


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




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

**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
--	--	---

*PROGETTAZIONE: Associazione Temporanea di Imprese*

*Mandataria:*  *Mandanti:*   

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

<b>IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</b>  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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 Relazione tecnica e di calcolo	<b>SCALA:</b>  <b>DATA:</b>  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 0 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

## I N D I C E

<b>1. GENERALITÀ.....</b>	<b>4</b>
<b>2. DESCRIZIONE DELL' OPERA .....</b>	<b>4</b>
<b>3. UNITA' DI MISURA .....</b>	<b>6</b>
<b>4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>6</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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 3 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

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

13.1 RISULTATI ANALISI E VERIFICHE MURO DI SOTTOSCARPA TIPO 1 ..... 44

13.1.1 Modello di calcolo ..... 44

13.1.2 Verifiche strutturali ..... 47

13.2 RISULTATI ANALISI E VERIFICHE MURI DI SOTTOSCARPA TIPO 2 ..... 59

13.2.1 Modello di calcolo ..... 59

13.2.2 Verifiche strutturali ..... 62

## 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 MU08 situata in SX dell'asse stradale, dal km 2+253.68 al km 2+271.82, per uno sviluppo totale di 17.14 m.

L'opera di sostegno è costituita da muri di sottoscarpa in c.a., fondati su pali. In particolare l'opera è stata suddivisa in due tipologie: *muro di sottoscarpa di tipo 1*, *muro di sottoscarpa di tipo 2*. 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]
2+253.68	2+266.92	2	13.24	5	1.0	4.60	2	800	16
2+266.92	2+271.82	1	4.90	3.00	0.6	3.8			

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

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



Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 6 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

### 3. UNITA' DI MISURA

Nel seguito si adotteranno le seguenti unità di misura:

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

### 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.*
- 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 8 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

### Resistenze di progetto allo SLE

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

### 5.3 ACCIAIO DI ARMATURA B450C

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

### Resistenza di progetto allo SLU

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

### Resistenza di progetto allo SLE

- $\sigma_{s,r} = 0.80 \cdot f_{yk} = 360 \text{ MPa}$  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 ÷ 17	Depositi Eluvio colluviali limoso argillosi	C
Salt	>17 e fino a max profondità di interesse	Substrati alterato limoso argilloso	C

**Falda:** La falda è riscontrata a profondità variabili. Nelle analisi assume cautelativamente un livello di **falda prossima al piano di posa della fondazione**

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:

$\gamma_{terr}=20$  kN/m<sup>3</sup>      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.

## 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	16	MU0008	REL	01	A	10 di 76

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

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

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

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

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

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

- Vita nominale  $V_N$  = 50 anni;
- Classe d'uso = III;
- Coefficiente d'uso  $C_u$  = 1.5;
- Periodo di riferimento  $V_R$  = 75 anni;
- $T_{R,SLV}$  = 712 anni;
- $a_{g,SLV}$  = **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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 11 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### 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	C
Categoria topografica	T1
$S_s$ , fattore stratigrafico	1.365
$S_T$ , fattore topografico	1.0

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 12 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

## 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

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

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

#### CALCESTRUZZO C25/30

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

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

#### ACCIAIO

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

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

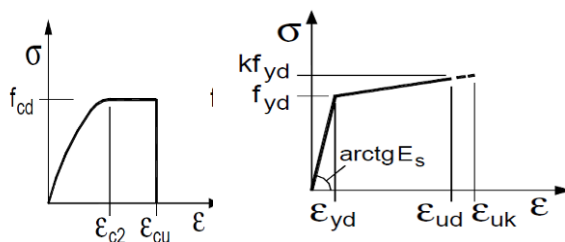
Combinazione Frequente :  $w \leq 0.3 \text{ mm}$

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.

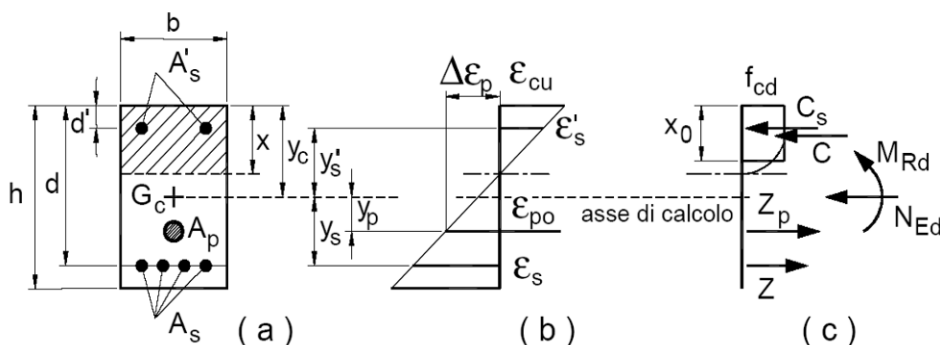
## 8.2 VERIFICHE ALLO SLU

### 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.

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 15 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

## 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

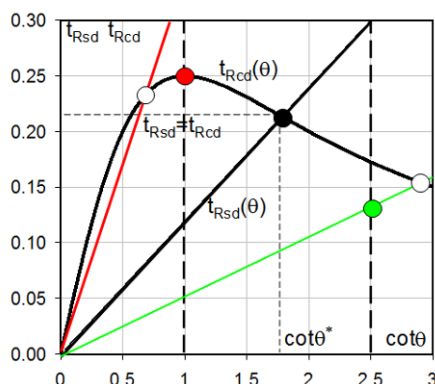
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 16 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



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 sviluppata lungo il cuneo passante 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

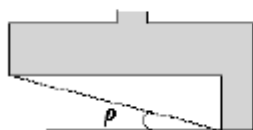
Muro di sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 18 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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  $Lr = Br - Lc$



Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 19 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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

#### Caso generale

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

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

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

in cui:

$d_c, d_q, d_\gamma$ , 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

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

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

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

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

Opera L073	Traffo 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 20 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 21 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### 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:

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

$$\beta \leq \phi$$

$$i_q, i_\gamma > 0$$

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

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.

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 22 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

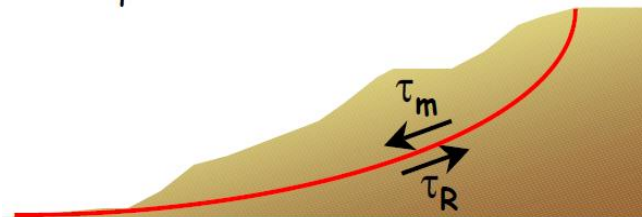
## 9.2 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

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 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

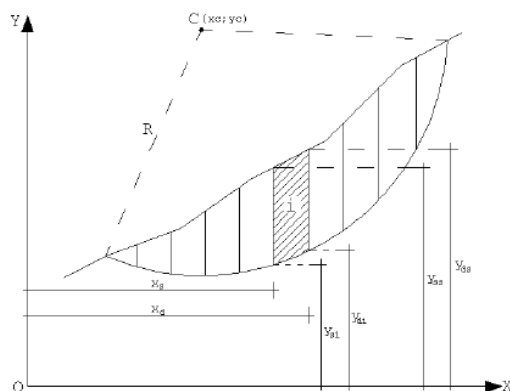
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

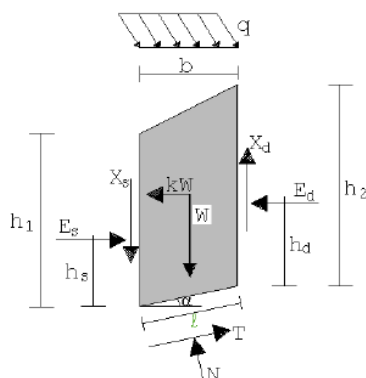
Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 23 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 24 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 25 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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

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

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano 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	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 26 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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

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

Riguardo i valori dei coefficienti sismici  $K_h$  e  $K_v$ , si ritiene in questo caso di dover adottare i valori già definiti in precedenza nell'ambito del paragrafo 7.1.2 dedicato alla valutazione degli effetti sismici per il dimensionamento delle paratie, trattandosi in questo caso di una verifica di stabilità di un fronte di scavo sostenuto da un'opera di sostegno, che pertanto 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	$\gamma_{Gt}$	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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 28 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

**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
Coesione 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.I - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno**

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

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

Coefficiente	R2
$\gamma_R$	1.1

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

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

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 29 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

## 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  $R_{c,al}$ ; 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Traffo 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 30 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

**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.

**2.12 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 31 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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

**Tabella 9 – Parametri per il calcolo della capacità portante dei pali**

Approccio	verticali indagate	$\xi_s$	$\gamma_s$	$\gamma_b$	$F_{sL}$ (compressione)	$F_{sL}$ (trazione)	$F_{sb}$	Quota testa palo da p.c. [m]	falda da p.c. [m]
2 (A1+M1+R3)	2	1.65	1.15	1.35	1.90	2.06	2.2	1.0	0.0

Si riporta la stratigrafia considerata per ciascun muro, dove lo spessore è indicato in metri:

ID Muro	Strato	Spessore
MU08	Ecla	17
	Salt	5
	PaAp	-

I parametri geotecnici adottati per la valutazione della portanza dei pali di fondazione vengono illustrati nella seguente tabella:

**Tabella 10 – Parametri geotecnici adottati per la portanza dei pali di fondazione**

	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_u$ [kPa]	$c'$ [kPa]	$\phi$	$N_{SPT}$
Ecla	19	105	10	25	20
Salt	20	225	20	28	35
PaAp	23	0	170	32	-

$\gamma$  = peso dell'unità di volume  
 $c_u$  = resistenza al taglio in condizioni non drenate  
 $c'$  = coesione drenata  
 $N_{SPT}$  = numero colpi SPT  
 $\phi$  = angolo d'attrito

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

- $L_p$  = Lunghezza utile del palo
- $Q_L$  = Portata laterale limite
- $Q_{L,d}$  = Portata laterale limite di progetto
- $Q_b$  = Portata di base limite
- $Q_{b,d}$  = Portata di base limite di progetto
- $W_p$  = Peso efficace del palo
- $Q_u$  = Portata totale limite
- $Q_d$  = Portata di progetto =  $Q_L/F_{s, l} + Q_b/F_{s, b} - W_p$

Valori Caratteristici	Valori Progetto - STATICA - APP 1 combo 2	Valori Progetto - SISMICA - APP 1 combo 2
-----------------------	---	---

## 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 32 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Lp	Q <sub>L</sub>	Q <sub>b</sub>	Q <sub>u</sub>	W <sub>P</sub>	Q <sub>L,d</sub>	Q <sub>b,d</sub>	Q <sub>u,d</sub>	Q <sub>L,d</sub>	Q <sub>b,d</sub>	Q <sub>u,d</sub>
[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
10	780.9	579.8	1335.6	25.1	326.4	206.7	508.0	411.6	260.3	646.7
11	912.8	589.3	1474.5	27.6	381.5	210.1	564.0	481.1	264.6	718.0
12	1044.7	598.9	1613.4	30.1	436.6	213.5	620.0	550.6	268.8	789.3
13	1176.6	608.4	1752.3	32.7	491.8	216.9	676.0	620.1	273.1	860.5
14	1308.4	618.0	1891.2	35.2	546.9	220.3	732.0	689.6	277.4	931.8
15	1440.3	627.5	2030.1	37.7	602.0	223.7	788.0	759.1	281.7	1003.1
16	1559.1	1179.6	2698.5	40.2	651.7	420.5	1032.0	821.7	529.6	1311.0
17	1777.4	1189.7	2924.4	42.7	742.9	424.1	1124.3	936.7	534.1	1428.1
18	2009.5	1199.7	3164.0	45.2	839.9	427.7	1222.4	1059.0	538.6	1552.4
19	2255.4	1209.8	3417.5	47.7	942.7	431.3	1326.3	1188.6	543.1	1684.0
20	2515.2	1219.8	3684.8	50.2	1051.3	434.9	1435.9	1325.5	547.6	1822.9
21	2788.7	1229.9	3965.9	52.8	1165.6	438.5	1551.3	1469.7	552.1	1969.1
22	3070.8	1239.9	4255.5	55.3	1283.5	442.0	1670.3	1618.3	556.6	2119.7
23	3353.4	1250.0	4545.6	57.8	1401.6	445.6	1789.5	1767.3	561.2	2270.6
24	3636.0	1260.0	4835.7	60.3	1519.7	449.2	1908.7	1916.2	565.7	2421.6
25	3918.6	1270.1	5125.9	62.8	1637.9	452.8	2027.9	2065.1	570.2	2572.5
26	4201.2	1280.1	5416.0	65.3	1756.0	456.4	2147.0	2214.1	574.7	2723.4
27	4483.8	1290.2	5706.1	67.8	1874.1	460.0	2266.2	2363.0	579.2	2874.4
28	4766.4	1300.2	5996.3	70.3	1992.2	463.5	2385.4	2511.9	583.7	3025.3
29	5049.0	1310.3	6286.4	72.8	2110.3	467.1	2504.6	2660.9	588.2	3176.2
30	5331.6	1320.3	6576.5	75.4	2228.5	470.7	2623.8	2809.8	592.7	3327.2

**Tabella –Capacità portante palo D=800 mm – MU08**



Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 33 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

## 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:

$$M = \alpha T$$

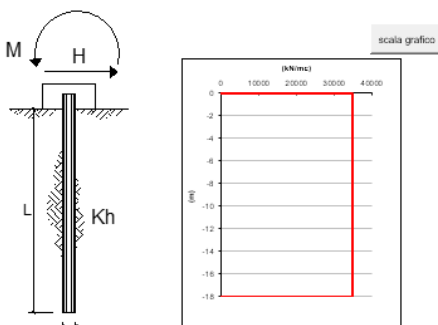
dove:

- 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
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)

— 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

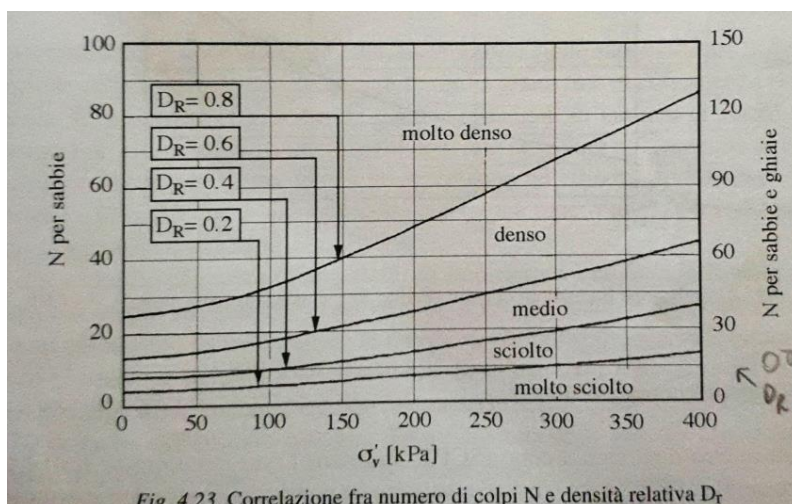
Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 34 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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 ( $c_u = 50 \div 100$ kPa)	Molto compatta ( $c_u = 100 \div 200$ 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)
Sottoscarpa tipo 2	Ecla	1.6	35000	20	105

## 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 36 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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

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

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

$$c' = 0$$

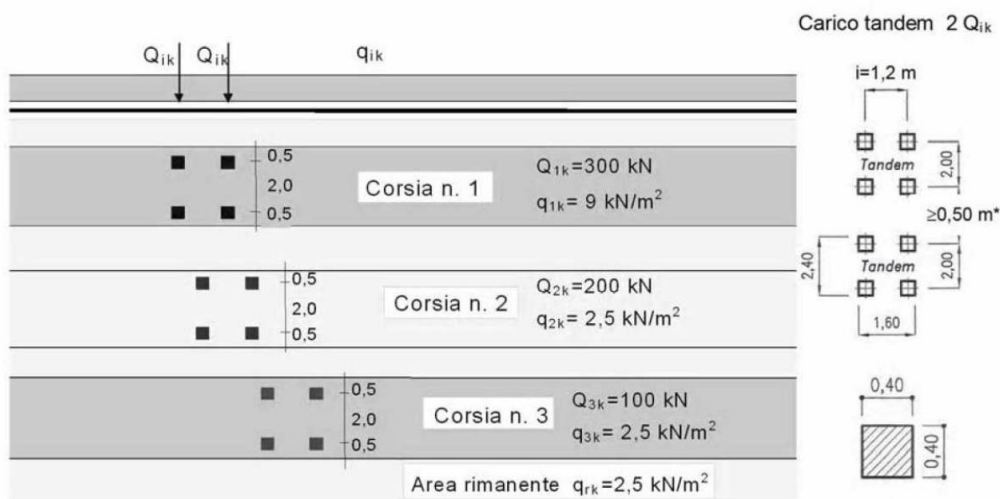
$$\varphi' = 35$$

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

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  $q_{rk} = 2.5\text{ kN/m}^2$  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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 38 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

