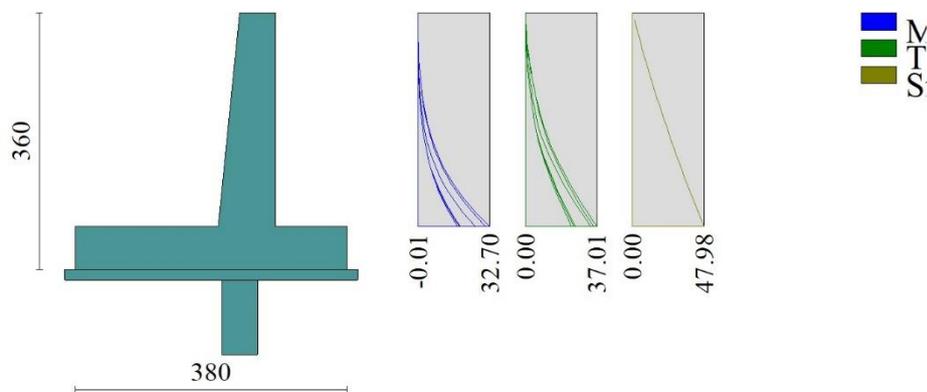


Fig. 6 - Paramento

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 47 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### Fondazione

n°	X [m]	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]	T <sub>min</sub> [kN]	T <sub>max</sub> [kN]	M <sub>min</sub> [kNm]	M <sub>max</sub> [kNm]
1	-2.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	-2.70	0.00	0.00	0.05	1.11	0.00	0.05
3	-2.60	0.00	0.00	0.29	2.38	0.02	0.23
4	-2.50	0.00	0.00	0.72	3.79	0.06	0.53
5	-2.40	0.00	0.00	1.34	5.36	0.17	0.99
6	-2.30	0.00	0.00	2.15	7.08	0.34	1.61
7	-2.20	0.00	0.00	3.15	8.94	0.60	2.41
8	-2.10	0.00	0.00	4.35	10.96	0.98	3.41
9	-2.00	0.00	0.00	5.73	13.14	1.48	4.61
10	-1.90	0.00	0.00	7.30	15.46	2.13	6.04
11	-1.80	0.00	0.00	9.07	17.93	2.95	7.71
12	-1.70	0.00	0.00	11.02	20.56	3.95	9.63
13	-1.60	0.00	0.00	13.17	23.33	5.16	11.82
14	-1.50	0.00	0.00	15.50	26.26	6.59	14.30
15	-1.40	0.00	0.00	18.03	29.34	8.26	17.08
16	-1.30	0.00	0.00	20.75	32.57	10.20	20.17
17	-1.20	0.00	0.00	23.66	35.95	12.42	23.60
18	-1.10	0.00	0.00	26.76	39.48	14.94	27.37
19	-1.00	0.00	0.00	30.05	43.17	17.78	31.50
20	-0.90	0.00	0.00	33.53	47.00	20.95	36.01
21	-0.80	0.00	0.00	37.20	50.99	24.49	40.90
22	0.00	0.00	0.00	-8.31	8.53	-2.76	5.85
23	0.10	0.00	0.00	-6.73	8.54	-2.01	5.00
24	0.20	0.00	0.00	-5.31	8.35	-1.41	4.15
25	0.30	0.00	0.00	-4.06	7.97	-0.94	3.34
26	0.40	0.00	0.00	-2.98	7.41	-0.59	2.57
27	0.50	0.00	0.00	-2.07	6.65	-0.34	1.86
28	0.60	0.00	0.00	-1.32	5.70	-0.17	1.24
29	0.70	0.00	0.00	-0.74	4.56	-0.07	0.73
30	0.80	0.00	0.00	-0.32	3.23	-0.02	0.34
31	0.90	0.00	0.00	-0.08	1.71	0.00	0.09
32	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

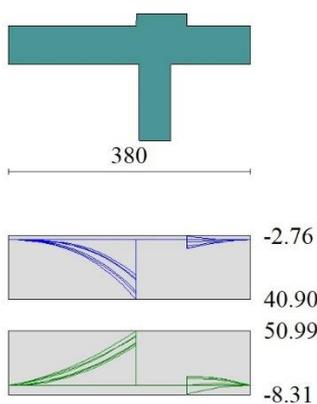


Fig. 7 - Fondazione

### 13.1.2 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		Armatura a taglio
	Af1	Af2	At
PARAMENTO	1f14/20cm	1f14/20cm	[-]

## 2.12PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 48 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

FONDAZIONE	1f14/20cm	1f14/20cm	[-]
SPERONE	1f14/20cm	1f14/20cm	[-]

dove:

Af1 armatura lato teso;

Af2 armatura lato compresso;

At armatura a taglio.

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

#### Verifiche a flessione

##### Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

n°	indice sezione
Y	ordinata sezione espressa in [m]
B	larghezza sezione espressa in [cm]
H	altezza sezione espressa in [cm]
Afi	area ferri inferiori espressa in [cmq]
Afs	area ferri superiori espressa in [cmq]
M	momento agente espressa in [kNm]
N	sforzo normale agente espressa in [kN]
Mu	momento ultimi espressa in [kNm]
Nu	sforzo normale ultimo espressa in [kN]
FS	fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente)