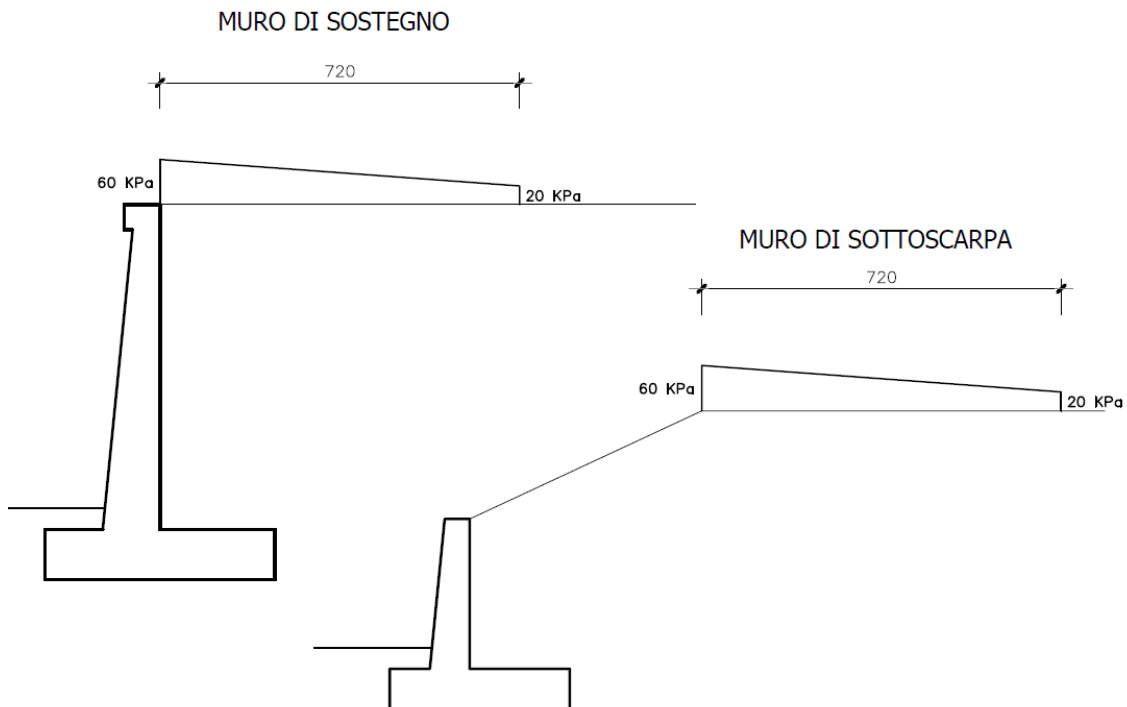
$$Q1k d = 600 / 2.40 \times 5.00 = 50 \text{ KN/m}^2$$

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

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

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

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 39 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

## 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
	$\beta_m$	$\beta_m$
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,31	0,31
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,29	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,18

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

Nel caso in specie si ha:

- Per i muri su fondazione diretta:
  - $a_g/g = 0.220$ ;
  - $a_{max}/g = 0.259$
  - $\beta_m = 0.31$ ;
  - $k_h = 0.080$
- 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 40 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Traffo 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 42 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 43 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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 MURO DI SOTTOSCARPA TIPO 1

#### 13.1.1 Modello di calcolo

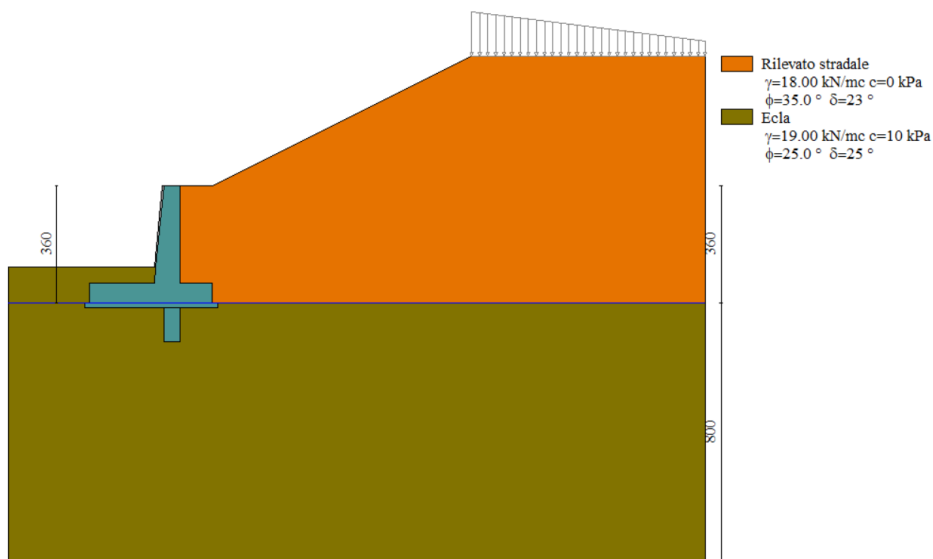
Le sollecitazioni provenienti dal muro vengono ripartite sui pali restituendo le sollecitazioni nei pali in termini di Taglio, Momento e sforzo normale. Gli scarichi sui pali vengono determinati mediante il metodo delle rigidezze. La piastra di fondazione viene considerata infinitamente rigida (3 gradi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

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

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

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

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



## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

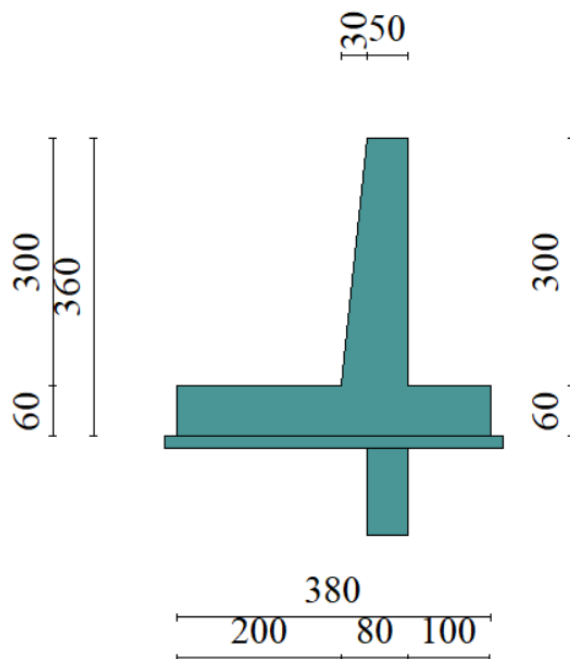
4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 45 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### Modello di calcolo muro



### 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]
C <sub>x</sub> , C <sub>y</sub>	Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]
P <sub>x</sub> , P <sub>y</sub>	Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

Ic	A	V [kN]	I [°]	C <sub>x</sub> [kN]	C <sub>y</sub> [kN]	P <sub>x</sub> [m]	P <sub>y</sub> [m]
1	Spinta statica	57.36	23.33	52.67	22.72	1.00	-2.40
	Peso/Inerzia muro			0.00	118.66/0.00	-0.59	-2.73
	Peso/Inerzia rivestimento			0.00	2.50	0.00	0.00
	Peso/Inerzia terrapieno			0.00	54.00/0.00	0.50	-1.50
	Peso/Inerzia terreno sulla fondazione di valle			0.00	18.00	-1.80	-2.75
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				0.00	0.00	0.00
	Resistenza passiva sperone			-67.17			
2	Spinta statica	44.13	23.33	40.52	17.48	1.00	-2.40
	Incremento di spinta sismica		22.30	20.47	8.83	1.00	-2.40
	Peso/Inerzia muro			11.04	118.66/5.52	-0.59	-2.73
	Peso/Inerzia rivestimento			0.23	2.50	0.00	0.00
	Peso/Inerzia terrapieno			5.02	54.00/2.51	0.50	-1.50
	Peso/Inerzia terreno sulla fondazione di valle			1.67	18.00	-1.80	-2.75
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				0.00	0.00	0.00
	Resistenza passiva sperone			-74.02			

## 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 46 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Si riporta l'involuppo delle sollecitazioni agenti sul muro.

### 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)

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	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	-0.10	1.24	1.24	0.02	0.15	0.00	0.00
3	-0.20	2.50	2.50	0.08	0.36	-0.01	0.02
4	-0.30	3.79	3.79	0.18	0.63	-0.01	0.05
5	-0.40	5.10	5.10	0.33	0.97	-0.01	0.11
6	-0.50	6.44	6.44	0.51	1.38	0.00	0.20
7	-0.60	7.80	7.80	0.73	1.85	0.03	0.32
8	-0.70	9.19	9.19	0.99	2.38	0.07	0.49
9	-0.80	10.60	10.60	1.29	2.98	0.14	0.71
10	-0.90	12.04	12.04	1.64	3.64	0.22	0.98
11	-1.00	13.50	13.50	2.02	4.37	0.34	1.31
12	-1.10	14.99	14.99	2.45	5.16	0.49	1.72
13	-1.20	16.50	16.50	2.91	6.02	0.68	2.20
14	-1.30	18.04	18.04	3.42	6.94	0.91	2.76
15	-1.40	19.60	19.60	3.96	7.92	1.18	3.40
16	-1.50	21.19	21.19	4.55	8.97	1.50	4.14
17	-1.60	22.80	22.80	5.18	10.10	1.88	4.99
18	-1.70	24.44	24.44	5.87	11.29	2.31	5.93
19	-1.80	26.10	26.10	6.62	12.58	2.81	7.00
20	-1.90	27.79	27.79	7.43	13.95	3.37	8.19
21	-2.00	29.50	29.50	8.31	15.42	4.01	9.51
22	-2.10	31.23	31.23	9.26	16.98	4.73	10.97
23	-2.20	33.00	33.00	10.28	18.63	5.55	12.59
24	-2.30	34.78	34.78	11.36	20.36	6.46	14.37
25	-2.40	36.59	36.59	12.50	22.19	7.47	16.31
26	-2.50	38.43	38.43	13.71	24.11	8.59	18.44
27	-2.60	40.29	40.29	14.99	26.11	9.82	20.75
28	-2.70	42.18	42.18	16.33	28.21	11.18	23.25
29	-2.80	44.09	44.09	17.73	30.38	12.66	25.96
30	-2.90	46.02	46.02	19.19	32.65	14.28	28.89
31	-3.00	47.98	47.98	20.72	35.01	16.03	32.03

### Azioni risultanti sul muro

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	-0.25	1.20	-0.01	0.06
3	-2.60	0.00	0.00	-0.31	2.53	-0.04	0.24
4	-2.50	0.00	0.00	-0.20	3.99	-0.07	0.57
5	-2.40	0.00	0.00	0.10	5.57	-0.08	1.05
6	-2.30	0.00	0.00	0.58	7.28	-0.04	1.69
7	-2.20	0.00	0.00	1.24	9.12	0.04	2.51
8	-2.10	0.00	0.00	2.08	11.08	0.21	3.52
9	-2.00	0.00	0.00	3.10	13.18	0.47	4.73
10	-1.90	0.00	0.00	4.30	15.40	0.84	6.16
11	-1.80	0.00	0.00	5.63	17.74	1.34	7.81
12	-1.70	0.00	0.00	7.14	20.22	1.98	9.71
13	-1.60	0.00	0.00	8.82	22.82	2.79	11.86
14	-1.50	0.00	0.00	10.67	25.55	3.79	14.28
15	-1.40	0.00	0.00	12.69	28.40	4.96	16.97
16	-1.30	0.00	0.00	14.88	31.38	6.34	19.96
17	-1.20	0.00	0.00	17.24	34.49	7.94	23.25
18	-1.10	0.00	0.00	19.78	37.73	9.79	26.86
19	-1.00	0.00	0.00	22.49	41.10	11.90	30.80
20	-0.90	0.00	0.00	25.36	44.59	14.30	35.09
21	-0.80	0.00	0.00	28.41	48.21	16.98	39.73
22	0.00	0.00	0.00	-4.12	12.11	-0.63	7.57
23	0.10	0.00	0.00	-2.94	11.71	-0.28	6.37
24	0.20	0.00	0.00	-1.93	11.14	-0.04	5.23
25	0.30	0.00	0.00	-1.09	10.38	0.11	4.15
26	0.40	0.00	0.00	-0.42	9.44	0.18	3.16

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

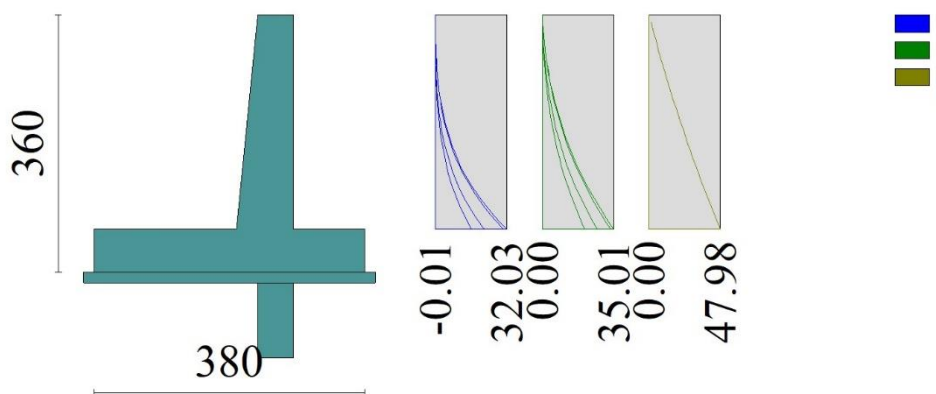
Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Traffo 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 47 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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]
27	0.50	0.00	0.00	0.08	8.32	0.20	2.27
28	0.60	0.00	0.00	0.41	7.02	0.17	1.50
29	0.70	0.00	0.00	0.56	5.54	0.12	0.87
30	0.80	0.00	0.00	0.55	3.87	0.07	0.40
31	0.90	0.00	0.00	0.36	2.03	0.02	0.10
32	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Azioni risultanti sulla fondazione



Inviluppo sollecitazioni sul muro

### 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	1f14/20	1f14/20	Spilli f10/40x40
FONDAZIONE	1f14/20	1f14/20	1f14/100x100

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.

Verifiche strutturali: 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 48 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### 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 espresso in [cmq]
Afs	area ferri superiori espressa in [cmq]
M	momento agente espressa in [kNm]
N	sforzso normale agente espressa in [kN]
Mu	momento ultimi espresso in [kNm]
Nu	sforzso 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	47.65	6475.68	2588.712
4	100	53	7.70	7.70	0.05	3.79	87.75	6590.34	1739.052
5	100	54	7.70	7.70	0.11	5.10	143.61	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	0.49	9.19	367.52	6900.86	750.821
9	100	58	7.70	7.70	0.71	10.60	444.52	6669.60	628.987
10	100	59	7.70	7.70	0.98	12.04	522.09	6416.57	532.882
11	100	60	7.70	7.70	1.31	13.50	596.82	6129.26	453.896
12	100	61	7.70	7.70	1.72	14.99	667.79	5825.43	388.595
13	100	62	7.70	7.70	2.20	16.50	733.73	5511.98	333.994
14	100	63	7.70	7.70	2.76	18.04	794.05	5197.17	288.085
15	100	64	7.70	7.70	3.40	19.60	846.53	4876.00	248.744
16	100	65	7.70	7.70	4.14	21.19	889.09	4546.19	214.550
17	100	66	7.70	7.70	4.99	22.80	918.22	4199.73	184.188
18	100	67	7.70	7.70	5.93	24.44	925.93	3813.19	156.035
19	100	68	7.70	7.70	7.00	26.10	919.71	3429.79	131.411
20	100	69	7.70	15.39	8.19	27.79	1068.13	3624.90	130.457
21	100	70	7.70	15.39	9.51	29.50	1069.36	3316.97	112.448
22	100	71	7.70	15.39	10.97	31.23	1059.37	3015.05	96.531
23	100	72	7.70	15.39	12.59	33.00	1047.20	2744.32	83.173
24	100	73	15.39	15.39	14.37	34.78	1104.19	2673.11	76.854
25	100	74	15.39	15.39	16.31	36.59	1072.55	2405.85	65.747
26	100	75	15.39	15.39	18.44	38.43	1043.84	2175.69	56.616
27	100	76	7.70	7.70	20.75	40.29	564.26	1095.74	27.197
28	100	77	7.70	7.70	23.25	42.18	533.32	967.31	22.935
29	100	78	7.70	7.70	25.96	44.09	509.48	865.12	19.623
30	100	79	7.70	7.70	28.89	46.02	490.80	781.97	16.991
31	100	80	7.70	7.70	32.03	47.98	471.66	706.59	14.726

### Fondazione

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	Mu [kNm]	Nu [kN]	FS
1	100	60	12.57	12.57	0.00	0.00	0.00	0.00	100000.000
2	100	60	12.57	12.57	0.06	0.00	258.00	0.00	4370.726
3	100	60	12.57	12.57	0.24	0.00	258.00	0.00	1054.795
4	100	60	12.57	12.57	0.57	0.00	258.00	0.00	453.088
5	100	60	12.57	12.57	1.05	0.00	258.00	0.00	246.598



## 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 49 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	Mu [kNm]	Nu [kN]	FS
6	100	60	12.57	12.57	1.69	0.00	258.00	0.00	152.866
7	100	60	12.57	12.57	2.51	0.00	258.00	0.00	102.925
8	100	60	12.57	12.57	3.52	0.00	258.00	0.00	73.384
9	100	60	12.57	12.57	4.73	0.00	258.00	0.00	54.572
10	100	60	12.57	12.57	6.16	0.00	258.00	0.00	41.915
11	100	60	12.57	12.57	7.81	0.00	258.00	0.00	33.030
12	100	60	12.57	12.57	9.71	0.00	258.00	0.00	26.576
13	100	60	12.57	12.57	11.86	0.00	258.00	0.00	21.756
14	100	60	12.57	12.57	14.28	0.00	258.00	0.00	18.073
15	100	60	12.57	12.57	16.97	0.00	258.00	0.00	15.202
16	100	60	12.57	12.57	19.96	0.00	258.00	0.00	12.926
17	100	60	12.57	12.57	23.25	0.00	258.00	0.00	11.095
18	100	60	12.57	12.57	26.86	0.00	258.00	0.00	9.604
19	100	60	12.57	12.57	30.80	0.00	258.00	0.00	8.376
20	100	60	12.57	12.57	35.09	0.00	258.00	0.00	7.353
21	100	60	12.57	12.57	39.73	0.00	258.00	0.00	6.495
22	100	60	12.57	12.57	5.52	0.00	258.00	0.00	46.729
23	100	60	12.57	12.57	4.64	0.00	258.00	0.00	55.557
24	100	60	12.57	12.57	3.80	0.00	258.00	0.00	67.806
25	100	60	12.57	12.57	3.02	0.00	258.00	0.00	85.514
26	100	60	12.57	12.57	2.29	0.00	258.00	0.00	112.519
27	100	60	12.57	12.57	1.65	0.00	258.00	0.00	156.808
28	100	60	12.57	12.57	1.09	0.00	258.00	0.00	237.365
29	100	60	12.57	12.57	0.63	0.00	258.00	0.00	409.211
30	100	60	12.57	12.57	0.29	0.00	258.00	0.00	893.677
31	100	60	12.57	12.57	0.07	0.00	258.00	0.00	3472.691
32	100	60	12.57	12.57	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	63.20	0.00	209.77	0.00	3.319

### Verifiche a taglio

#### Simbologia adottata

- Is indice sezione
- Y ordinata sezione espressa in [m]
- B larghezza sezione espressa in [cm]
- H altezza sezione espressa in [cm]
- Asw area ferri a taglio espresso in [cmq]
- cotgq inclinazione delle bielle compresse, q inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
- VRcd resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kN]
- VRsd resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kN]
- VRd resistenza di progetto a taglio espresso in [kN]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio (Asw>0.0) VRd=min(VRcd, VRsd).
- T taglio agente espressa in [kN]
- FS fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente)

### Paramento

n°	B [cm]	H [cm]	Asw [cmq]	cotθ	VRcd [kN]	VRsd [kN]	VRd [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	0.15	1290.836
3	100	52	0.00	--	0.00	0.00	191.22	0.36	534.001

## 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 50 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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
4	100	53	0.00	--	0.00	0.00	193.29	0.63	304.782
5	100	54	0.00	--	0.00	0.00	195.35	0.97	200.496
6	100	55	0.00	--	0.00	0.00	197.40	1.38	143.171
7	100	56	0.00	--	0.00	0.00	199.43	1.85	107.936
8	100	57	0.00	--	0.00	0.00	201.46	2.38	84.604
9	100	58	0.00	--	0.00	0.00	203.48	2.98	68.298
10	100	59	0.00	--	0.00	0.00	205.48	3.64	56.423
11	100	60	0.00	--	0.00	0.00	207.48	4.37	47.490
12	100	61	0.00	--	0.00	0.00	209.47	5.16	40.590
13	100	62	0.00	--	0.00	0.00	211.45	6.02	35.143
14	100	63	0.00	--	0.00	0.00	213.42	6.94	30.763
15	100	64	0.00	--	0.00	0.00	215.39	7.92	27.186
16	100	65	0.00	--	0.00	0.00	217.34	8.97	24.217
17	100	66	0.00	--	0.00	0.00	219.29	10.10	21.720
18	100	67	0.00	--	0.00	0.00	221.48	11.29	19.609
19	100	68	0.00	--	0.00	0.00	224.27	12.58	17.830
20	100	69	0.00	--	0.00	0.00	257.10	13.95	18.429
21	100	70	0.00	--	0.00	0.00	259.26	15.42	16.816
22	100	71	0.00	--	0.00	0.00	261.42	16.98	15.399
23	100	72	0.00	--	0.00	0.00	263.57	18.63	14.151
24	100	73	0.00	--	0.00	0.00	291.95	20.36	14.336
25	100	74	0.00	--	0.00	0.00	294.28	22.19	13.260
26	100	75	0.00	--	0.00	0.00	296.59	24.11	12.302
27	100	76	0.00	--	0.00	0.00	246.52	26.11	9.440
28	100	77	0.00	--	0.00	0.00	249.29	28.21	8.839
29	100	78	0.00	--	0.00	0.00	252.07	30.38	8.296
30	100	79	0.00	--	0.00	0.00	254.84	32.65	7.805
31	100	80	0.00	--	0.00	0.00	257.36	35.01	7.352

Fondazione

Sperone

n°	B [cm]	H [cm]	A <sub>sw</sub> [cmq]	cotq	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	-78,96	2.369

Verifica delle tensioni

Simbologia adottata

n°	indice sezione
Y	ordinata sezione, espressa in [m]
B	larghezza sezione, espresso in [cm]
H	altezza sezione, espressa in [cm]
A <sub>fi</sub>	area ferri inferiori, espresso 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]
sc	tensione di compressione nel cls, espressa in [kPa]
s <sub>fi</sub>	tensione nei ferri inferiori, espressa in [kPa]
s <sub>fs</sub>	tensione nei ferri superiori, espressa in [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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 51 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Combinazioni SLER

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14940 [kPa]

Tensione massima di trazione dell'acciaio 360000 [kPa]

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	0.15	1290.836
3	100	52	0.00	--	0.00	0.00	191.22	0.36	534.001
4	100	53	0.00	--	0.00	0.00	193.29	0.63	304.782
5	100	54	0.00	--	0.00	0.00	195.35	0.97	200.496
6	100	55	0.00	--	0.00	0.00	197.40	1.38	143.171
7	100	56	0.00	--	0.00	0.00	199.43	1.85	107.936
8	100	57	0.00	--	0.00	0.00	201.46	2.38	84.604
9	100	58	0.00	--	0.00	0.00	203.48	2.98	68.298
10	100	59	0.00	--	0.00	0.00	205.48	3.64	56.423
11	100	60	0.00	--	0.00	0.00	207.48	4.37	47.490
12	100	61	0.00	--	0.00	0.00	209.47	5.16	40.590
13	100	62	0.00	--	0.00	0.00	211.45	6.02	35.143
14	100	63	0.00	--	0.00	0.00	213.42	6.94	30.763
15	100	64	0.00	--	0.00	0.00	215.39	7.92	27.186
16	100	65	0.00	--	0.00	0.00	217.34	8.97	24.217
17	100	66	0.00	--	0.00	0.00	219.29	10.10	21.720
18	100	67	0.00	--	0.00	0.00	221.48	11.29	19.609
19	100	68	0.00	--	0.00	0.00	224.27	12.58	17.830
20	100	69	0.00	--	0.00	0.00	257.10	13.95	18.429
21	100	70	0.00	--	0.00	0.00	259.26	15.42	16.816
22	100	71	0.00	--	0.00	0.00	261.42	16.98	15.399
23	100	72	0.00	--	0.00	0.00	263.57	18.63	14.151
24	100	73	0.00	--	0.00	0.00	291.95	20.36	14.336
25	100	74	0.00	--	0.00	0.00	294.28	22.19	13.260
26	100	75	0.00	--	0.00	0.00	296.59	24.11	12.302
27	100	76	0.00	--	0.00	0.00	246.52	26.11	9.440
28	100	77	0.00	--	0.00	0.00	249.29	28.21	8.839
29	100	78	0.00	--	0.00	0.00	252.07	30.38	8.296
30	100	79	0.00	--	0.00	0.00	254.84	32.65	7.805
31	100	80	0.00	--	0.00	0.00	257.36	35.01	7.352

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14940 [kPa]

Tensione massima di trazione dell'acciaio 360000 [kPa]

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	241.76	0.00	100.000
2	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	-1.20	201.167
3	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	-2.53	95.528
4	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	-3.99	60.637
5	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	-5.57	43.401
6	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	-7.28	33.204
7	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	-9.12	26.512
8	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	-11.08	21.812
9	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	-13.18	18.348
10	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	-15.40	15.703
11	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	-17.74	13.626
12	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	-20.22	11.959
13	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	-22.82	10.595
14	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	-25.55	9.464

## 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 52 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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
15	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	-28.40	8.512
16	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	-31.38	7.703
17	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	-34.49	7.009
18	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	-37.73	6.407
19	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	-41.10	5.883
20	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	-44.59	5.422
21	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	-48.21	5.015
22	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	8.92	27.096
23	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	8.60	28.104
24	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	8.16	29.644
25	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	7.58	31.889
26	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	6.88	35.140
27	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	6.05	39.952
28	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	5.10	47.446
29	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	4.01	60.253
30	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	2.80	86.277
31	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	1.46	165.060
32	100	60	0.00	--	0.00	0.00	241.76	0.00	100.000

Sperone

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14940 [kPa]

Tensione massima di trazione dell'acciaio 360000 [kPa]

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	220.24	78.96	2.789

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]
- A<sub>f</sub> area ferri zona tesa espresso in [cmq]
- A<sub>eff</sub> area efficace espressa in [cmq]
- M momento agente espressa in [kNm]
- M<sub>pf</sub> momento di prima fessurazione espressa in [kNm]
- e deformazione espresso in %
- S<sub>m</sub> spaziatura tra le fessure espressa in [mm]
- w apertura delle fessure espressa in [mm]

Combinazioni SLEF

Paramento

Apertura limite fessure w<sub>lim</sub>=0.40

## 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 53 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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	204.16	0.000000	0.00	0.000 (11)
18	100	67	7.70	1520.00	2.31	210.47	0.000000	0.00	0.000 (11)
19	100	68	7.70	1520.00	2.81	216.88	0.000000	0.00	0.000 (11)
20	100	69	15.39	1520.00	3.37	234.04	0.000000	0.00	0.000 (11)
21	100	70	15.39	1520.00	4.01	240.83	0.000000	0.00	0.000 (11)
22	100	71	15.39	1520.00	4.73	247.72	0.000000	0.00	0.000 (11)
23	100	72	15.39	1520.00	5.55	254.72	0.000000	0.00	0.000 (11)
24	100	73	15.39	1520.00	6.46	266.99	0.000000	0.00	0.000 (11)
25	100	74	15.39	1520.00	7.47	274.26	0.000000	0.00	0.000 (11)
26	100	75	15.39	1520.00	8.59	281.67	0.000000	0.00	0.000 (11)
27	100	76	7.70	1520.00	9.82	271.60	0.000000	0.00	0.000 (11)
28	100	77	7.70	1520.00	11.18	278.89	0.000000	0.00	0.000 (11)
29	100	78	7.70	1520.00	12.66	286.26	0.000000	0.00	0.000 (11)
30	100	79	7.70	1520.00	14.28	293.73	0.000000	0.00	0.000 (11)
31	100	80	7.70	1520.00	16.03	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	12.57	2413.24	-0.01	-173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
3	100	60	12.57	2413.24	-0.04	-173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
4	100	60	12.57	2413.24	-0.07	-173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
5	100	60	12.57	2413.24	-0.08	-173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
6	100	60	12.57	2413.24	-0.04	-173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
7	100	60	12.57	2000.00	0.04	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
8	100	60	12.57	2000.00	0.21	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
9	100	60	12.57	2000.00	0.47	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
10	100	60	12.57	2000.00	0.84	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
11	100	60	12.57	2000.00	1.34	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
12	100	60	12.57	2000.00	1.98	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
13	100	60	12.57	2000.00	2.79	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
14	100	60	12.57	2000.00	3.79	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
15	100	60	12.57	2000.00	4.99	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
16	100	60	12.57	2000.00	6.41	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
17	100	60	12.57	2000.00	8.06	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
18	100	60	12.57	2000.00	9.98	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
19	100	60	12.57	2000.00	12.17	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
20	100	60	12.57	2000.00	14.65	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
21	100	60	12.57	2000.00	17.44	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
22	100	60	12.57	2000.00	7.57	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
23	100	60	12.57	2000.00	6.37	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
24	100	60	12.57	2000.00	5.23	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
25	100	60	12.57	2000.00	4.15	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
26	100	60	12.57	2000.00	3.16	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
27	100	60	12.57	2000.00	2.27	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
28	100	60	12.57	2000.00	1.50	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
29	100	60	12.57	2000.00	0.87	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
30	100	60	12.57	2000.00	0.40	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
31	100	60	12.57	2000.00	0.10	173.58	0.000000	0.00	0.000 (11)
32	100	60	0.00	0.00	0.00	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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 54 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Sperone

Apertura limite fessure  $w_{lim}=0.40$

n°	B [cm]	H [cm]	Af [cmq]	Aeff [cmq]	M [kNm]	Mpf [kNm]	$\varepsilon$ [%]	Sm [mm]	w [mm]
1	100	50	12.57	1976.62	32.43	122.02	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]	$\varepsilon$ [%]	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	2.31	210.47	0.000000	0.00	0.000 (12)
19	100	68	7.70	1520.00	2.81	216.88	0.000000	0.00	0.000 (12)
20	100	69	15.39	1520.00	3.37	234.04	0.000000	0.00	0.000 (12)
21	100	70	15.39	1520.00	4.01	240.83	0.000000	0.00	0.000 (12)
22	100	71	15.39	1520.00	4.73	247.72	0.000000	0.00	0.000 (12)
23	100	72	15.39	1520.00	5.55	254.72	0.000000	0.00	0.000 (12)
24	100	73	15.39	1520.00	6.46	266.99	0.000000	0.00	0.000 (12)
25	100	74	15.39	1520.00	7.47	274.26	0.000000	0.00	0.000 (12)
26	100	75	15.39	1520.00	8.59	281.67	0.000000	0.00	0.000 (12)
27	100	76	7.70	1520.00	9.82	271.60	0.000000	0.00	0.000 (12)
28	100	77	7.70	1520.00	11.18	278.89	0.000000	0.00	0.000 (12)
29	100	78	7.70	1520.00	12.66	286.26	0.000000	0.00	0.000 (12)
30	100	79	7.70	1520.00	14.28	293.73	0.000000	0.00	0.000 (12)
31	100	80	7.70	1520.00	16.03	300.59	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]	$\varepsilon$ [%]	Sm [mm]	w [mm]
1	100	60	0.00	0.00	0.00	0.00	---	---	0.000 (12)
2	100	60	12.57	2413.24	-0.01	-173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
3	100	60	12.57	2413.24	-0.04	-173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
4	100	60	12.57	2413.24	-0.07	-173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
5	100	60	12.57	2413.24	-0.08	-173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
6	100	60	12.57	2413.24	-0.04	-173.58	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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 55 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

n°	B [cm]	H [cm]	Af [cmq]	Aeff [cmq]	M [kNm]	Mpf [kNm]	ε [%]	Sm [mm]	w [mm]
7	100	60	12.57	2000.00	0.04	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
8	100	60	12.57	2000.00	0.21	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
9	100	60	12.57	2000.00	0.47	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
10	100	60	12.57	2000.00	0.84	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
11	100	60	12.57	2000.00	1.34	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
12	100	60	12.57	2000.00	1.98	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
13	100	60	12.57	2000.00	2.79	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
14	100	60	12.57	2000.00	3.79	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
15	100	60	12.57	2000.00	4.99	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
16	100	60	12.57	2000.00	6.41	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
17	100	60	12.57	2000.00	8.06	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
18	100	60	12.57	2000.00	9.98	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
19	100	60	12.57	2000.00	12.17	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
20	100	60	12.57	2000.00	14.65	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
21	100	60	12.57	2000.00	17.44	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
22	100	60	12.57	2000.00	7.57	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
23	100	60	12.57	2000.00	6.37	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
24	100	60	12.57	2000.00	5.23	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
25	100	60	12.57	2000.00	4.15	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
26	100	60	12.57	2000.00	3.16	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
27	100	60	12.57	2000.00	2.27	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
28	100	60	12.57	2000.00	1.50	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
29	100	60	12.57	2000.00	0.87	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
30	100	60	12.57	2000.00	0.40	173.58	0.000000	0.00	0.000 (12)
31	100	60	12.57	2000.00	0.10	173.58	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	32.43	122.02	0.000000	0.00	0.000 (12)

### VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE

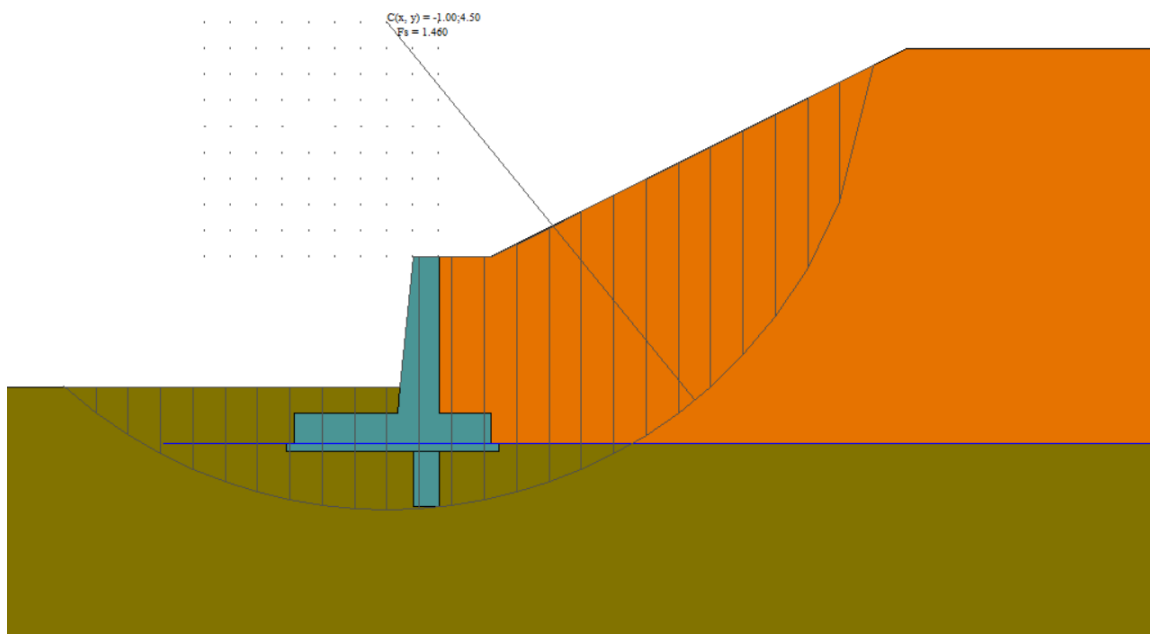
L'analisi di stabilità globale condotta secondo il metodo di Bishop semplificato a portato alla seguente superficie di scorrimento critica:

Verifica stabilità globale muro + terreno

Simbologia adottata

- Ic Indice/Tipo combinazione
- C Centro superficie di scorrimento, espresso in [m]
- R Raggio, espresso in [m]
- FS Fattore di sicurezza

Ic	C [m]	R [m]	FS
4 - GEO (A2-M2-R2)	0.00; 4.50	9.32	1.739
6 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-1.00; 4.50	9.36	1.456



Verifica di stabilità globale

**VERIFICHE GETECNICHE**

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

**Verifica a scorrimento fondazione**
**Simbologia adottata**

n°	Indice combinazione
Rsa	Resistenza allo scorrimento per attrito, espresso in [kN]
Rpt	Resistenza passiva terreno antistante, espresso in [kN]
Rps	Resistenza passiva sperone, espresso in [kN]
Rp	Resistenza a carichi orizzontali pali (solo per fondazione mista), espresso in [kN]
Rt	Resistenza a carichi orizzontali tiranti (solo se presenti), espresso in [kN]
R	Resistenza allo scorrimento (somma di Rsa+Rpt+Rps+Rp), espresso in [kN]
T	Carico parallelo al piano di posa, espresso in [kN]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto R/T)

n°	Rsa [kN]	Rpt [kN]	Rps [kN]	Rp [kN]	Rt [kN]	R [kN]	T [kN]	FS
1 - STR (A1-M1-R3)	53.51	0.00	67.17	--	--	120.68	52.67	2.291
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	47.24	0.00	70.71	--	--	117.95	75.71	1.558

**Dettagli verifica a scorrimento**
**Simbologia adottata**

n°	Indice combinazione
Ncss	Carico sul cuneo di spinta passiva, espresso in [kN]



## 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 sottoscampa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	16	MU0008	REL	01	A	57 di 76

fRp Angolo di rottura passivo, espresso in [°]  
 Nrpp Carico residuo sul piano di posa, espresso in [kN]  
 Lr Lunghezza base residua, espresso in [m]

n°	Ncss [kN]	$\phi_{Rp}$	Nrpp [kN]	Lr [m]
1	101.13	32.500	114.75	1.50
3	108.72	32.500	101.31	1.50

### Verifica a carico limite

#### Simbologia adottata

n° Indice combinazione  
 N Carico normale totale al piano di posa, espresso in [kN]  
 Qu carico limite del terreno, espresso in [kN]  
 Qd Portanza di progetto, espresso in [kN]  
 FS Fattore di sicurezza (rapporto tra il carico limite e carico agente al piano di posa)

n°	N [kN]	Qu [kN]	Qd [kN]	FS
1 - STR (A1-M1-R3)	215.88	1151.02	822.16	5.332
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	227.49	1024.14	731.53	4.502

### Dettagli calcolo portanza

#### Simbologia adottata

n° Indice combinazione  
 Nc, Nq, Ny Fattori di capacità portante  
 ic, iq, iy Fattori di inclinazione del carico  
 dc, dq, dy Fattori di profondità del piano di posa  
 gc, gq, gy Fattori di inclinazione del profilo topografico  
 bc, bq, by Fattori di inclinazione del piano di posa  
 sc, sq, sy Fattori di forma della fondazione  
 pc, pq, py Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic  
 Re Fattore di riduzione capacità portante per eccentricità secondo Meyerhof  
 Ir, Irc Indici di rigidità per punzonamento secondo Vesic  
 ry Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia  $0.5B_7N$ , viene moltiplicato per questo fattore  
 D Affondamento del piano di posa, espresso in [m]  
 B' Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]  
 H Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]  
 $\gamma$  Peso di volume del terreno medio, espresso in [kN/mc]  
 $\phi$  Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]  
 c Coesione del terreno medio, espresso in [kPa]  
 Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Meyerhof).

n°	Nc Nq Ny	ic iq iy	dc dq dy	gc gq gy	bc bq by	sc sq sy	pc pq py	Ir	Irc	Re	ry
1	20.721	0.718	1.164	--	--	--	--	--	--	0.690	0.930
	10.662	0.718	1.082	--	--	--	--	--			
	6.766	0.204	1.082	--	--	--	--	--			
2	20.721	0.620	1.164	--	--	--	--	--	--	0.740	0.930
	10.662	0.620	1.082	--	--	--	--	--			
	6.766	0.055	1.082	--	--	--	--	--			

n°	D [m]	B' [m]	H [m]	$\gamma$ [°]	$\phi$ [kN/mc]	c [kPa]
1	1.98	3.80	2.99	9.19	25.00	10
2	1.98	3.80	2.99	9.19	25.00	10

### Verifica a ribaltamento

#### Simbologia adottata

n° Indice combinazione  
 Ms Momento stabilizzante, espresso in [kNm]  
 Mr Momento ribaltante, espresso in [kNm]  
 FS Fattore di sicurezza (rapporto tra momento stabilizzante e momento ribaltante)  
 La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione

## 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 58 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

n°	Ms [kNm]	Mr [kNm]	FS
7 - EQU	524.75	93.23	5.629
9 - EQU H - V	579.04	146.57	3.950

### Verifica stabilità globale muro + terreno

#### Simbologia adottata

Ic	Indice/Tipo combinazione
C	Centro superficie di scorrimento, espresso in [m]
R	Raggio, espresso in [m]
FS	Fattore di sicurezza

Ic	C [m]	R [m]	FS
4 - GEO (A2-M2-R2)	0.00; 4.50	9.32	1.739
6 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-1.00; 4.50	9.36	1.456

**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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	16	MU0008	REL	01	A	59 di 76

## 13.2 RISULTATI ANALISI E VERIFICHE MURI DI SOTTOSCARPA TIPO 2

### 13.2.1 Modello di calcolo

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

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

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

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

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

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

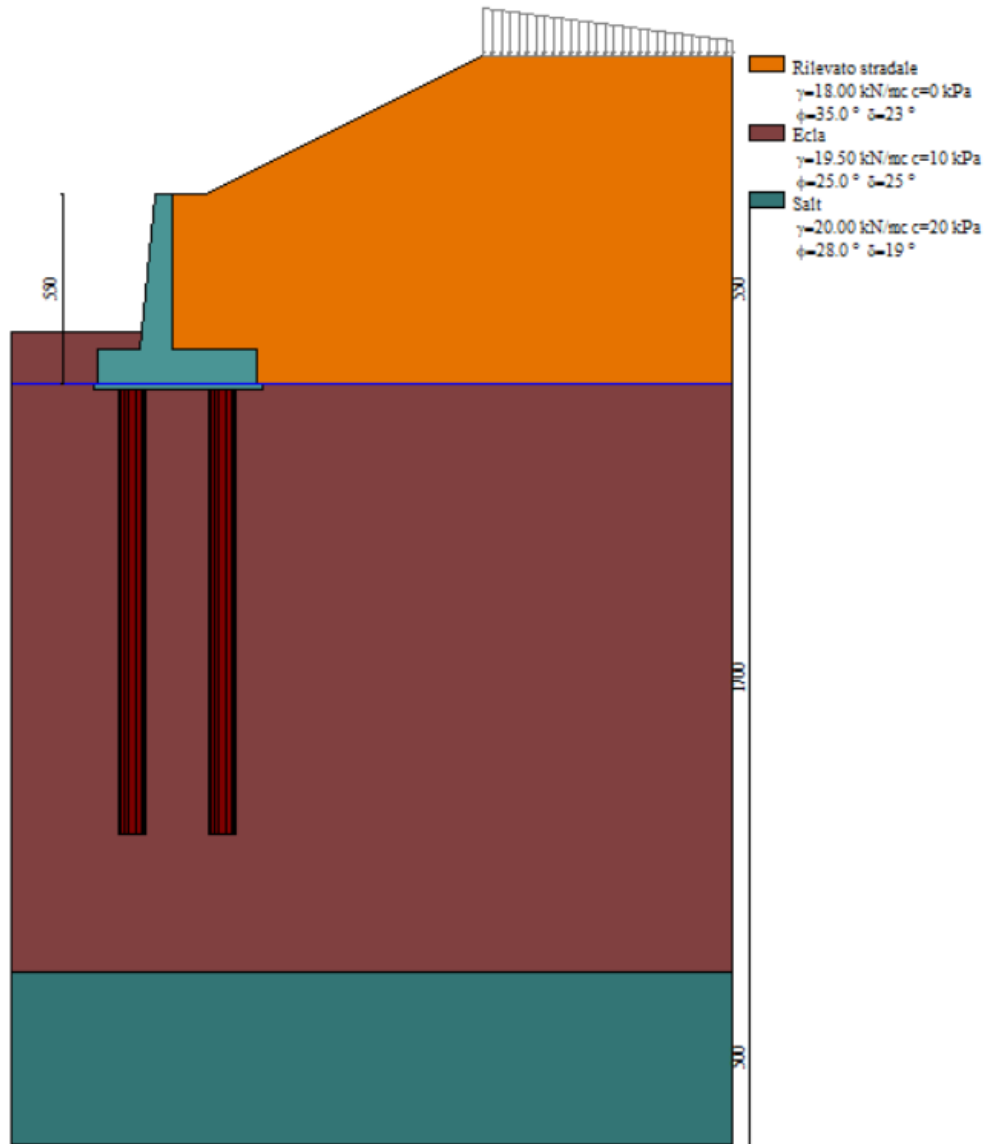
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Traffo	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	16	MU0008	REL	01	A	60 di 76



## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

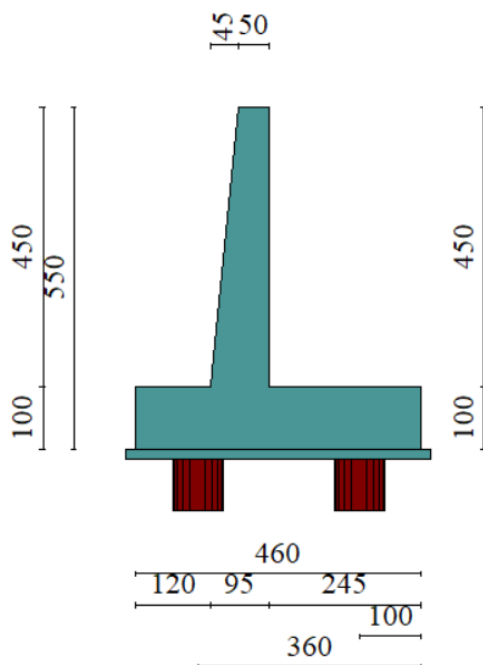
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Traffo 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 61 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



Geometria muro

Modello di calcolo muro su PALI

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	281.68	23.33	258.65	111.55	2.45	-3.10
	Peso/Inerzia muro			0.00	192.70/0.00	-0.07	-3.96
	Peso/Inerzia terrapieno			0.00	207.91/0.00	1.26	-2.14
	Peso/Inerzia terreno sulla fondazione di valle			0.00	10.80	-1.55	-4.25
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				0.00	0.00	0.00
	Resistenza pali			-400.62			
2	Spinta statica	202.08	23.33	185.56	80.03	2.45	-2.99
	Incremento di spinta sismica		146.80	134.80	58.14	2.45	-2.39
	Peso/Inerzia muro			35.83	192.70/17.91	-0.07	-3.96
	Peso/Inerzia terrapieno			38.66	207.91/19.33	1.26	-2.14
	Peso/Inerzia terreno sulla fondazione di valle			2.01	10.80	-1.55	-4.25
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				0.00	0.00	0.00
	Resistenza pali			-400.66			

## 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Traffo 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 62 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Azioni alla base

Simbologia adottata

Cmb Indice/Tipo combinazione

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

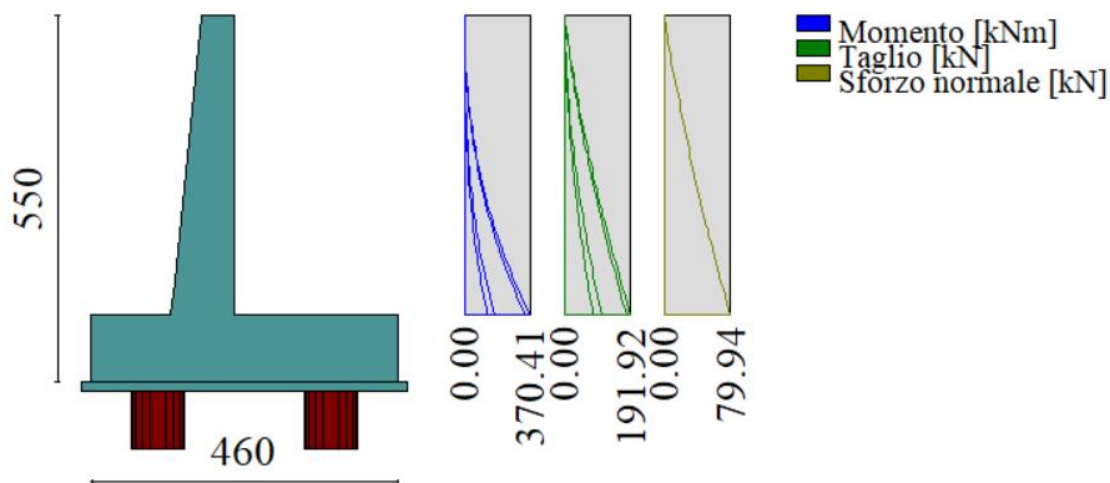
T Componente parallela al piano di posa, espressa in [kN]