### Paramento

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	Mu [kNm]	Nu [kN]	FS
1	100	50	7.70	7.70	0.00	0.00	0.00	0.00	100000.000
2	100	51	7.70	7.70	0.00	0.00	0.00	0.00	100000.000
3	100	52	7.70	7.70	0.02	2.50	40.18	6475.68	2588.712
4	100	53	7.70	7.70	0.04	3.79	73.82	6590.34	1739.052
5	100	54	7.70	7.70	0.10	5.10	125.18	6705.00	1314.029
6	100	55	7.70	7.70	0.03	6.44	31.49	6819.66	1058.864
7	100	56	7.70	7.70	0.07	7.80	65.30	6934.32	888.632
8	100	57	7.70	7.70	0.44	9.19	339.86	7046.29	766.644
9	100	58	7.70	7.70	0.64	10.60	415.62	6832.82	644.380
10	100	59	7.70	7.70	0.90	12.04	492.38	6588.66	547.174
11	100	60	7.70	7.70	1.21	13.50	568.48	6323.00	468.242
12	100	61	7.70	7.70	1.59	14.99	642.11	6039.44	402.871
13	100	62	7.70	7.70	2.05	16.50	711.04	5737.12	347.635
14	100	63	7.70	7.70	2.57	18.04	773.60	5420.24	300.450
15	100	64	7.70	7.70	3.19	19.60	830.40	5105.30	260.442
16	100	65	7.70	7.70	3.89	21.19	881.60	4798.77	226.470
17	100	66	7.70	7.70	4.70	22.80	919.51	4464.66	195.808
18	100	67	7.70	7.70	5.61	24.44	938.52	4090.23	167.372
19	100	68	7.70	7.70	6.64	26.10	938.92	3690.70	141.408
20	100	69	7.70	7.70	7.81	27.79	923.42	3286.67	118.284
21	100	70	7.70	7.70	9.12	29.50	893.28	2888.53	97.924
22	100	71	7.70	7.70	10.60	31.23	852.71	2512.75	80.449
23	100	72	7.70	7.70	12.25	33.00	795.33	2142.43	64.931
24	100	73	15.39	15.39	14.08	34.78	1118.25	2762.29	79.418
25	100	74	15.39	15.39	16.10	36.59	1084.16	2463.64	67.326
26	100	75	15.39	15.39	18.32	38.43	1048.58	2198.97	57.222
27	100	76	7.70	7.70	20.75	40.29	564.04	1094.98	27.178
28	100	77	7.70	7.70	23.40	42.18	529.27	954.04	22.621
29	100	78	7.70	7.70	26.26	44.09	503.08	844.45	19.155
30	100	79	7.70	7.70	29.36	46.02	482.96	757.00	16.449

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 49 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	Mu [kNm]	Nu [kN]	FS
31	100	80	7.70	7.70	32.70	47.98	461.00	676.50	14.099

### Fondazione

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	Mu [kNm]	Nu [kN]	FS
1	100	60	7.70	7.70	0.00	0.00	0.00	0.00	100000.000
2	100	60	7.70	7.70	0.05	0.00	547.53	0.00	10070.595
3	100	60	7.70	7.70	0.23	0.00	547.53	0.00	2406.103
4	100	60	7.70	7.70	0.53	0.00	547.53	0.00	1024.010
5	100	60	7.70	7.70	0.99	0.00	547.53	0.00	552.563
6	100	60	7.70	7.70	1.61	0.00	547.53	0.00	339.810
7	100	60	7.70	7.70	2.41	0.00	547.53	0.00	227.098
8	100	60	7.70	7.70	3.41	0.00	547.53	0.00	160.796
9	100	60	7.70	7.70	4.61	0.00	547.53	0.00	118.800
10	100	60	7.70	7.70	6.04	0.00	547.53	0.00	90.693
11	100	60	7.70	7.70	7.71	0.00	547.53	0.00	71.058
12	100	60	7.70	7.70	9.63	0.00	547.53	0.00	56.866
13	100	60	7.70	7.70	11.82	0.00	547.53	0.00	46.316
14	100	60	7.70	7.70	14.30	0.00	547.53	0.00	38.289
15	100	60	7.70	7.70	17.08	0.00	547.53	0.00	32.059
16	100	60	7.70	7.70	20.17	0.00	547.53	0.00	27.142
17	100	60	7.70	7.70	23.60	0.00	547.53	0.00	23.203
18	100	60	7.70	7.70	27.37	0.00	547.53	0.00	20.007
19	100	60	7.70	7.70	31.50	0.00	547.53	0.00	17.383
20	100	60	7.70	7.70	36.01	0.00	547.53	0.00	15.207
21	100	60	7.70	7.70	40.90	0.00	547.53	0.00	13.386
22	100	60	7.70	7.70	4.43	0.00	547.53	0.00	123.476
23	100	60	7.70	7.70	3.80	0.00	547.53	0.00	144.241
24	100	60	7.70	7.70	3.16	0.00	547.53	0.00	173.237
25	100	60	7.70	7.70	2.54	0.00	547.53	0.00	215.281
26	100	60	7.70	7.70	1.96	0.00	547.53	0.00	279.451
27	100	60	7.70	7.70	1.42	0.00	547.53	0.00	384.598
28	100	60	7.70	7.70	0.95	0.00	547.53	0.00	575.464
29	100	60	7.70	7.70	0.56	0.00	547.53	0.00	981.447
30	100	60	7.70	7.70	0.26	0.00	547.53	0.00	2121.972
31	100	60	7.70	7.70	0.07	0.00	547.53	0.00	8168.708
32	100	60	7.70	7.70	0.00	0.00	0.00	0.00	100000.000

### Sperone

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	Mu [kNm]	Nu [kN]	FS
1	100	50	12.57	12.57	58.04	0.00	701.76	0.00	12.091

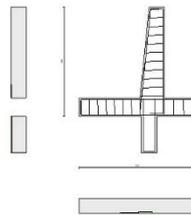


Fig. 8 - Paramento (Inviluppo)

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	16	MU0018	REL	01	A	50 di 59

### Verifiche a taglio

#### Simbologia adottata

Is	indice sezione
Y	ordinata sezione espressa in [m]
B	larghezza sezione espresso in [cm]
H	altezza sezione espressa in [cm]
A <sub>sw</sub>	area ferri a taglio espresso in [cmq]
cotθ	inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
V <sub>Rcd</sub>	resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kN]
V <sub>Rsd</sub>	resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kN]
V <sub>Rd</sub>	resistenza di progetto a taglio espresso in [kN]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio (A <sub>sw</sub> >0.0) V <sub>Rd</sub> =min(V <sub>Rcd</sub> , V <sub>Rsd</sub> ).
T	taglio agente espressa in [kN]
FS	fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente)