Mr Momento ribaltante, espresso in [kNm]

Ms Momento stabilizzante, espresso in [kNm]

ecc Eccentricità risultante, espressa in [m]

Ic	N [kN]	T [kN]	Mr [kNm]	Ms [kNm]	ecc [m]
1 - STR (A1-M1-R3)	522.96	258.65	620.39	1629.28	0.370
2 - STR (A1-M1-R3)	586.82	396.86	1072.32	1854.86	0.966
3 - STR (A1-M1-R3)	497.48	362.41	1068.27	1683.36	1.063
4 - GEO (A2-M2-R2)	505.78	273.51	673.66	1550.25	0.566
5 - GEO (A2-M2-R2)	586.90	477.19	1308.50	1855.25	1.368
6 - GEO (A2-M2-R2)	499.89	440.89	1298.67	1694.47	1.508
7 - SLER	496.93	198.29	476.41	1509.55	0.221
8 - SLEF	495.14	194.13	471.68	1501.30	0.220
9 - SLEQ	491.44	185.56	464.89	1484.31	0.225



Inviluppo sollecitazioni sul muro

### 13.2.2 Verifiche strutturali

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

## 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 63 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Armatura a flessione			Armatura a flessione		
Elemento	Lato monte	Lato valle	Elemento	Lato inferiore	Lato superiore
PARAMENTO	1f22/20	1f22/20	FONDAZIONE	1f22/20	1f22/20

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

Verifiche strutturali per paramento e fondazione

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

Involuppo Sollecitazioni paramento

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	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	-0.10	1.24	1.24	0.54	2.85	0.02	0.14
3	-0.20	2.50	2.50	1.12	5.75	0.10	0.56
4	-0.30	3.79	3.79	1.75	8.69	0.22	1.27
5	-0.40	5.10	5.10	2.41	11.68	0.41	2.26
6	-0.50	6.44	6.44	3.11	14.71	0.66	3.55
7	-0.60	7.80	7.80	3.86	17.79	0.97	5.14
8	-0.70	9.18	9.18	4.64	20.91	1.35	7.03
9	-0.80	10.59	10.59	5.47	24.08	1.81	9.23
10	-0.90	12.02	12.02	6.33	27.29	2.34	11.74
11	-1.00	13.48	13.48	7.24	30.55	2.96	14.57
12	-1.10	14.96	14.96	8.18	33.85	3.65	17.72
13	-1.20	16.47	16.47	9.17	37.19	4.44	21.19
14	-1.30	18.00	18.00	10.22	40.61	5.33	25.00
15	-1.40	19.56	19.56	11.34	44.10	6.31	29.14
16	-1.50	21.14	21.14	12.57	47.70	7.40	33.63
17	-1.60	22.75	22.75	13.92	51.44	8.62	38.47
18	-1.70	24.38	24.38	15.39	55.29	9.96	43.69
19	-1.80	26.03	26.03	16.97	59.25	11.45	49.29
20	-1.90	27.71	27.71	18.61	63.29	13.10	55.28
21	-2.00	29.41	29.41	20.32	67.40	14.90	61.67
22	-2.10	31.14	31.14	22.09	71.57	16.87	68.47
23	-2.20	32.89	32.89	23.93	75.81	19.01	75.68
24	-2.30	34.67	34.67	25.83	80.12	21.33	83.31
25	-2.40	36.47	36.47	27.79	84.50	23.83	91.36
26	-2.50	38.29	38.29	29.81	88.94	26.53	99.84
27	-2.60	40.14	40.14	31.90	93.45	29.42	108.77
28	-2.70	42.02	42.02	34.05	98.03	32.51	118.14
29	-2.80	43.92	43.92	36.26	102.67	35.81	127.96
30	-2.90	45.84	45.84	38.53	107.39	39.32	138.23
31	-3.00	47.79	47.79	40.87	112.17	43.06	148.98
32	-3.10	49.76	49.76	43.27	117.01	47.02	160.19
33	-3.20	51.76	51.76	45.73	121.93	51.22	171.89
34	-3.30	53.78	53.78	48.26	126.91	55.65	184.06
35	-3.40	55.82	55.82	50.85	131.96	60.34	196.73
36	-3.50	57.89	57.89	53.50	137.07	65.27	209.90
37	-3.60	59.99	59.99	56.21	142.26	70.46	223.57
38	-3.70	62.11	62.11	58.99	147.51	75.91	237.75
39	-3.80	64.25	64.25	61.82	152.82	81.64	252.46
40	-3.90	66.42	66.42	64.73	158.21	87.64	267.68
41	-4.00	68.61	68.61	67.69	163.66	93.92	283.44
42	-4.10	70.83	70.83	70.71	169.18	100.49	299.73
43	-4.20	73.07	73.07	73.80	174.76	107.36	316.57
44	-4.30	75.34	75.34	76.95	180.42	114.53	333.95
45	-4.40	77.63	77.63	80.17	186.14	122.00	351.90
46	-4.50	79.94	79.94	83.44	191.92	129.79	370.41

Involuppo Sollecitazioni piastra di fondazione

## 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 64 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Verifiche strutturali

Verifiche a flessione

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

n° indice sezione

Y ordinata sezione espressa in [m]

B larghezza sezione espresso in [cm]

H altezza sezione espressa in [cm]

Afi area ferri inferiori espresso 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 espresso in [kNm]

Nu sforzo normale ultimo espressa in [kN]

FS fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente)

Elementi calcolati a piastra

Simbologia adottata

n° indice sezione

Y ordinata sezione espressa in [m]

B larghezza sezione espresso in [cm]

H altezza sezione espressa in [cm]

Afi, Afs area ferri inferiori e superiori, espresso in [cmq]

Mp, Mn momento positivo e negativo agente espressa in [kNm]

Mu momento ultimi espresso in [kNm]

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	15.71	15.71	0.00	0.00	0.00	0.00	100000.000
2	100	51	15.71	15.71	0.14	1.24	564.15	5019.23	4054.024
3	100	52	15.71	15.71	0.56	2.50	715.72	3198.39	1279.029
4	100	53	15.71	15.71	1.27	3.79	635.60	1902.11	502.183
5	100	54	15.71	15.71	2.26	5.10	541.60	1221.04	239.459
6	100	55	15.71	15.71	3.55	6.44	481.60	872.47	135.579
7	100	56	15.71	15.71	5.14	7.80	449.62	681.74	87.452
8	100	57	15.71	15.71	7.03	9.18	432.57	564.61	61.501
9	100	58	15.71	15.71	9.23	10.59	423.24	485.42	45.838
10	100	59	15.71	15.71	11.74	12.02	418.40	428.33	35.624
11	100	60	15.71	15.71	14.57	13.48	416.41	385.25	28.575
12	100	61	15.71	15.71	17.72	14.96	416.36	351.61	23.495
13	100	62	15.71	15.71	21.19	16.47	417.67	324.61	19.707
14	100	63	15.71	15.71	25.00	18.00	419.42	302.08	16.779
15	100	64	15.71	15.71	29.14	19.56	421.70	283.08	14.472
16	100	65	15.71	15.71	33.63	21.14	424.59	266.94	12.627
17	100	66	15.71	15.71	38.47	22.75	427.95	253.02	11.124
18	100	67	15.71	15.71	43.69	24.38	431.69	240.85	9.881
19	100	68	15.71	15.71	49.29	26.03	435.73	230.10	8.840
20	100	69	15.71	15.71	55.28	27.71	440.02	220.54	7.959
21	100	70	15.71	15.71	61.67	29.41	444.53	211.99	7.208
22	100	71	15.71	15.71	68.47	31.14	449.22	204.29	6.561
23	100	72	15.71	15.71	75.68	32.89	454.06	197.34	6.000
24	100	73	15.71	15.71	83.31	34.67	459.05	191.03	5.510
25	100	74	15.71	15.71	91.36	36.47	464.15	185.28	5.081
26	100	75	15.71	15.71	99.84	38.29	469.36	180.02	4.701



## 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 65 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

n°	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kNm]	N [kN]	Mu [kNm]	Nu [kN]	FS
27	100	76	15.71	15.71	108.77	40.14	474.67	175.19	4.364
28	100	77	15.71	15.71	118.14	42.02	480.06	170.74	4.064
29	100	78	15.71	15.71	127.96	43.92	485.52	166.64	3.794
30	100	79	15.71	15.71	138.23	45.84	491.04	162.83	3.552
31	100	80	15.71	15.71	148.98	47.79	496.63	159.30	3.334
32	100	81	15.71	15.71	160.19	49.76	502.27	156.02	3.135
33	100	82	15.71	15.71	171.89	51.76	507.96	152.95	2.955
34	100	83	15.71	15.71	184.06	53.78	513.69	150.08	2.791
35	100	84	15.71	15.71	196.73	55.82	519.46	147.40	2.640
36	100	85	15.71	15.71	209.90	57.89	525.27	144.88	2.502
37	100	86	15.71	15.71	223.57	59.99	531.12	142.51	2.376
38	100	87	15.71	15.71	237.75	62.11	536.99	140.27	2.259
39	100	88	15.71	15.71	252.46	64.25	542.89	138.17	2.150
40	100	89	15.71	31.42	267.68	66.42	1075.07	266.75	4.016
41	100	90	19.01	15.71	283.44	68.61	553.88	134.08	1.954
42	100	91	19.01	15.71	299.73	70.83	559.86	132.30	1.868
43	100	92	19.01	15.71	316.57	73.07	565.86	130.61	1.787
44	100	93	19.01	15.71	333.95	75.34	571.88	129.01	1.712
45	100	94	19.01	15.71	351.90	77.63	577.91	127.48	1.642
46	100	95	19.01	15.71	370.41	79.94	583.24	125.87	1.575

### Fondazione

Is	Afi [cmq]	Afs [cmq]	Mp [kNm]	Mn [kNm]	Mu [kNm]	FS
1-1-P	8.04	8.04	0.97	-0.22	1014.73	100.000 (1)
1-2-P	8.04	8.04	0.72	-1.44	1014.73	100.000 (1)
1-3-P	8.04	8.04	0.20	-4.41	1014.73	100.000 (1)
1-4-P	8.04	8.04	0.00	-17.97	-1014.73	63.930 (2)
1-5-P	8.04	8.04	0.06	-25.93	-1014.73	44.282 (2)
01-6-P	8.04	8.04	0.00	-29.05	-1014.73	39.512 (2)
1-7-P	8.04	8.04	0.06	-25.93	-1014.73	44.282 (2)
1-8-P	8.04	8.04	0.00	-17.97	-1014.73	63.930 (2)
1-9-P	8.04	8.04	0.20	-4.41	1014.73	100.000 (1)
1-10-P	8.04	8.04	0.72	-1.44	1014.73	100.000 (1)
1-11-P	8.04	8.04	0.97	-0.22	1014.73	100.000 (1)
2-1-P	8.04	8.04	3.40	-0.63	1014.73	100.000 (1)
2-2-P	8.04	8.04	4.73	-0.40	1014.73	100.000 (1)
2-3-P	8.04	8.04	11.16	0.00	1014.73	100.000 (2)
2-4-P	8.04	8.04	16.52	-0.15	1014.73	70.522 (2)
2-5-P	8.04	8.04	1.70	-31.35	-1014.73	31.134 (2)
2-6-P	8.04	8.04	1.04	-107.14	-1014.73	10.164 (2)
2-7-P	8.04	8.04	1.70	-31.35	-1014.73	31.134 (2)
2-8-P	8.04	8.04	16.52	-0.15	1014.73	70.522 (2)
2-9-P	8.04	8.04	11.16	0.00	1014.73	100.000 (2)
2-10-P	8.04	8.04	4.73	-0.40	1014.73	100.000 (1)
2-11-P	8.04	8.04	3.40	-0.63	1014.73	100.000 (1)
4-1-P	12.06	12.06	0.79	-18.64	-1518.98	81.499 (3)
4-2-P	12.06	12.06	0.00	-23.61	-1518.98	64.345 (3)
4-3-P	12.06	12.06	0.00	-29.64	-1518.98	51.242 (3)
4-4-P	12.06	12.06	0.00	-36.24	-1518.98	41.913 (3)
4-5-P	12.06	12.06	0.00	-39.69	-1518.98	38.274 (3)
4-6-P	12.06	12.06	0.00	-41.56	-1518.98	36.551 (3)
4-7-P	12.06	12.06	0.00	-39.69	-1518.98	38.274 (3)
4-8-P	12.06	12.06	0.00	-36.24	-1518.98	41.913 (3)
4-9-P	12.06	12.06	0.00	-29.64	-1518.98	51.242 (3)
4-10-P	12.06	12.06	0.00	-23.61	-1518.98	64.345 (3)
4-11-P	12.06	12.06	0.79	-18.64	-1518.98	81.499 (3)
5-1-P	12.06	12.06	2.30	-0.38	1518.98	100.000 (1)
5-2-P	12.06	12.06	0.51	-1.14	1518.98	100.000 (1)
5-3-P	12.06	12.06	0.00	-5.94	1518.98	100.000 (1)
5-4-P	12.06	12.06	0.00	-16.73	-1518.98	100.000 (1)
5-5-P	12.06	12.06	0.00	-43.27	-1518.98	100.000 (1)
5-6-P	12.06	12.06	0.00	-77.67	-1518.98	65.855 (1)
5-7-P	12.06	12.06	0.00	-43.27	-1518.98	100.000 (1)
5-8-P	12.06	12.06	0.00	-16.73	-1518.98	100.000 (1)
5-9-P	12.06	12.06	0.00	-5.94	1518.98	100.000 (1)
5-10-P	12.06	12.06	0.51	-1.14	1518.98	100.000 (1)
5-11-P	12.06	12.06	2.30	-0.38	1518.98	100.000 (1)
6-1-P	12.06	12.06	0.82	-0.41	1518.98	100.000 (1)
6-2-P	12.06	12.06	0.00	-2.63	1518.98	100.000 (1)

## 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 66 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Is	Afi [cmq]	Afs [cmq]	Mp [kNm]	Mn [kNm]	Mu [kNm]	FS
6-3-P	12.06	12.06	0.00	-8.09	1518.98	100.000 (1)
6-4-P	12.06	12.06	0.00	-18.38	1518.98	100.000 (1)
6-5-P	12.06	12.06	0.00	-27.58	1518.98	100.000 (1)
6-6-P	12.06	12.06	0.00	-36.25	1518.98	100.000 (1)
6-7-P	12.06	12.06	0.00	-27.58	1518.98	100.000 (1)
6-8-P	12.06	12.06	0.00	-18.38	1518.98	100.000 (1)
6-9-P	12.06	12.06	0.00	-8.09	1518.98	100.000 (1)
6-10-P	12.06	12.06	0.00	-2.63	1518.98	100.000 (1)
6-11-P	12.06	12.06	0.82	-0.41	1518.98	100.000 (1)
7-1-S	12.06	12.06	0.40	-2.47	1518.31	100.000 (1)
7-2-S	12.06	12.06	0.00	-4.02	-1518.31	100.000 (1)
7-3-S	12.06	12.06	0.13	-3.97	1518.31	100.000 (1)
7-4-S	12.06	12.06	1.98	-1.36	1518.31	100.000 (1)
7-5-S	12.06	12.06	18.35	0.00	1518.31	100.000 (2)
7-6-S	12.06	12.06	32.95	-0.07	1518.31	56.323 (2)
7-7-S	12.06	12.06	0.00	-219.53	-1518.31	6.916 (3)
7-8-S	12.06	12.06	0.00	-178.02	-1518.31	8.529 (3)
7-9-S	12.06	12.06	0.00	-136.90	-1518.31	11.090 (3)
7-10-S	12.06	12.06	0.00	-109.77	-1518.31	13.832 (3)
7-11-S	12.06	12.06	0.00	-82.95	-1518.31	18.303 (3)
7-12-S	12.06	12.06	0.00	-61.50	-1518.31	24.690 (3)
7-13-S	12.06	12.06	0.00	-40.61	-1518.31	37.386 (3)
7-14-S	12.06	12.06	0.00	-26.20	-1518.31	58.068 (1)
7-15-S	12.06	12.06	0.00	-15.93	1518.31	100.000 (1)
7-16-S	12.06	12.06	0.00	-8.92	1518.31	100.000 (1)
7-17-S	12.06	12.06	0.43	-2.35	1518.31	100.000 (1)
8-1-S	12.06	12.06	3.39	-0.23	1518.31	100.000 (1)
8-2-S	12.06	12.06	12.83	-1.65	1518.31	100.000 (2)
8-3-S	12.06	12.06	3.38	-5.82	1518.31	100.000 (2)
8-4-S	12.06	12.06	0.12	-58.99	-1518.31	28.604 (2)
8-5-S	12.06	12.06	1.66	-64.18	-1518.31	18.753 (2)
8-6-S	12.06	12.06	107.29	0.00	1518.31	16.410 (2)
8-7-S	12.06	12.06	0.00	-223.83	-1518.31	6.783 (3)
8-8-S	12.06	12.06	0.00	-181.16	-1518.31	8.381 (3)
8-9-S	12.06	12.06	0.00	-138.87	-1518.31	10.934 (3)
8-10-S	12.06	12.06	0.00	-109.72	-1518.31	13.838 (3)
8-11-S	12.06	12.06	0.00	-81.44	-1518.31	18.642 (3)
8-12-S	12.06	12.06	0.00	-76.08	-1518.31	22.150 (1)
8-13-S	12.06	12.06	0.00	-94.64	-1518.31	27.868 (1)
8-14-S	12.06	12.06	0.00	-52.66	-1518.31	46.600 (1)
8-15-S	12.06	12.06	0.48	-11.00	-1518.31	100.000 (1)
8-16-S	12.06	12.06	0.51	-4.29	-1518.31	100.000 (1)
8-17-S	12.06	12.06	3.08	-0.12	1518.31	100.000 (1)
9-1-S	12.06	12.06	0.40	-2.47	1518.31	100.000 (1)
9-2-S	12.06	12.06	0.00	-4.02	-1518.31	100.000 (1)
9-3-S	12.06	12.06	0.13	-3.97	1518.31	100.000 (1)
9-4-S	12.06	12.06	1.98	-1.36	1518.31	100.000 (1)
9-5-S	12.06	12.06	18.35	0.00	1518.31	100.000 (2)
9-6-S	12.06	12.06	32.95	-0.07	1518.31	56.323 (2)
9-7-S	12.06	12.06	0.00	-219.53	-1518.31	6.916 (3)
9-8-S	12.06	12.06	0.00	-178.02	-1518.31	8.529 (3)
9-9-S	12.06	12.06	0.00	-136.90	-1518.31	11.090 (3)
9-10-S	12.06	12.06	0.00	-109.77	-1518.31	13.832 (3)
9-11-S	12.06	12.06	0.00	-82.95	-1518.31	18.303 (3)
9-12-S	12.06	12.06	0.00	-61.50	-1518.31	24.690 (3)
9-13-S	12.06	12.06	0.00	-40.61	-1518.31	37.386 (3)
9-14-S	12.06	12.06	0.00	-26.20	-1518.31	58.068 (1)
9-15-S	12.06	12.06	0.00	-15.93	1518.31	100.000 (1)
9-16-S	12.06	12.06	0.00	-8.92	1518.31	100.000 (1)
9-17-S	12.06	12.06	0.43	-2.35	1518.31	100.000 (1)

Verifica delle tensioni

Simbologia adottata

- n° indice sezione
- Y ordinata sezione, espressa in [m]
- B larghezza sezione, espresso in [cm]
- H altezza sezione, espressa in [cm]
- Afi area ferri inferiori, espresso in [cmq]
- Afs area ferri superiori, espressa in [cmq]

## 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 67 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

- M momento agente, espressa in [kNm]  
 N sforzo normale agente, espressa in [kN]  
 sc tensione di compressione nel cls, espressa in [kPa]  
 sfi tensione nei ferri inferiori, espressa in [kPa]  
 sfs tensione nei ferri superiori, espressa in [kPa]

Combinazioni SLER

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]	Mu [kNm]	Nu [kN]	FS
1	100	50	0.00	12.72	0.00	0.00	0.00	0.00	100000.000
2	100	51	0.00	12.72	0.14	1.24	462.57	4115.48	3324.063
3	100	52	19.01	12.72	0.56	2.50	707.12	3159.95	1263.655
4	100	53	19.01	12.72	1.27	3.79	577.75	1729.00	456.480
5	100	54	19.01	12.72	2.26	5.10	451.59	1018.12	199.663
6	100	55	19.01	12.72	3.55	6.44	396.27	717.88	111.556
7	100	56	19.01	12.72	5.14	7.80	370.05	561.08	71.974
8	100	57	19.01	12.72	7.03	9.18	356.11	464.81	50.630
9	100	58	19.01	12.72	9.23	10.59	348.51	399.72	37.746
10	100	59	19.01	12.72	11.74	12.02	343.24	351.39	29.225
11	100	60	19.01	12.72	14.57	13.48	340.52	315.04	23.367
12	100	61	19.01	12.72	17.72	14.96	339.54	286.74	19.161
13	100	62	19.01	12.72	21.19	16.47	339.80	264.10	16.033
14	100	63	19.01	12.72	25.00	18.00	340.94	245.56	13.639
15	100	64	19.01	12.72	29.14	19.56	342.75	230.09	11.763
16	100	65	19.01	12.72	33.63	21.14	345.07	216.95	10.262
17	100	66	19.01	12.72	38.47	22.75	347.77	205.61	9.039
18	100	67	19.01	12.72	43.69	24.38	350.77	195.70	8.029
19	100	68	19.01	12.72	49.29	26.03	354.02	186.95	7.182
20	100	69	19.01	12.72	55.28	27.71	357.48	179.17	6.466
21	100	70	19.01	12.72	61.67	29.41	361.11	172.21	5.855
22	100	71	19.01	12.72	68.47	31.14	364.90	165.94	5.329
23	100	72	19.01	12.72	75.68	32.89	368.81	160.29	4.873
24	100	73	19.01	12.72	83.31	34.67	372.83	155.15	4.475
25	100	74	19.01	12.72	91.36	36.47	376.96	150.47	4.126
26	100	75	19.01	12.72	99.84	38.29	381.17	146.19	3.818
27	100	76	19.01	12.72	108.77	40.14	385.46	142.26	3.544
28	100	77	19.01	12.72	118.14	42.02	389.81	138.65	3.300
29	100	78	19.01	12.72	127.96	43.92	394.23	135.31	3.081
30	100	79	19.01	12.72	138.23	45.84	398.70	132.21	2.884
31	100	80	19.01	12.72	148.98	47.79	403.22	129.34	2.707
32	100	81	19.01	12.72	160.19	49.76	407.78	126.67	2.546
33	100	82	19.01	12.72	171.89	51.76	412.39	124.17	2.399
34	100	83	19.01	12.72	184.06	53.78	417.03	121.84	2.266
35	100	84	19.01	12.72	196.73	55.82	421.70	119.66	2.144
36	100	85	19.01	12.72	209.90	57.89	426.40	117.61	2.031
37	100	86	19.01	12.72	223.57	59.99	431.13	115.68	1.928
38	100	87	19.01	12.72	237.75	62.11	435.89	113.86	1.833
39	100	88	19.01	12.72	252.46	64.25	440.67	112.15	1.746
40	100	89	0.00	25.45	267.68	66.42	867.73	215.31	3.242
41	100	90	19.01	12.72	283.44	68.61	450.29	109.00	1.589
42	100	91	19.01	12.72	299.73	70.83	455.12	107.55	1.518
43	100	92	19.01	12.72	316.57	73.07	459.98	106.17	1.453
44	100	93	19.01	12.72	333.95	75.34	464.85	104.86	1.392
45	100	94	19.01	12.72	351.90	77.63	469.74	103.62	1.335
46	100	95	19.01	12.72	370.41	79.94	474.04	102.31	1.280

Piastra fondazione

## 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 68 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 19920 [kPa]

Tensione massima di trazione dell'acciaio 1255271 [kPa]

Is	Afi [cmq]	Afs [cmq]	Mp [kNm]	Mn [kNm]	Mu [kNm]	FS
1-1-P	8.04	8.04	0.97	-0.22	1014.73	100.000 (1)
1-2-P	8.04	8.04	0.72	-1.44	1014.73	100.000 (1)
1-3-P	8.04	8.04	0.20	-4.41	1014.73	100.000 (1)
1-4-P	8.04	8.04	0.00	-17.97	-1014.73	63.930 (2)
1-5-P	8.04	8.04	0.06	-25.93	-1014.73	44.282 (2)
1-6-P	8.04	8.04	0.00	-29.05	-1014.73	39.512 (2)
1-7-P	8.04	8.04	0.06	-25.93	-1014.73	44.282 (2)
1-8-P	8.04	8.04	0.00	-17.97	-1014.73	63.930 (2)
1-9-P	8.04	8.04	0.20	-4.41	1014.73	100.000 (1)
1-10-P	8.04	8.04	0.72	-1.44	1014.73	100.000 (1)
1-11-P	8.04	8.04	0.97	-0.22	1014.73	100.000 (1)
2-1-P	8.04	8.04	3.40	-0.63	1014.73	100.000 (1)
2-2-P	8.04	8.04	4.73	-0.40	1014.73	100.000 (1)
2-3-P	8.04	8.04	11.16	0.00	1014.73	100.000 (2)
2-4-P	8.04	8.04	16.52	-0.15	1014.73	70.522 (2)
2-5-P	8.04	8.04	1.70	-31.35	-1014.73	31.134 (2)
2-6-P	8.04	8.04	1.04	-107.14	-1014.73	10.164 (2)
2-7-P	8.04	8.04	1.70	-31.35	-1014.73	31.134 (2)
2-8-P	8.04	8.04	16.52	-0.15	1014.73	70.522 (2)
2-9-P	8.04	8.04	11.16	0.00	1014.73	100.000 (2)
2-10-P	8.04	8.04	4.73	-0.40	1014.73	100.000 (1)
2-11-P	8.04	8.04	3.40	-0.63	1014.73	100.000 (1)
4-1-P	12.06	12.06	0.79	-18.64	-1518.98	81.499 (3)
4-2-P	12.06	12.06	0.00	-23.61	-1518.98	64.345 (3)
4-3-P	12.06	12.06	0.00	-29.64	-1518.98	51.242 (3)
4-4-P	12.06	12.06	0.00	-36.24	-1518.98	41.913 (3)
4-5-P	12.06	12.06	0.00	-39.69	-1518.98	38.274 (3)
4-6-P	12.06	12.06	0.00	-41.56	-1518.98	36.551 (3)
4-7-P	12.06	12.06	0.00	-39.69	-1518.98	38.274 (3)
4-8-P	12.06	12.06	0.00	-36.24	-1518.98	41.913 (3)
4-9-P	12.06	12.06	0.00	-29.64	-1518.98	51.242 (3)
4-10-P	12.06	12.06	0.00	-23.61	-1518.98	64.345 (3)
4-11-P	12.06	12.06	0.79	-18.64	-1518.98	81.499 (3)
5-1-P	12.06	12.06	2.30	-0.38	1518.98	100.000 (1)
5-2-P	12.06	12.06	0.51	-1.14	1518.98	100.000 (1)
5-3-P	12.06	12.06	0.00	-5.94	1518.98	100.000 (1)
5-4-P	12.06	12.06	0.00	-16.73	-1518.98	100.000 (1)
5-5-P	12.06	12.06	0.00	-43.27	-1518.98	100.000 (1)
5-6-P	12.06	12.06	0.00	-77.67	-1518.98	65.855 (1)
5-7-P	12.06	12.06	0.00	-43.27	-1518.98	100.000 (1)
5-8-P	12.06	12.06	0.00	-16.73	-1518.98	100.000 (1)
5-9-P	12.06	12.06	0.00	-5.94	1518.98	100.000 (1)
5-10-P	12.06	12.06	0.51	-1.14	1518.98	100.000 (1)
5-11-P	12.06	12.06	2.30	-0.38	1518.98	100.000 (1)
6-1-P	12.06	12.06	0.82	-0.41	1518.98	100.000 (1)
6-2-P	12.06	12.06	0.00	-2.63	1518.98	100.000 (1)
6-3-P	12.06	12.06	0.00	-8.09	1518.98	100.000 (1)
6-4-P	12.06	12.06	0.00	-18.38	1518.98	100.000 (1)
6-5-P	12.06	12.06	0.00	-27.58	1518.98	100.000 (1)
6-6-P	12.06	12.06	0.00	-36.25	1518.98	100.000 (1)
6-7-P	12.06	12.06	0.00	-27.58	1518.98	100.000 (1)
6-8-P	12.06	12.06	0.00	-18.38	1518.98	100.000 (1)
6-9-P	12.06	12.06	0.00	-8.09	1518.98	100.000 (1)
6-10-P	12.06	12.06	0.00	-2.63	1518.98	100.000 (1)
6-11-P	12.06	12.06	0.82	-0.41	1518.98	100.000 (1)
7-1-S	12.06	12.06	0.40	-2.47	1518.31	100.000 (1)
7-2-S	12.06	12.06	0.00	-4.02	-1518.31	100.000 (1)
7-3-S	12.06	12.06	0.13	-3.97	1518.31	100.000 (1)
7-4-S	12.06	12.06	1.98	-1.36	1518.31	100.000 (1)
7-5-S	12.06	12.06	18.35	0.00	1518.31	100.000 (2)
7-6-S	12.06	12.06	32.95	-0.07	1518.31	56.323 (2)
7-7-S	12.06	12.06	0.00	-219.53	-1518.31	6.916 (3)
7-8-S	12.06	12.06	0.00	-178.02	-1518.31	8.529 (3)
7-9-S	12.06	12.06	0.00	-136.90	-1518.31	11.090 (3)
7-10-S	12.06	12.06	0.00	-109.77	-1518.31	13.832 (3)
7-11-S	12.06	12.06	0.00	-82.95	-1518.31	18.303 (3)
7-12-S	12.06	12.06	0.00	-61.50	-1518.31	24.690 (3)

## 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 69 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Is	Afi [cmq]	Afs [cmq]	Mp [kNm]	Mn [kNm]	Mu [kNm]	FS
7-13-S	12.06	12.06	0.00	-40.61	-1518.31	37.386 (3)
7-14-S	12.06	12.06	0.00	-26.20	-1518.31	58.068 (1)
7-15-S	12.06	12.06	0.00	-15.93	1518.31	100.000 (1)
7-16-S	12.06	12.06	0.00	-8.92	1518.31	100.000 (1)
7-17-S	12.06	12.06	0.43	-2.35	1518.31	100.000 (1)
8-1-S	12.06	12.06	3.39	-0.23	1518.31	100.000 (1)
8-2-S	12.06	12.06	12.83	-1.65	1518.31	100.000 (2)
8-3-S	12.06	12.06	3.38	-5.82	1518.31	100.000 (2)
8-4-S	12.06	12.06	0.12	-58.99	-1518.31	28.604 (2)
8-5-S	12.06	12.06	1.66	-64.18	-1518.31	18.753 (2)
8-6-S	12.06	12.06	107.29	0.00	1518.31	16.410 (2)
8-7-S	12.06	12.06	0.00	-223.83	-1518.31	6.783 (3)
8-8-S	12.06	12.06	0.00	-181.16	-1518.31	8.381 (3)
8-9-S	12.06	12.06	0.00	-138.87	-1518.31	10.934 (3)
8-10-S	12.06	12.06	0.00	-109.72	-1518.31	13.838 (3)
8-11-S	12.06	12.06	0.00	-81.44	-1518.31	18.642 (3)
8-12-S	12.06	12.06	0.00	-76.08	-1518.31	22.150 (1)
8-13-S	12.06	12.06	0.00	-94.64	-1518.31	27.868 (1)
8-14-S	12.06	12.06	0.00	-52.66	-1518.31	46.600 (1)
8-15-S	12.06	12.06	0.48	-11.00	-1518.31	100.000 (1)
8-16-S	12.06	12.06	0.51	-4.29	-1518.31	100.000 (1)
8-17-S	12.06	12.06	3.08	-0.12	1518.31	100.000 (1)
9-1-S	12.06	12.06	0.40	-2.47	1518.31	100.000 (1)
9-2-S	12.06	12.06	0.00	-4.02	-1518.31	100.000 (1)
9-3-S	12.06	12.06	0.13	-3.97	1518.31	100.000 (1)
9-4-S	12.06	12.06	1.98	-1.36	1518.31	100.000 (1)
9-5-S	12.06	12.06	18.35	0.00	1518.31	100.000 (2)
9-6-S	12.06	12.06	32.95	-0.07	1518.31	56.323 (2)
9-7-S	12.06	12.06	0.00	-219.53	-1518.31	6.916 (3)
9-8-S	12.06	12.06	0.00	-178.02	-1518.31	8.529 (3)
9-9-S	12.06	12.06	0.00	-136.90	-1518.31	11.090 (3)
9-10-S	12.06	12.06	0.00	-109.77	-1518.31	13.832 (3)
9-11-S	12.06	12.06	0.00	-82.95	-1518.31	18.303 (3)
9-12-S	12.06	12.06	0.00	-61.50	-1518.31	24.690 (3)
9-13-S	12.06	12.06	0.00	-40.61	-1518.31	37.386 (3)
9-14-S	12.06	12.06	0.00	-26.20	-1518.31	58.068 (1)
9-15-S	12.06	12.06	0.00	-15.93	1518.31	100.000 (1)
9-16-S	12.06	12.06	0.00	-8.92	1518.31	100.000 (1)
9-17-S	12.06	12.06	0.43	-2.35	1518.31	100.000 (1)