### Paramento

n°	B [cm]	H [cm]	A <sub>sw</sub> [cmq]	cotθ	V <sub>Rcd</sub> [kN]	V <sub>Rsd</sub> [kN]	V <sub>Rd</sub> [kN]	T [kN]	FS
1	100	50	0.00	--	0.00	0.00	187.04	0.00	100.000
2	100	51	0.00	--	0.00	0.00	189.14	0.13	1453.994
3	100	52	0.00	--	0.00	0.00	191.22	0.32	590.383
4	100	53	0.00	--	0.00	0.00	193.29	0.58	332.729
5	100	54	0.00	--	0.00	0.00	195.35	0.90	216.892
6	100	55	0.00	--	0.00	0.00	197.40	1.28	153.808
7	100	56	0.00	--	0.00	0.00	199.43	1.73	115.323
8	100	57	0.00	--	0.00	0.00	201.46	2.24	89.997
9	100	58	0.00	--	0.00	0.00	203.48	2.81	72.388
10	100	59	0.00	--	0.00	0.00	205.48	3.45	59.620
11	100	60	0.00	--	0.00	0.00	207.48	4.15	50.051
12	100	61	0.00	--	0.00	0.00	209.47	4.91	42.684
13	100	62	0.00	--	0.00	0.00	211.45	5.73	36.885
14	100	63	0.00	--	0.00	0.00	213.42	6.62	32.233
15	100	64	0.00	--	0.00	0.00	215.39	7.57	28.441
16	100	65	0.00	--	0.00	0.00	217.34	8.60	25.273
17	100	66	0.00	--	0.00	0.00	219.29	9.71	22.577
18	100	67	0.00	--	0.00	0.00	221.48	10.94	20.249
19	100	68	0.00	--	0.00	0.00	224.27	12.30	18.234
20	100	69	0.00	--	0.00	0.00	227.05	13.80	16.453
21	100	70	0.00	--	0.00	0.00	229.84	15.44	14.885
22	100	71	0.00	--	0.00	0.00	232.62	17.20	13.522
23	100	72	0.00	--	0.00	0.00	235.41	19.07	12.347
24	100	73	0.00	--	0.00	0.00	239.95	21.02	11.387
25	100	74	0.00	--	0.00	0.00	244.28	23.07	10.758
26	100	75	0.00	--	0.00	0.00	248.59	25.19	10.274
27	100	76	0.00	--	0.00	0.00	252.84	27.40	9.898
28	100	77	0.00	--	0.00	0.00	257.07	29.68	9.599
29	100	78	0.00	--	0.00	0.00	261.29	32.05	9.366
30	100	79	0.00	--	0.00	0.00	265.48	34.49	9.189
31	100	80	0.00	--	0.00	0.00	269.66	37.01	9.053

### Fondazione

n°	B [cm]	H [cm]	A <sub>sw</sub> [cmq]	cotθ	V <sub>Rcd</sub> [kN]	V <sub>Rsd</sub> [kN]	V <sub>Rd</sub> [kN]	T [kN]	FS
1	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	0.00	100.000
2	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	-1.11	207.125
3	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	-2.38	96.972
4	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	-3.79	60.780
5	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	-5.36	43.012
6	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	-7.08	32.571
7	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	-8.94	25.765
8	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	-10.96	21.018
9	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	-13.14	17.544
10	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	-15.46	14.908
11	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	-17.93	12.852
12	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	-20.56	11.210
13	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	-23.33	9.877
14	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	-26.26	8.776
15	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	-29.34	7.855

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 51 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

n°	B [cm]	H [cm]	A <sub>sw</sub> [cmq]	cotθ	V <sub>Rcd</sub> [kN]	V <sub>Rsd</sub> [kN]	V <sub>Rd</sub> [kN]	T [kN]	FS
16	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	-32.57	7.076
17	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	-35.95	6.410
18	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	-39.48	5.837
19	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	-43.17	5.339
20	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	-47.00	4.903
21	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	-50.99	4.520
22	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	-8.31	27.726
23	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	-6.73	34.253
24	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	6.29	36.646
25	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	6.03	38.206
26	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	5.62	40.978
27	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	5.06	45.503
28	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	4.35	52.927
29	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	3.49	65.986
30	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	2.48	92.941
31	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	1.32	175.197
32	100	60	0.00	--	0.00	0.00	230.45	0.00	100.000

### Sperone

n°	B [cm]	H [cm]	A <sub>sw</sub> [cmq]	cotθ	V <sub>Rcd</sub> [kN]	V <sub>Rsd</sub> [kN]	V <sub>Rd</sub> [kN]	T [kN]	FS
1	100	50	0.00	--	0.00	0.00	242.41	72.51	3.343

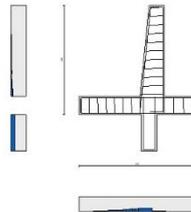


Fig. 9 - Paramento (Inviluppo)

### Verifica delle tensioni

#### Simbologia adottata

n°	indice sezione
Y	ordinata sezione, espressa in [m]
B	larghezza sezione, espressa in [cm]
H	altezza sezione, espressa in [cm]
A <sub>fi</sub>	area ferri inferiori, espressa in [cmq]
A <sub>fs</sub>	area ferri superiori, espressa in [cmq]
M	momento agente, espressa in [kNm]
N	sforzo normale agente, espressa in [kN]
σ <sub>c</sub>	tensione di compressione nel cls, espressa in [kPa]
σ <sub>fi</sub>	tensione nei ferri inferiori, espressa in [kPa]
σ <sub>fs</sub>	tensione nei ferri superiori, espressa in [kPa]

### Combinazioni SLER

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 52 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14940 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 360000 [kPa]

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	σc [kPa]	σfi [kPa]	σfs [kPa]
1	100	50	7.70	7.70	0.00	0.00	0 (10)	0 (10)	0 (10)
2	100	51	7.70	7.70	0.00	1.24	2 (10)	35 (10)	34 (10)
3	100	52	7.70	7.70	-0.01	2.50	5 (10)	71 (10)	67 (10)
4	100	53	7.70	7.70	-0.01	3.79	7 (10)	105 (10)	100 (10)
5	100	54	7.70	7.70	-0.01	5.10	9 (10)	138 (10)	134 (10)
6	100	55	7.70	7.70	0.00	6.44	11 (10)	167 (10)	169 (10)
7	100	56	7.70	7.70	0.03	7.80	14 (10)	194 (10)	207 (10)
8	100	57	7.70	7.70	0.07	9.19	17 (10)	217 (10)	247 (10)
9	100	58	7.70	7.70	0.14	10.60	20 (10)	235 (10)	291 (10)
10	100	59	7.70	7.70	0.22	12.04	23 (10)	249 (10)	339 (10)
11	100	60	7.70	7.70	0.34	13.50	27 (10)	258 (10)	391 (10)
12	100	61	7.70	7.70	0.49	14.99	31 (10)	261 (10)	447 (10)
13	100	62	7.70	7.70	0.68	16.50	35 (10)	259 (10)	508 (10)
14	100	63	7.70	7.70	0.91	18.04	40 (10)	252 (10)	575 (10)
15	100	64	7.70	7.70	1.18	19.60	45 (10)	238 (10)	646 (10)
16	100	65	7.70	7.70	1.50	21.19	51 (10)	218 (10)	723 (10)
17	100	66	7.70	7.70	1.88	22.80	57 (10)	191 (10)	806 (10)
18	100	67	7.70	7.70	2.33	24.44	64 (10)	157 (10)	897 (10)
19	100	68	7.70	7.70	2.85	26.10	71 (10)	114 (10)	996 (10)
20	100	69	7.70	7.70	3.47	27.79	79 (10)	59 (10)	1105 (10)
21	100	70	7.70	7.70	4.19	29.50	89 (10)	22 (10)	1231 (10)
22	100	71	7.70	7.70	5.04	31.23	100 (10)	147 (10)	1381 (10)
23	100	72	7.70	7.70	6.01	33.00	113 (10)	335 (10)	1560 (10)
24	100	73	15.39	15.39	7.13	34.78	121 (10)	464 (10)	1653 (10)
25	100	74	15.39	15.39	8.38	36.59	137 (10)	764 (10)	1869 (10)
26	100	75	15.39	15.39	9.79	38.43	157 (10)	1169 (10)	2116 (10)
27	100	76	7.70	7.70	11.35	40.29	202 (10)	2458 (10)	2677 (10)
28	100	77	7.70	7.70	13.08	42.18	235 (10)	3564 (10)	3070 (10)
29	100	78	7.70	7.70	14.98	44.09	272 (10)	4972 (10)	3504 (10)
30	100	79	7.70	7.70	17.05	46.02	312 (10)	6689 (10)	3971 (10)
31	100	80	7.70	7.70	19.31	47.98	357 (10)	8749 (10)	4478 (10)

### Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 19920 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 1255271 [kPa]

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	σc [kPa]	σfi [kPa]	σfs [kPa]
1	100	60	7.70	7.70	0.00	0.00	0 (10)	0 (10)	0 (10)
2	100	60	7.70	7.70	0.01	0.00	0 (10)	28 (10)	0 (1)
3	100	60	7.70	7.70	0.06	0.00	2 (10)	144 (10)	16 (10)
4	100	60	7.70	7.70	0.16	0.00	6 (10)	392 (10)	43 (10)
5	100	60	7.70	7.70	0.33	0.00	12 (10)	820 (10)	90 (10)
6	100	60	7.70	7.70	0.59	0.00	21 (10)	1473 (10)	161 (10)
7	100	60	7.70	7.70	0.96	0.00	34 (10)	2398 (10)	262 (10)
8	100	60	7.70	7.70	1.45	0.00	52 (10)	3639 (10)	398 (10)
9	100	60	7.70	7.70	2.10	0.00	74 (10)	5244 (10)	573 (10)
10	100	60	7.70	7.70	2.90	0.00	103 (10)	7258 (10)	793 (10)
11	100	60	7.70	7.70	3.89	0.00	138 (10)	9727 (10)	1063 (10)
12	100	60	7.70	7.70	5.07	0.00	180 (10)	12697 (10)	1388 (10)
13	100	60	7.70	7.70	6.48	0.00	230 (10)	16214 (10)	1772 (10)
14	100	60	7.70	7.70	8.12	0.00	288 (10)	20325 (10)	2222 (10)
15	100	60	7.70	7.70	10.02	0.00	355 (10)	25075 (10)	2741 (10)
16	100	60	7.70	7.70	12.19	0.00	432 (10)	30510 (10)	3335 (10)
17	100	60	7.70	7.70	14.65	0.00	519 (10)	36676 (10)	4009 (10)
18	100	60	7.70	7.70	17.43	0.00	617 (10)	43619 (10)	4768 (10)
19	100	60	7.70	7.70	20.53	0.00	727 (10)	51385 (10)	5617 (10)
20	100	60	7.70	7.70	23.98	0.00	850 (10)	60021 (10)	6561 (10)
21	100	60	7.70	7.70	27.80	0.00	985 (10)	69572 (10)	7605 (10)
22	100	60	7.70	7.70	5.72	0.00	203 (10)	14323 (10)	1566 (10)
23	100	60	7.70	7.70	4.88	0.00	173 (10)	12222 (10)	1336 (10)
24	100	60	7.70	7.70	4.05	0.00	144 (10)	10148 (10)	1109 (10)

## 2.12PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 53 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	$\sigma_c$ [kPa]	$\sigma_{fi}$ [kPa]	$\sigma_{fs}$ [kPa]
25	100	60	7.70	7.70	3.25	0.00	115 (10)	8145 (10)	890 (10)
26	100	60	7.70	7.70	2.50	0.00	89 (10)	6260 (10)	684 (10)
27	100	60	7.70	7.70	1.81	0.00	64 (10)	4539 (10)	496 (10)
28	100	60	7.70	7.70	1.21	0.00	43 (10)	3028 (10)	331 (10)
29	100	60	7.70	7.70	0.71	0.00	25 (10)	1772 (10)	194 (10)
30	100	60	7.70	7.70	0.33	0.00	12 (10)	818 (10)	89 (10)
31	100	60	7.70	7.70	0.08	0.00	3 (10)	212 (10)	23 (10)
32	100	60	7.70	7.70	0.00	0.00	0 (10)	0 (10)	0 (10)

### Sperone

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 19920 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 1255271 [kPa]

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	$\sigma_c$ [kPa]	$\sigma_{fi}$ [kPa]	$\sigma_{fs}$ [kPa]
1	100	50	12.57	12.57	41.93	0.00	1634 (10)	80851 (10)	12802 (10)

### Combinazioni SLEF

#### Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 24900 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 450000 [kPa]

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	$\sigma_c$ [kPa]	$\sigma_{fi}$ [kPa]	$\sigma_{fs}$ [kPa]
1	100	50	7.70	7.70	0.00	0.00	0 (11)	0 (11)	0 (11)
2	100	51	7.70	7.70	0.00	1.24	2 (11)	35 (11)	34 (11)
3	100	52	7.70	7.70	-0.01	2.50	5 (11)	71 (11)	67 (11)
4	100	53	7.70	7.70	-0.01	3.79	7 (11)	105 (11)	100 (11)
5	100	54	7.70	7.70	-0.01	5.10	9 (11)	138 (11)	134 (11)
6	100	55	7.70	7.70	0.00	6.44	11 (11)	167 (11)	169 (11)
7	100	56	7.70	7.70	0.03	7.80	14 (11)	194 (11)	207 (11)
8	100	57	7.70	7.70	0.07	9.19	17 (11)	217 (11)	247 (11)
9	100	58	7.70	7.70	0.14	10.60	20 (11)	235 (11)	291 (11)
10	100	59	7.70	7.70	0.22	12.04	23 (11)	249 (11)	339 (11)
11	100	60	7.70	7.70	0.34	13.50	27 (11)	258 (11)	391 (11)
12	100	61	7.70	7.70	0.49	14.99	31 (11)	261 (11)	447 (11)
13	100	62	7.70	7.70	0.68	16.50	35 (11)	259 (11)	508 (11)
14	100	63	7.70	7.70	0.91	18.04	40 (11)	252 (11)	575 (11)
15	100	64	7.70	7.70	1.18	19.60	45 (11)	238 (11)	646 (11)
16	100	65	7.70	7.70	1.50	21.19	51 (11)	218 (11)	723 (11)
17	100	66	7.70	7.70	1.88	22.80	57 (11)	192 (11)	806 (11)
18	100	67	7.70	7.70	2.32	24.44	64 (11)	158 (11)	896 (11)
19	100	68	7.70	7.70	2.83	26.10	71 (11)	116 (11)	993 (11)
20	100	69	7.70	7.70	3.44	27.79	79 (11)	63 (11)	1101 (11)
21	100	70	7.70	7.70	4.15	29.50	88 (11)	14 (11)	1224 (11)
22	100	71	7.70	7.70	4.98	31.23	99 (11)	131 (11)	1370 (11)
23	100	72	7.70	7.70	5.93	33.00	112 (11)	306 (11)	1542 (11)
24	100	73	15.39	15.39	7.01	34.78	119 (11)	427 (11)	1632 (11)
25	100	74	15.39	15.39	8.24	36.59	135 (11)	708 (11)	1840 (11)
26	100	75	15.39	15.39	9.61	38.43	154 (11)	1085 (11)	2078 (11)
27	100	76	7.70	7.70	11.13	40.29	197 (11)	2263 (11)	2614 (11)
28	100	77	7.70	7.70	12.81	42.18	228 (11)	3286 (11)	2993 (11)
29	100	78	7.70	7.70	14.66	44.09	264 (11)	4595 (11)	3411 (11)
30	100	79	7.70	7.70	16.68	46.02	303 (11)	6202 (11)	3865 (11)
31	100	80	7.70	7.70	18.87	47.98	346 (11)	8143 (11)	4358 (11)

#### Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 33200 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 1569089 [kPa]

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 54 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	$\sigma_c$ [kPa]	$\sigma_{fi}$ [kPa]	$\sigma_{fs}$ [kPa]
1	100	60	7.70	7.70	0.00	0.00	0 (11)	0 (11)	0 (11)
2	100	60	7.70	7.70	0.01	0.00	0 (1)	21 (11)	0 (1)
3	100	60	7.70	7.70	0.05	0.00	2 (11)	115 (11)	0 (1)
4	100	60	7.70	7.70	0.13	0.00	5 (11)	327 (11)	36 (11)
5	100	60	7.70	7.70	0.28	0.00	10 (11)	706 (11)	77 (11)
6	100	60	7.70	7.70	0.52	0.00	18 (11)	1297 (11)	142 (11)
7	100	60	7.70	7.70	0.86	0.00	30 (11)	2147 (11)	235 (11)
8	100	60	7.70	7.70	1.32	0.00	47 (11)	3302 (11)	361 (11)
9	100	60	7.70	7.70	1.92	0.00	68 (11)	4809 (11)	526 (11)
10	100	60	7.70	7.70	2.68	0.00	95 (11)	6714 (11)	734 (11)
11	100	60	7.70	7.70	3.62	0.00	128 (11)	9064 (11)	991 (11)
12	100	60	7.70	7.70	4.76	0.00	169 (11)	11905 (11)	1301 (11)
13	100	60	7.70	7.70	6.11	0.00	216 (11)	15284 (11)	1671 (11)
14	100	60	7.70	7.70	7.69	0.00	272 (11)	19248 (11)	2104 (11)
15	100	60	7.70	7.70	9.53	0.00	338 (11)	23842 (11)	2606 (11)
16	100	60	7.70	7.70	11.63	0.00	412 (11)	29113 (11)	3182 (11)
17	100	60	7.70	7.70	14.03	0.00	497 (11)	35109 (11)	3838 (11)
18	100	60	7.70	7.70	16.73	0.00	593 (11)	41874 (11)	4577 (11)
19	100	60	7.70	7.70	19.76	0.00	700 (11)	49457 (11)	5406 (11)
20	100	60	7.70	7.70	23.14	0.00	820 (11)	57902 (11)	6329 (11)
21	100	60	7.70	7.70	26.87	0.00	952 (11)	67258 (11)	7352 (11)
22	100	60	7.70	7.70	5.77	0.00	205 (11)	14452 (11)	1580 (11)
23	100	60	7.70	7.70	4.93	0.00	175 (11)	12334 (11)	1348 (11)
24	100	60	7.70	7.70	4.09	0.00	145 (11)	10242 (11)	1119 (11)
25	100	60	7.70	7.70	3.28	0.00	116 (11)	8221 (11)	899 (11)
26	100	60	7.70	7.70	2.52	0.00	89 (11)	6319 (11)	691 (11)
27	100	60	7.70	7.70	1.83	0.00	65 (11)	4582 (11)	501 (11)
28	100	60	7.70	7.70	1.22	0.00	43 (11)	3056 (11)	334 (11)
29	100	60	7.70	7.70	0.71	0.00	25 (11)	1789 (11)	196 (11)
30	100	60	7.70	7.70	0.33	0.00	12 (11)	826 (11)	90 (11)
31	100	60	7.70	7.70	0.09	0.00	3 (11)	214 (11)	23 (11)
32	100	60	7.70	7.70	0.00	0.00	0 (11)	0 (11)	0 (11)

### Sperone

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 33200 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 1569089 [kPa]

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	$\sigma_c$ [kPa]	$\sigma_{fi}$ [kPa]	$\sigma_{fs}$ [kPa]
1	100	50	12.57	12.57	40.43	0.00	1575 (11)	77953 (11)	12343 (11)

### Combinazioni SLEQ

#### Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 11205 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 450000 [kPa]