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]
e	deformazione espresso in %
Sm	spaziatura tra le fessure espressa in [mm]
w	apertura delle fessure espressa in [mm]

Combinazioni SLEF

Paramento

Apertura limite fessure  $w_{lim}=0.40$

## 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 70 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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	---	---	0.00 (8)
2	100	51	12.72	1840.00	0.02	122.38	0.000000	0.00	0.00 (8)
3	100	52	12.72	1840.00	0.10	134.30	0.000000	0.00	0.00 (8)
4	100	53	12.72	1840.00	0.22	139.44	0.000000	0.00	0.00 (8)
5	100	54	12.72	1840.00	0.41	144.67	0.000000	0.00	0.00 (8)
6	100	55	12.72	1840.00	0.66	150.00	0.000000	0.00	0.00 (8)
7	100	56	12.72	1840.00	0.97	155.42	0.000000	0.00	0.00 (8)
8	100	57	12.72	1840.00	1.35	160.92	0.000000	0.00	0.00 (8)
9	100	58	12.72	1840.00	1.81	166.53	0.000000	0.00	0.00 (8)
10	100	59	12.72	1840.00	2.34	172.23	0.000000	0.00	0.00 (8)
11	100	60	12.72	1840.00	2.96	178.02	0.000000	0.00	0.00 (8)
12	100	61	12.72	1840.00	3.65	183.91	0.000000	0.00	0.00 (8)
13	100	62	12.72	1840.00	4.44	189.89	0.000000	0.00	0.00 (8)
14	100	63	12.72	1840.00	5.33	195.96	0.000000	0.00	0.00 (8)
15	100	64	12.72	1840.00	6.31	202.12	0.000000	0.00	0.00 (8)
16	100	65	12.72	1840.00	7.40	208.38	0.000000	0.00	0.00 (8)
17	100	66	12.72	1840.00	8.62	214.73	0.000000	0.00	0.00 (8)
18	100	67	12.72	1840.00	9.96	221.19	0.000000	0.00	0.00 (8)
19	100	68	12.72	1840.00	11.45	227.72	0.000000	0.00	0.00 (8)
20	100	69	12.72	1840.00	13.10	234.36	0.000000	0.00	0.00 (8)
21	100	70	12.72	1840.00	14.90	241.09	0.000000	0.00	0.00 (8)
22	100	71	12.72	1840.00	16.87	247.93	0.000000	0.00	0.00 (8)
23	100	72	12.72	1840.00	19.01	254.84	0.000000	0.00	0.00 (8)
24	100	73	12.72	1840.00	21.33	261.85	0.000000	0.00	0.00 (8)
25	100	74	12.72	1840.00	23.83	268.97	0.000000	0.00	0.00 (8)
26	100	75	12.72	1840.00	26.53	276.18	0.000000	0.00	0.00 (8)
27	100	76	12.72	1840.00	29.42	283.47	0.000000	0.00	0.00 (8)
28	100	77	12.72	1840.00	32.51	290.86	0.000000	0.00	0.00 (8)
29	100	78	12.72	1840.00	35.81	298.35	0.000000	0.00	0.00 (8)
30	100	79	12.72	1840.00	39.32	305.94	0.000000	0.00	0.00 (8)
31	100	80	12.72	1840.00	43.06	313.63	0.000000	0.00	0.00 (8)
32	100	81	12.72	1840.00	47.02	321.38	0.000000	0.00	0.00 (8)
33	100	82	12.72	1840.00	51.22	329.26	0.000000	0.00	0.00 (8)
34	100	83	12.72	1840.00	55.65	337.24	0.000000	0.00	0.00 (8)
35	100	84	12.72	1840.00	60.34	345.31	0.000000	0.00	0.00 (8)
36	100	85	12.72	1840.00	65.27	353.46	0.000000	0.00	0.00 (8)
37	100	86	12.72	1840.00	70.46	361.71	0.000000	0.00	0.00 (8)
38	100	87	12.72	1840.00	75.91	370.06	0.000000	0.00	0.00 (8)
39	100	88	12.72	1840.00	81.64	378.50	0.000000	0.00	0.00 (8)
40	100	89	25.45	1840.00	87.64	393.87	0.000000	0.00	0.00 (8)
41	100	90	12.72	1840.00	93.92	395.69	0.000000	0.00	0.00 (8)
42	100	91	12.72	1840.00	100.49	404.43	0.000000	0.00	0.00 (8)
43	100	92	12.72	1840.00	107.36	413.25	0.000000	0.00	0.00 (8)
44	100	93	12.72	1840.00	114.53	422.20	0.000000	0.00	0.00 (8)
45	100	94	12.72	1840.00	122.00	431.22	0.000000	0.00	0.00 (8)
46	100	95	12.72	1840.00	129.79	439.47	0.000000	0.00	0.00 (8)

Piastra fondazione

Apertura limite fessure wlim=0.40

Is	B [cm]	H [cm]	Af [cmq]	Aeff [cmq]	M [kNm]	Mpf [kNm]	ε [%]	Sm [mm]	w [mm]
1-1-P	60	100	8.04	2506.88	0.84	-340.42	0.000000	0.00	0.000
1-2-P	60	100	8.04	2506.88	-1.24	-340.42	0.000000	0.00	0.000
1-3-P	60	100	8.04	2506.88	-3.79	-340.42	0.000000	0.00	0.000
1-4-P	60	100	8.04	2506.88	-10.12	-340.42	0.000000	0.00	0.000
1-5-P	60	100	8.04	2506.88	-14.65	-340.42	0.000000	0.00	0.000
1-6-P	60	100	8.04	2506.88	-16.44	-340.42	0.000000	0.00	0.000
1-7-P	60	100	8.04	2506.88	-14.65	-340.42	0.000000	0.00	0.000
1-8-P	60	100	8.04	2506.88	-10.12	-340.42	0.000000	0.00	0.000
1-9-P	60	100	8.04	2506.88	-3.79	-340.42	0.000000	0.00	0.000
1-10-P	60	100	8.04	2506.88	-1.24	-340.42	0.000000	0.00	0.000
1-11-P	60	100	8.04	2506.88	0.84	-340.42	0.000000	0.00	0.000
2-1-P	60	100	8.04	2507.07	2.94	-340.44	0.000000	0.00	0.000
2-2-P	60	100	8.04	2507.07	4.06	-340.44	0.000000	0.00	0.000
2-3-P	60	100	8.04	2507.07	5.68	-340.44	0.000000	0.00	0.000
2-4-P	60	100	8.04	2507.07	8.55	-340.44	0.000000	0.00	0.000
2-5-P	60	100	8.04	2507.07	-18.56	-340.44	0.000000	0.00	0.000
2-6-P	60	100	8.04	2507.07	-62.00	-340.44	0.000000	0.00	0.000
2-7-P	60	100	8.04	2507.07	-18.56	-340.44	0.000000	0.00	0.000
2-8-P	60	100	8.04	2507.07	8.55	-340.44	0.000000	0.00	0.000

## 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 71 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Is	B [cm]	H [cm]	Af [cmq]	Aeff [cmq]	M [kNm]	Mpf [kNm]	s [%]	Sm [mm]	w [mm]
2-9-P	60	100	8.04	2507.07	5.68	-340.44	0.000000	0.00	0.000
2-10-P	60	100	8.04	2507.07	4.06	-340.44	0.000000	0.00	0.000
2-11-P	60	100	8.04	2507.07	2.94	-340.44	0.000000	0.00	0.000
4-1-P	82	100	12.06	3385.85	-3.83	-467.62	0.000000	0.00	0.000
4-2-P	82	100	12.06	3385.85	-5.35	-467.62	0.000000	0.00	0.000
4-3-P	82	100	12.06	3385.85	-7.98	-467.62	0.000000	0.00	0.000
4-4-P	82	100	12.06	3385.85	-11.51	-467.62	0.000000	0.00	0.000
4-5-P	82	100	12.06	3385.85	-13.18	-467.62	0.000000	0.00	0.000
4-6-P	82	100	12.06	3385.85	-13.93	-467.62	0.000000	0.00	0.000
4-7-P	82	100	12.06	3385.85	-13.18	-467.62	0.000000	0.00	0.000
4-8-P	82	100	12.06	3385.85	-11.51	-467.62	0.000000	0.00	0.000
4-9-P	82	100	12.06	3385.85	-7.98	-467.62	0.000000	0.00	0.000
4-10-P	82	100	12.06	3385.85	-5.35	-467.62	0.000000	0.00	0.000
4-11-P	82	100	12.06	3385.85	-3.83	-467.62	0.000000	0.00	0.000
5-1-P	82	100	12.06	3385.85	2.58	-467.62	0.000000	0.00	0.000
5-2-P	82	100	12.06	3385.85	-0.86	-467.62	0.000000	0.00	0.000
5-3-P	82	100	12.06	3385.85	-5.70	-467.62	0.000000	0.00	0.000
5-4-P	82	100	12.06	3385.85	-16.98	-467.62	0.000000	0.00	0.000
5-5-P	82	100	12.06	3385.85	-45.75	-467.62	0.000000	0.00	0.000
5-6-P	82	100	12.06	3385.85	-83.25	-467.62	0.000000	0.00	0.000
5-7-P	82	100	12.06	3385.85	-45.75	-467.62	0.000000	0.00	0.000
5-8-P	82	100	12.06	3385.85	-16.98	-467.62	0.000000	0.00	0.000
5-9-P	82	100	12.06	3385.85	-5.70	-467.62	0.000000	0.00	0.000
5-10-P	82	100	12.06	3385.85	-0.86	-467.62	0.000000	0.00	0.000
5-11-P	82	100	12.06	3385.85	2.58	-467.62	0.000000	0.00	0.000
6-1-P	82	100	12.06	3385.85	0.66	-467.62	0.000000	0.00	0.000
6-2-P	82	100	12.06	3385.85	-3.75	-467.62	0.000000	0.00	0.000
6-3-P	82	100	12.06	3385.85	-10.26	-467.62	0.000000	0.00	0.000
6-4-P	82	100	12.06	3385.85	-22.16	-467.62	0.000000	0.00	0.000
6-5-P	82	100	12.06	3385.85	-32.64	-467.62	0.000000	0.00	0.000
6-6-P	82	100	12.06	3385.85	-42.40	-467.62	0.000000	0.00	0.000
6-7-P	82	100	12.06	3385.85	-32.64	-467.62	0.000000	0.00	0.000
6-8-P	82	100	12.06	3385.85	-22.16	-467.62	0.000000	0.00	0.000
6-9-P	82	100	12.06	3385.85	-10.26	-467.62	0.000000	0.00	0.000
6-10-P	82	100	12.06	3385.85	-3.75	-467.62	0.000000	0.00	0.000
6-11-P	82	100	12.06	3385.85	0.66	-467.62	0.000000	0.00	0.000
7-1-S	80	100	12.06	3311.14	-2.13	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-2-S	80	100	12.06	3311.14	-3.55	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-3-S	80	100	12.06	3311.14	-3.60	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-4-S	80	100	12.06	3311.14	1.46	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-5-S	80	100	12.06	3311.14	5.02	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-6-S	80	100	12.06	3311.14	11.11	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-7-S	80	100	12.06	3311.14	-34.57	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-8-S	80	100	12.06	3311.14	-26.28	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-9-S	80	100	12.06	3311.14	-18.29	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-10-S	80	100	12.06	3311.14	-20.98	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-11-S	80	100	12.06	3311.14	-23.49	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-12-S	80	100	12.06	3311.14	-23.95	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-13-S	80	100	12.06	3311.14	-23.94	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-14-S	80	100	12.06	3311.14	-18.63	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-15-S	80	100	12.06	3311.14	-13.31	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-16-S	80	100	12.06	3311.14	-7.66	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-17-S	80	100	12.06	3311.14	-2.55	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-1-S	80	100	12.06	3311.14	2.92	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-2-S	80	100	12.06	3311.14	6.86	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-3-S	80	100	12.06	3311.14	-4.53	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-4-S	80	100	12.06	3311.14	-36.85	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-5-S	80	100	12.06	3311.14	-40.80	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-6-S	80	100	12.06	1344.00	51.98	459.01	0.000000	0.00	0.000
8-7-S	80	100	12.06	3311.14	-23.88	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-8-S	80	100	12.06	3311.14	-18.17	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-9-S	80	100	12.06	3311.14	-12.69	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-10-S	80	100	12.06	3311.14	-15.16	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-11-S	80	100	12.06	3311.14	-19.62	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-12-S	80	100	12.06	3311.14	-57.94	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-13-S	80	100	12.06	3311.14	-87.87	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-14-S	80	100	12.06	3311.14	-47.73	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-15-S	80	100	12.06	3311.14	-8.63	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-16-S	80	100	12.06	3311.14	-2.86	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-17-S	80	100	12.06	3311.14	3.70	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-1-S	80	100	12.06	3311.14	-2.13	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-2-S	80	100	12.06	3311.14	-3.55	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-3-S	80	100	12.06	3311.14	-3.60	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-4-S	80	100	12.06	3311.14	1.46	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-5-S	80	100	12.06	3311.14	5.02	-459.01	0.000000	0.00	0.000

## 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 72 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Is	B [cm]	H [cm]	Af [cmq]	Aeff [cmq]	M [kNm]	Mpf [kNm]	ε [%]	Sm [mm]	w [mm]
9-6-S	80	100	12.06	3311.14	11.11	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-7-S	80	100	12.06	3311.14	-34.57	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-8-S	80	100	12.06	3311.14	-26.28	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-9-S	80	100	12.06	3311.14	-18.29	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-10-S	80	100	12.06	3311.14	-20.98	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-11-S	80	100	12.06	3311.14	-23.49	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-12-S	80	100	12.06	3311.14	-23.95	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-13-S	80	100	12.06	3311.14	-23.94	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-14-S	80	100	12.06	3311.14	-18.63	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-15-S	80	100	12.06	3311.14	-13.31	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-16-S	80	100	12.06	3311.14	-7.66	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-17-S	80	100	12.06	3311.14	-2.55	-459.01	0.000000	0.00	0.000