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	$\sigma_c$ [kPa]	$\sigma_{fi}$ [kPa]	$\sigma_{fs}$ [kPa]
1	100	50	7.70	7.70	0.00	0.00	0 (12)	0 (12)	0 (12)
2	100	51	7.70	7.70	0.00	1.24	2 (12)	35 (12)	34 (12)
3	100	52	7.70	7.70	-0.01	2.50	5 (12)	71 (12)	67 (12)
4	100	53	7.70	7.70	-0.01	3.79	7 (12)	105 (12)	100 (12)
5	100	54	7.70	7.70	-0.01	5.10	9 (12)	138 (12)	134 (12)
6	100	55	7.70	7.70	0.00	6.44	11 (12)	167 (12)	169 (12)
7	100	56	7.70	7.70	0.03	7.80	14 (12)	194 (12)	207 (12)
8	100	57	7.70	7.70	0.07	9.19	17 (12)	217 (12)	247 (12)
9	100	58	7.70	7.70	0.14	10.60	20 (12)	235 (12)	291 (12)
10	100	59	7.70	7.70	0.22	12.04	23 (12)	249 (12)	339 (12)
11	100	60	7.70	7.70	0.34	13.50	27 (12)	258 (12)	391 (12)
12	100	61	7.70	7.70	0.49	14.99	31 (12)	261 (12)	447 (12)

## 2.12PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 55 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	σc [kPa]	σfi [kPa]	σfs [kPa]
13	100	62	7.70	7.70	0.68	16.50	35 (12)	259 (12)	508 (12)
14	100	63	7.70	7.70	0.91	18.04	40 (12)	252 (12)	575 (12)
15	100	64	7.70	7.70	1.18	19.60	45 (12)	238 (12)	646 (12)
16	100	65	7.70	7.70	1.50	21.19	51 (12)	218 (12)	723 (12)
17	100	66	7.70	7.70	1.88	22.80	57 (12)	192 (12)	806 (12)
18	100	67	7.70	7.70	2.32	24.44	64 (12)	158 (12)	896 (12)
19	100	68	7.70	7.70	2.83	26.10	71 (12)	117 (12)	993 (12)
20	100	69	7.70	7.70	3.42	27.79	79 (12)	66 (12)	1098 (12)
21	100	70	7.70	7.70	4.11	29.50	88 (12)	7 (12)	1218 (12)
22	100	71	7.70	7.70	4.91	31.23	98 (12)	114 (12)	1358 (12)
23	100	72	7.70	7.70	5.82	33.00	110 (12)	273 (12)	1521 (12)
24	100	73	15.39	15.39	6.85	34.78	117 (12)	379 (12)	1603 (12)
25	100	74	15.39	15.39	8.01	36.59	132 (12)	626 (12)	1798 (12)
26	100	75	15.39	15.39	9.31	38.43	149 (12)	956 (12)	2018 (12)
27	100	76	7.70	7.70	10.75	40.29	188 (12)	1951 (12)	2508 (12)
28	100	77	7.70	7.70	12.33	42.18	216 (12)	2816 (12)	2855 (12)
29	100	78	7.70	7.70	14.06	44.09	248 (12)	3927 (12)	3239 (12)
30	100	79	7.70	7.70	15.95	46.02	284 (12)	5302 (12)	3658 (12)
31	100	80	7.70	7.70	18.01	47.98	323 (12)	6977 (12)	4116 (12)

### Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14940 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 1569089 [kPa]

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	σc [kPa]	σfi [kPa]	σfs [kPa]
1	100	60	7.70	7.70	0.00	0.00	0 (12)	0 (12)	0 (12)
2	100	60	7.70	7.70	0.00	0.00	0 (1)	0 (1)	0 (1)
3	100	60	7.70	7.70	0.02	0.00	1 (12)	40 (12)	0 (1)
4	100	60	7.70	7.70	0.06	0.00	2 (12)	162 (12)	18 (12)
5	100	60	7.70	7.70	0.17	0.00	6 (12)	416 (12)	45 (12)
6	100	60	7.70	7.70	0.34	0.00	12 (12)	849 (12)	93 (12)
7	100	60	7.70	7.70	0.60	0.00	21 (12)	1509 (12)	165 (12)
8	100	60	7.70	7.70	0.98	0.00	35 (12)	2443 (12)	267 (12)
9	100	60	7.70	7.70	1.48	0.00	52 (12)	3700 (12)	404 (12)
10	100	60	7.70	7.70	2.13	0.00	75 (12)	5327 (12)	582 (12)
11	100	60	7.70	7.70	2.95	0.00	104 (12)	7371 (12)	806 (12)
12	100	60	7.70	7.70	3.95	0.00	140 (12)	9882 (12)	1080 (12)
13	100	60	7.70	7.70	5.16	0.00	183 (12)	12905 (12)	1411 (12)
14	100	60	7.70	7.70	6.59	0.00	233 (12)	16489 (12)	1802 (12)
15	100	60	7.70	7.70	8.26	0.00	293 (12)	20682 (12)	2261 (12)
16	100	60	7.70	7.70	10.20	0.00	361 (12)	25531 (12)	2791 (12)
17	100	60	7.70	7.70	12.42	0.00	440 (12)	31084 (12)	3398 (12)
18	100	60	7.70	7.70	14.94	0.00	529 (12)	37389 (12)	4087 (12)
19	100	60	7.70	7.70	17.78	0.00	630 (12)	44494 (12)	4863 (12)
20	100	60	7.70	7.70	20.95	0.00	742 (12)	52445 (12)	5733 (12)
21	100	60	7.70	7.70	24.49	0.00	868 (12)	61291 (12)	6699 (12)
22	100	60	7.70	7.70	5.85	0.00	207 (12)	14652 (12)	1602 (12)
23	100	60	7.70	7.70	5.00	0.00	177 (12)	12512 (12)	1368 (12)
24	100	60	7.70	7.70	4.15	0.00	147 (12)	10395 (12)	1136 (12)
25	100	60	7.70	7.70	3.34	0.00	118 (12)	8348 (12)	913 (12)
26	100	60	7.70	7.70	2.57	0.00	91 (12)	6420 (12)	702 (12)
27	100	60	7.70	7.70	1.86	0.00	66 (12)	4657 (12)	509 (12)
28	100	60	7.70	7.70	1.24	0.00	44 (12)	3108 (12)	340 (12)
29	100	60	7.70	7.70	0.73	0.00	26 (12)	1820 (12)	199 (12)
30	100	60	7.70	7.70	0.34	0.00	12 (12)	841 (12)	92 (12)
31	100	60	7.70	7.70	0.09	0.00	3 (12)	218 (12)	24 (12)
32	100	60	7.70	7.70	0.00	0.00	0 (12)	0 (12)	0 (12)

### Sperone

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14940 [kPa]  
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 1569089 [kPa]

## 2.12PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	16	MU0018	REL	01	A	56 di 59

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	σc [kPa]	σfi [kPa]	σfs [kPa]
1	100	50	12.57	12.57	36.22	0.00	1411 (12)	69831 (12)	11057 (12)

### Verifica a fessurazione

#### Simbologia adottata

n°	indice sezione
Y	ordinata sezione espressa in [m]
B	larghezza sezione espressa in [cm]
H	altezza sezione espressa in [cm]
Af	area ferri zona tesa espresso in [cmq]
Aeff	area efficace espressa in [cmq]
M	momento agente espressa in [kNm]
Mpf	momento di prima fessurazione espressa in [kNm]
ε	deformazione espresso in %
Sm	spaziatura tra le fessure espressa in [mm]
w	apertura delle fessure espressa in [mm]

### Combinazioni SLEF

#### Paramento

Apertura limite fessure  $w_{lim}=0.40$

n°	B [cm]	H [cm]	Af [cmq]	Aeff [cmq]	M [kNm]	Mpf [kNm]	ε [%]	Sm [mm]	w [mm]
1	100	50	0.00	0.00	0.00	0.00	---	---	0.000 (11)
2	100	51	7.70	2110.56	0.00	-121.09	0.000000	0.00	0.000 (11)
3	100	52	7.70	2155.21	-0.01	-125.96	0.000000	0.00	0.000 (11)
4	100	53	7.70	2199.89	-0.01	-130.93	0.000000	0.00	0.000 (11)
5	100	54	7.70	2244.61	-0.01	-135.99	0.000000	0.00	0.000 (11)
6	100	55	7.70	1520.00	0.00	141.15	0.000000	0.00	0.000 (11)
7	100	56	7.70	1520.00	0.03	146.39	0.000000	0.00	0.000 (11)
8	100	57	7.70	1520.00	0.07	151.74	0.000000	0.00	0.000 (11)
9	100	58	7.70	1520.00	0.14	157.18	0.000000	0.00	0.000 (11)
10	100	59	7.70	1520.00	0.22	162.72	0.000000	0.00	0.000 (11)
11	100	60	7.70	1520.00	0.34	168.35	0.000000	0.00	0.000 (11)
12	100	61	7.70	1520.00	0.49	174.09	0.000000	0.00	0.000 (11)
13	100	62	7.70	1520.00	0.68	179.90	0.000000	0.00	0.000 (11)
14	100	63	7.70	1520.00	0.91	185.82	0.000000	0.00	0.000 (11)
15	100	64	7.70	1520.00	1.18	191.84	0.000000	0.00	0.000 (11)
16	100	65	7.70	1520.00	1.50	197.97	0.000000	0.00	0.000 (11)
17	100	66	7.70	1520.00	1.88	204.17	0.000000	0.00	0.000 (11)
18	100	67	7.70	1520.00	2.32	210.47	0.000000	0.00	0.000 (11)
19	100	68	7.70	1520.00	2.83	216.88	0.000000	0.00	0.000 (11)
20	100	69	7.70	1520.00	3.44	223.38	0.000000	0.00	0.000 (11)
21	100	70	7.70	1520.00	4.15	229.97	0.000000	0.00	0.000 (11)
22	100	71	7.70	1520.00	4.98	236.67	0.000000	0.00	0.000 (11)
23	100	72	7.70	1520.00	5.93	243.46	0.000000	0.00	0.000 (11)
24	100	73	15.39	1520.00	7.01	266.97	0.000000	0.00	0.000 (11)
25	100	74	15.39	1520.00	8.24	274.27	0.000000	0.00	0.000 (11)
26	100	75	15.39	1520.00	9.61	281.67	0.000000	0.00	0.000 (11)
27	100	76	7.70	1520.00	11.13	271.60	0.000000	0.00	0.000 (11)
28	100	77	7.70	1520.00	12.81	278.88	0.000000	0.00	0.000 (11)
29	100	78	7.70	1520.00	14.66	286.26	0.000000	0.00	0.000 (11)
30	100	79	7.70	1520.00	16.68	293.74	0.000000	0.00	0.000 (11)
31	100	80	7.70	1520.00	18.87	300.59	0.000000	0.00	0.000 (11)

#### Fondazione

Apertura limite fessure  $w_{lim}=0.40$

n°	B [cm]	H [cm]	Af [cmq]	Aeff [cmq]	M [kNm]	Mpf [kNm]	ε [%]	Sm [mm]	w [mm]
1	100	60	0.00	0.00	0.00	0.00	---	---	0.000 (11)
2	100	60	7.70	1520.00	0.01	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
3	100	60	7.70	1520.00	0.05	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
4	100	60	7.70	1520.00	0.13	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 57 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

n°	B [cm]	H [cm]	Af [cmq]	Aeff [cmq]	M [kNm]	Mpf [kNm]	ε [%]	Sm [mm]	w [mm]
5	100	60	7.70	1520.00	0.28	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
6	100	60	7.70	1520.00	0.52	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
7	100	60	7.70	1520.00	0.86	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
8	100	60	7.70	1520.00	1.32	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
9	100	60	7.70	1520.00	1.92	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
10	100	60	7.70	1520.00	2.68	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
11	100	60	7.70	1520.00	3.62	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
12	100	60	7.70	1520.00	4.76	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
13	100	60	7.70	1520.00	6.11	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
14	100	60	7.70	1520.00	7.69	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
15	100	60	7.70	1520.00	9.53	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
16	100	60	7.70	1520.00	11.63	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
17	100	60	7.70	1520.00	14.03	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
18	100	60	7.70	1520.00	16.73	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
19	100	60	7.70	1520.00	19.76	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
20	100	60	7.70	1520.00	23.14	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
21	100	60	7.70	1520.00	26.87	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
22	100	60	7.70	1520.00	5.77	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
23	100	60	7.70	1520.00	4.93	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
24	100	60	7.70	1520.00	4.09	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
25	100	60	7.70	1520.00	3.28	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
26	100	60	7.70	1520.00	2.52	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
27	100	60	7.70	1520.00	1.83	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
28	100	60	7.70	1520.00	1.22	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
29	100	60	7.70	1520.00	0.71	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
30	100	60	7.70	1520.00	0.33	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
31	100	60	7.70	1520.00	0.09	201.20	0.000000	0.00	0.000 (11)
32	100	60	0.00	0.00	0.00	0.00	---	---	0.000 (11)