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 (9)
2	100	51	12.72	1840.00	0.02	122.38	0.000000	0.00	0.000 (9)
3	100	52	12.72	1840.00	0.10	134.30	0.000000	0.00	0.000 (9)
4	100	53	12.72	1840.00	0.22	139.44	0.000000	0.00	0.000 (9)
5	100	54	12.72	1840.00	0.41	144.67	0.000000	0.00	0.000 (9)
6	100	55	12.72	1840.00	0.66	150.00	0.000000	0.00	0.000 (9)
7	100	56	12.72	1840.00	0.97	155.42	0.000000	0.00	0.000 (9)
8	100	57	12.72	1840.00	1.35	160.92	0.000000	0.00	0.000 (9)
9	100	58	12.72	1840.00	1.81	166.53	0.000000	0.00	0.000 (9)
10	100	59	12.72	1840.00	2.34	172.23	0.000000	0.00	0.000 (9)
11	100	60	12.72	1840.00	2.96	178.02	0.000000	0.00	0.000 (9)
12	100	61	12.72	1840.00	3.65	183.91	0.000000	0.00	0.000 (9)
13	100	62	12.72	1840.00	4.44	189.89	0.000000	0.00	0.000 (9)
14	100	63	12.72	1840.00	5.33	195.96	0.000000	0.00	0.000 (9)
15	100	64	12.72	1840.00	6.31	202.12	0.000000	0.00	0.000 (9)
16	100	65	12.72	1840.00	7.40	208.38	0.000000	0.00	0.000 (9)
17	100	66	12.72	1840.00	8.62	214.73	0.000000	0.00	0.000 (9)
18	100	67	12.72	1840.00	9.96	221.19	0.000000	0.00	0.000 (9)
19	100	68	12.72	1840.00	11.45	227.72	0.000000	0.00	0.000 (9)
20	100	69	12.72	1840.00	13.10	234.36	0.000000	0.00	0.000 (9)
21	100	70	12.72	1840.00	14.90	241.09	0.000000	0.00	0.000 (9)
22	100	71	12.72	1840.00	16.87	247.93	0.000000	0.00	0.000 (9)
23	100	72	12.72	1840.00	19.01	254.84	0.000000	0.00	0.000 (9)
24	100	73	12.72	1840.00	21.33	261.85	0.000000	0.00	0.000 (9)
25	100	74	12.72	1840.00	23.83	268.97	0.000000	0.00	0.000 (9)
26	100	75	12.72	1840.00	26.53	276.18	0.000000	0.00	0.000 (9)
27	100	76	12.72	1840.00	29.42	283.47	0.000000	0.00	0.000 (9)
28	100	77	12.72	1840.00	32.51	290.86	0.000000	0.00	0.000 (9)
29	100	78	12.72	1840.00	35.81	298.35	0.000000	0.00	0.000 (9)
30	100	79	12.72	1840.00	39.32	305.94	0.000000	0.00	0.000 (9)
31	100	80	12.72	1840.00	43.06	313.63	0.000000	0.00	0.000 (9)
32	100	81	12.72	1840.00	47.02	321.38	0.000000	0.00	0.000 (9)
33	100	82	12.72	1840.00	51.22	329.26	0.000000	0.00	0.000 (9)
34	100	83	12.72	1840.00	55.65	337.24	0.000000	0.00	0.000 (9)
35	100	84	12.72	1840.00	60.34	345.31	0.000000	0.00	0.000 (9)
36	100	85	12.72	1840.00	65.27	353.46	0.000000	0.00	0.000 (9)
37	100	86	12.72	1840.00	70.46	361.71	0.000000	0.00	0.000 (9)
38	100	87	12.72	1840.00	75.91	370.06	0.000000	0.00	0.000 (9)
39	100	88	12.72	1840.00	81.64	378.50	0.000000	0.00	0.000 (9)
40	100	89	25.45	1840.00	87.64	393.87	0.000000	0.00	0.000 (9)
41	100	90	12.72	1840.00	93.92	395.69	0.000000	0.00	0.000 (9)
42	100	91	12.72	1840.00	100.49	404.43	0.000000	0.00	0.000 (9)
43	100	92	12.72	1840.00	107.36	413.25	0.000000	0.00	0.000 (9)
44	100	93	12.72	1840.00	114.53	422.20	0.000000	0.00	0.000 (9)
45	100	94	12.72	1840.00	122.00	431.22	0.000000	0.00	0.000 (9)
46	100	95	12.72	1840.00	129.79	439.47	0.000000	0.00	0.000 (9)



## 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 73 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Piastra fondazione

Apertura limite fessure  $w_{lim}=0.30$

Is	B [cm]	H [cm]	Af [cmq]	Aeff [cmq]	M [kNm]	Mpf [kNm]	s [%]	Sm [mm]	w [mm]
1-1-P	60	100	8.04	2506.88	0.84	-340.42	0.000000	0.00	0.000
1-2-P	60	100	8.04	2506.88	-1.23	-340.42	0.000000	0.00	0.000
1-3-P	60	100	8.04	2506.88	-3.77	-340.42	0.000000	0.00	0.000
1-4-P	60	100	8.04	2506.88	-10.08	-340.42	0.000000	0.00	0.000
1-5-P	60	100	8.04	2506.88	-14.59	-340.42	0.000000	0.00	0.000
1-6-P	60	100	8.04	2506.88	-16.37	-340.42	0.000000	0.00	0.000
1-7-P	60	100	8.04	2506.88	-14.59	-340.42	0.000000	0.00	0.000
1-8-P	60	100	8.04	2506.88	-10.08	-340.42	0.000000	0.00	0.000
1-9-P	60	100	8.04	2506.88	-3.77	-340.42	0.000000	0.00	0.000
1-10-P	60	100	8.04	2506.88	-1.23	-340.42	0.000000	0.00	0.000
1-11-P	60	100	8.04	2506.88	0.84	-340.42	0.000000	0.00	0.000
2-1-P	60	100	8.04	2507.07	2.93	-340.44	0.000000	0.00	0.000
2-2-P	60	100	8.04	2507.07	4.05	-340.44	0.000000	0.00	0.000
2-3-P	60	100	8.04	2507.07	5.65	-340.44	0.000000	0.00	0.000
2-4-P	60	100	8.04	2507.07	8.51	-340.44	0.000000	0.00	0.000
2-5-P	60	100	8.04	2507.07	-18.49	-340.44	0.000000	0.00	0.000
2-6-P	60	100	8.04	2507.07	-61.76	-340.44	0.000000	0.00	0.000
2-7-P	60	100	8.04	2507.07	-18.49	-340.44	0.000000	0.00	0.000
2-8-P	60	100	8.04	2507.07	8.51	-340.44	0.000000	0.00	0.000
2-9-P	60	100	8.04	2507.07	5.65	-340.44	0.000000	0.00	0.000
2-10-P	60	100	8.04	2507.07	4.05	-340.44	0.000000	0.00	0.000
2-11-P	60	100	8.04	2507.07	2.93	-340.44	0.000000	0.00	0.000
4-1-P	82	100	12.06	3385.85	-4.02	-467.62	0.000000	0.00	0.000
4-2-P	82	100	12.06	3385.85	-5.63	-467.62	0.000000	0.00	0.000
4-3-P	82	100	12.06	3385.85	-8.32	-467.62	0.000000	0.00	0.000
4-4-P	82	100	12.06	3385.85	-11.90	-467.62	0.000000	0.00	0.000
4-5-P	82	100	12.06	3385.85	-13.60	-467.62	0.000000	0.00	0.000
4-6-P	82	100	12.06	3385.85	-14.36	-467.62	0.000000	0.00	0.000
4-7-P	82	100	12.06	3385.85	-13.60	-467.62	0.000000	0.00	0.000
4-8-P	82	100	12.06	3385.85	-11.90	-467.62	0.000000	0.00	0.000
4-9-P	82	100	12.06	3385.85	-8.32	-467.62	0.000000	0.00	0.000
4-10-P	82	100	12.06	3385.85	-5.63	-467.62	0.000000	0.00	0.000
4-11-P	82	100	12.06	3385.85	-4.02	-467.62	0.000000	0.00	0.000
5-1-P	82	100	12.06	3385.85	2.54	-467.62	0.000000	0.00	0.000
5-2-P	82	100	12.06	3385.85	-0.85	-467.62	0.000000	0.00	0.000
5-3-P	82	100	12.06	3385.85	-5.65	-467.62	0.000000	0.00	0.000
5-4-P	82	100	12.06	3385.85	-16.82	-467.62	0.000000	0.00	0.000
5-5-P	82	100	12.06	3385.85	-45.25	-467.62	0.000000	0.00	0.000
5-6-P	82	100	12.06	3385.85	-82.31	-467.62	0.000000	0.00	0.000
5-7-P	82	100	12.06	3385.85	-45.25	-467.62	0.000000	0.00	0.000
5-8-P	82	100	12.06	3385.85	-16.82	-467.62	0.000000	0.00	0.000
5-9-P	82	100	12.06	3385.85	-5.65	-467.62	0.000000	0.00	0.000
5-10-P	82	100	12.06	3385.85	-0.85	-467.62	0.000000	0.00	0.000
5-11-P	82	100	12.06	3385.85	2.54	-467.62	0.000000	0.00	0.000
6-1-P	82	100	12.06	3385.85	0.66	-467.62	0.000000	0.00	0.000
6-2-P	82	100	12.06	3385.85	-3.67	-467.62	0.000000	0.00	0.000
6-3-P	82	100	12.06	3385.85	-10.09	-467.62	0.000000	0.00	0.000
6-4-P	82	100	12.06	3385.85	-21.82	-467.62	0.000000	0.00	0.000
6-5-P	82	100	12.06	3385.85	-32.16	-467.62	0.000000	0.00	0.000
6-6-P	82	100	12.06	3385.85	-41.80	-467.62	0.000000	0.00	0.000
6-7-P	82	100	12.06	3385.85	-32.16	-467.62	0.000000	0.00	0.000
6-8-P	82	100	12.06	3385.85	-21.82	-467.62	0.000000	0.00	0.000
6-9-P	82	100	12.06	3385.85	-10.09	-467.62	0.000000	0.00	0.000
6-10-P	82	100	12.06	3385.85	-3.67	-467.62	0.000000	0.00	0.000
6-11-P	82	100	12.06	3385.85	0.66	-467.62	0.000000	0.00	0.000
7-1-S	80	100	12.06	3311.14	-2.12	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-2-S	80	100	12.06	3311.14	-3.55	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-3-S	80	100	12.06	3311.14	-3.60	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-4-S	80	100	12.06	3311.14	1.44	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-5-S	80	100	12.06	3311.14	4.95	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-6-S	80	100	12.06	3311.14	11.00	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-7-S	80	100	12.06	3311.14	-37.47	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-8-S	80	100	12.06	3311.14	-28.66	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-9-S	80	100	12.06	3311.14	-20.15	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-10-S	80	100	12.06	3311.14	-22.37	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-11-S	80	100	12.06	3311.14	-24.41	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-12-S	80	100	12.06	3311.14	-24.54	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-13-S	80	100	12.06	3311.14	-24.20	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-14-S	80	100	12.06	3311.14	-18.74	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-15-S	80	100	12.06	3311.14	-13.29	-459.01	0.000000	0.00	0.000

## 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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 74 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Is	B [cm]	H [cm]	Af [cmq]	Aeff [cmq]	M [kNm]	Mpf [kNm]	ε [%]	Sm [mm]	w [mm]
7-16-S	80	100	12.06	3311.14	-7.64	-459.01	0.000000	0.00	0.000
7-17-S	80	100	12.06	3311.14	-2.52	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-1-S	80	100	12.06	3311.14	2.91	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-2-S	80	100	12.06	3311.14	6.83	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-3-S	80	100	12.06	3311.14	-4.53	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-4-S	80	100	12.06	3311.14	-36.73	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-5-S	80	100	12.06	3311.14	-40.68	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-6-S	80	100	12.06	1344.00	51.68	459.01	0.000000	0.00	0.000
8-7-S	80	100	12.06	3311.14	-27.01	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-8-S	80	100	12.06	3311.14	-20.72	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-9-S	80	100	12.06	3311.14	-14.67	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-10-S	80	100	12.06	3311.14	-16.65	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-11-S	80	100	12.06	3311.14	-20.59	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-12-S	80	100	12.06	3311.14	-58.11	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-13-S	80	100	12.06	3311.14	-87.34	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-14-S	80	100	12.06	3311.14	-47.49	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-15-S	80	100	12.06	3311.14	-8.64	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-16-S	80	100	12.06	3311.14	-2.88	-459.01	0.000000	0.00	0.000
8-17-S	80	100	12.06	3311.14	3.64	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-1-S	80	100	12.06	3311.14	-2.12	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-2-S	80	100	12.06	3311.14	-3.55	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-3-S	80	100	12.06	3311.14	-3.60	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-4-S	80	100	12.06	3311.14	1.44	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-5-S	80	100	12.06	3311.14	4.95	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-6-S	80	100	12.06	3311.14	11.00	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-7-S	80	100	12.06	3311.14	-37.47	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-8-S	80	100	12.06	3311.14	-28.66	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-9-S	80	100	12.06	3311.14	-20.15	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-10-S	80	100	12.06	3311.14	-22.37	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-11-S	80	100	12.06	3311.14	-24.41	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-12-S	80	100	12.06	3311.14	-24.54	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-13-S	80	100	12.06	3311.14	-24.20	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-14-S	80	100	12.06	3311.14	-18.74	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-15-S	80	100	12.06	3311.14	-13.29	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-16-S	80	100	12.06	3311.14	-7.64	-459.01	0.000000	0.00	0.000
9-17-S	80	100	12.06	3311.14	-2.52	-459.01	0.000000	0.00	0.000

### VERIFICHE A TAGLIO

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

Verifica a taglio (per metro lineare di sviluppo longitudinale)						
Sezione	VEd	b	h	VRd	ESITO	Armatura a taglio
[-]	[kN]	[cm]	[cm]	[kN]	[-]	[-]
Paramento	192	100	95	650	verificato	Spilli Φ14/40x40
Fondazione	477	100	100	1157	verificato	Φ18/20

### VERIFICHE STRUTTURALI PALI DI FONDAZIONE

Per i pali di fondazione si prevedono le seguenti armature:

Gabbia superiore 20f24 e staffa a spirale f14/20

Gabbia inferiore 18f18 e staffa a spirale f12/20

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

**2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

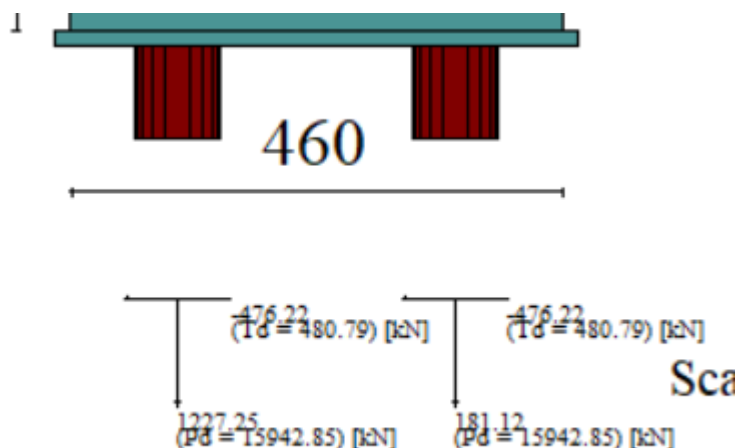
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Muro di sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 75 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



Sollecitazioni massime testa palo – SLU

Nell' ipotesi di calcolo di palo incernierato, è stato valutato successivamente il momento flettente agente in testa al palo con il metodo di Matlock e Reese, da cui consegue una variazione di sforzo normale all'interno dei pali stessi. Per la valutazione del momento flettente quota testa pali è stato assunto un coefficiente  $\alpha$  (rapporto momento/taglio) pari a 1.6 (par. 9).

Pertanto si hanno le seguenti sollecitazioni di calcolo:

SLU						
T (kN)	$\alpha$	M (kNm)	N1 (kN)	Interasse (m)	DN (kN)	N (kN)
477.00	1.60	763.20	1227.00	2.60	293.54	933.46

RARA						
T (kN)	$\alpha$	M (kNm)	N1 (kN)	Interasse (m)	DN (kN)	N (kN)
238.00	1.60	380.80	698.00	2.60	146.46	551.54

FREQUENTE						
T (kN)	$\alpha$	M (kNm)	N1 (kN)	Interasse (m)	DN (kN)	N (kN)
233.00	1.60	372.80	695.00	2.60	143.38	551.62

QUASI PERMANENTE						
T (kN)	$\alpha$	M (kNm)	N1 (kN)	Interasse (m)	DN (kN)	N (kN)
223.00	1.60	356.80	692.00	2.60	137.23	554.77

Da cui:

**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 sottoscarpa in DX dal km 2+256 al km 2+269 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0008	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 76 di 76
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Verifica a pressoflessione - SLU			Verifica a taglio - SLU		
MEd,Max	MRd	c.s. Flessione	VEd,Max	VRd	c.s. Taglio
[kNm]	[kNm]	[-]	[kNm]	[kNm]	[-]
763	978	1.28	477	872	2.10

Verifica tensionale - SLE			Verifica a fessurazione - SLE			
Combo Rara			Combo QP		Combo F	
MEd,Max	$\sigma_C$ ,MAX	$\sigma_S$ ,MIN	MEd,Max	w	MEd,Max	w
[kNm]	[MPa]	[MPa]	[kNm]	[mm]	[kNm]	[mm]
372	8.2	-460	356.80	0.188	372.8	0.173

**Verifiche capacità portante**

Nel seguito si riportano i risultati riguardanti la valutazione della lunghezza minima dei pali necessaria al soddisfacimento delle verifiche di capacità portante. In particolare da un confronto tra i valori massimi degli sforzi normali massimi attesi e le curve di capacità portante presentate al paragrafo 9, con riferimento ai pali di diametro D800 si è assunto:

**OPERE DI SOSTEGNO IN SX**

Lpali (m) ID H (m) L(m) Pk iniz. Pk fin.

**OPERE DI SOSTEGNO IN DX**

H (m) L(m) ID Lpali (m)

						4.5	13.24	MU08	16
--	--	--	--	--	--	-----	-------	------	----