### Sperone

Apertura limite fessure  $w_{lim}=0.40$

n°	B [cm]	H [cm]	Af [cmq]	Aeff [cmq]	M [kNm]	Mpf [kNm]	ε [%]	Sm [mm]	w [mm]
1	100	50	12.57	1976.62	40.43	147.81	0.000000	0.00	0.000 (11)

### Combinazioni SLEQ

### Paramento

Apertura limite fessure  $w_{lim}=0.30$

n°	B [cm]	H [cm]	Af [cmq]	Aeff [cmq]	M [kNm]	Mpf [kNm]	ε [%]	Sm [mm]	w [mm]
1	100	50	0.00	0.00	0.00	0.00	---	---	0.000 (12)
2	100	51	7.70	2110.56	0.00	-121.09	0.000000	0.00	0.000 (12)
3	100	52	7.70	2155.21	-0.01	-125.96	0.000000	0.00	0.000 (12)
4	100	53	7.70	2199.89	-0.01	-130.93	0.000000	0.00	0.000 (12)
5	100	54	7.70	2244.61	-0.01	-135.99	0.000000	0.00	0.000 (12)
6	100	55	7.70	1520.00	0.00	141.15	0.000000	0.00	0.000 (12)
7	100	56	7.70	1520.00	0.03	146.39	0.000000	0.00	0.000 (12)
8	100	57	7.70	1520.00	0.07	151.74	0.000000	0.00	0.000 (12)
9	100	58	7.70	1520.00	0.14	157.18	0.000000	0.00	0.000 (12)
10	100	59	7.70	1520.00	0.22	162.72	0.000000	0.00	0.000 (12)
11	100	60	7.70	1520.00	0.34	168.35	0.000000	0.00	0.000 (12)
12	100	61	7.70	1520.00	0.49	174.09	0.000000	0.00	0.000 (12)
13	100	62	7.70	1520.00	0.68	179.90	0.000000	0.00	0.000 (12)
14	100	63	7.70	1520.00	0.91	185.82	0.000000	0.00	0.000 (12)
15	100	64	7.70	1520.00	1.18	191.84	0.000000	0.00	0.000 (12)
16	100	65	7.70	1520.00	1.50	197.97	0.000000	0.00	0.000 (12)
17	100	66	7.70	1520.00	1.88	204.16	0.000000	0.00	0.000 (12)
18	100	67	7.70	1520.00	2.32	210.47	0.000000	0.00	0.000 (12)
19	100	68	7.70	1520.00	2.83	216.87	0.000000	0.00	0.000 (12)
20	100	69	7.70	1520.00	3.42	223.38	0.000000	0.00	0.000 (12)
21	100	70	7.70	1520.00	4.11	229.98	0.000000	0.00	0.000 (12)
22	100	71	7.70	1520.00	4.91	236.67	0.000000	0.00	0.000 (12)
23	100	72	7.70	1520.00	5.82	243.46	0.000000	0.00	0.000 (12)

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0018	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 58 di 59
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

n°	B [cm]	H [cm]	Af [cmq]	Aeff [cmq]	M [kNm]	Mpf [kNm]	ε [%]	Sm [mm]	w [mm]
24	100	73	15.39	1520.00	6.85	266.98	0.000000	0.00	0.000 (12)
25	100	74	15.39	1520.00	8.01	274.27	0.000000	0.00	0.000 (12)
26	100	75	15.39	1520.00	9.31	281.66	0.000000	0.00	0.000 (12)
27	100	76	7.70	1520.00	10.75	271.60	0.000000	0.00	0.000 (12)
28	100	77	7.70	1520.00	12.33	278.89	0.000000	0.00	0.000 (12)
29	100	78	7.70	1520.00	14.06	286.26	0.000000	0.00	0.000 (12)
30	100	79	7.70	1520.00	15.95	293.74	0.000000	0.00	0.000 (12)
31	100	80	7.70	1520.00	18.01	300.58	0.000000	0.00	0.000 (12)

### Fondazione

Apertura limite fessure  $w_{lim}=0.30$

n°	B [cm]	H [cm]	Af [cmq]	Aeff [cmq]	M [kNm]	Mpf [kNm]	ε [%]	Sm [mm]	w [mm]
1	100	60	0.00	0.00	0.00	0.00	---	---	0.000 (12)
2	100	60	7.70	1520.00	0.00	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
3	100	60	7.70	1520.00	0.02	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
4	100	60	7.70	1520.00	0.06	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
5	100	60	7.70	1520.00	0.17	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
6	100	60	7.70	1520.00	0.34	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
7	100	60	7.70	1520.00	0.60	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
8	100	60	7.70	1520.00	0.98	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
9	100	60	7.70	1520.00	1.48	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
10	100	60	7.70	1520.00	2.13	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
11	100	60	7.70	1520.00	2.95	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
12	100	60	7.70	1520.00	3.95	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
13	100	60	7.70	1520.00	5.16	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
14	100	60	7.70	1520.00	6.59	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
15	100	60	7.70	1520.00	8.26	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
16	100	60	7.70	1520.00	10.20	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
17	100	60	7.70	1520.00	12.42	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
18	100	60	7.70	1520.00	14.94	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
19	100	60	7.70	1520.00	17.78	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
20	100	60	7.70	1520.00	20.95	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
21	100	60	7.70	1520.00	24.49	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
22	100	60	7.70	1520.00	5.85	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
23	100	60	7.70	1520.00	5.00	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
24	100	60	7.70	1520.00	4.15	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
25	100	60	7.70	1520.00	3.34	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
26	100	60	7.70	1520.00	2.57	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
27	100	60	7.70	1520.00	1.86	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
28	100	60	7.70	1520.00	1.24	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
29	100	60	7.70	1520.00	0.73	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
30	100	60	7.70	1520.00	0.34	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
31	100	60	7.70	1520.00	0.09	201.20	0.000000	0.00	0.000 (12)
32	100	60	0.00	0.00	0.00	0.00	---	---	0.000 (12)

### Sperone

Apertura limite fessure  $w_{lim}=0.30$

n°	B [cm]	H [cm]	Af [cmq]	Aeff [cmq]	M [kNm]	Mpf [kNm]	ε [%]	Sm [mm]	w [mm]
1	100	50	12.57	1976.62	36.22	147.81	0.000000	0.00	0.000 (12)

Fig. 7 - Fondazione



**QUADRILATERO**

Marche Umbria S.p.A.

## **2.12PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

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

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di controripa in SX dal km 4+490 al km 4+510 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	16	MU0018	REL	01	A	59 di 59