

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

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

**PERIZIA DI VARIANTE**

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

**PROGETTAZIONE: Associazione Temporanea di Imprese**

Mandataria: **PROGETTAZIONE GRANDI INFRASTRUTTURE PROGIN S.p.A.** Mandanti: **LOMBARDI SA INGEGNERI CONSULENTI** **LOMBARDI-REICO INGEGNERIA S.r.l.**

 **SGAI s.r.l. di E. Forlani & C.**  
 Studio di Ingegneria e Geologia Applicata  
 Via Martelli, 20 - 47033 Montecchio di Romagna (RN) - ITALY  
 P.IVA 01804620403 - tel/fax +39 054 988277 - e-mail sgai@sgai.com  
 pec: sgai@sgaipec.com [www.sgai.com](http://www.sgai.com)

RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE PER L'A.T.I. Prof. Ing. Antonio Grimaldi  GEOLOGO Dott. Geol. Fabrizio Pontoni  COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE Ing. Michele Curiale			
IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO  Ing. Iginio Farotti	IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI ESECUZIONE  Ing. Vincenzo Pardo	IL DIRETTORE DEI LAVORI  Ing. Peppino Marascio	

<p><b>2.1.2 - PEDEMONTANA DELLE MARCHE</b>  <b>Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord - Matelica sud/Castelraimondo nord</b></p> <p><i>OPERE D'ARTE MINORI</i>  <i>Muro di sostegno Asse "1" Svincolo di Matelica Ovest</i>  <i>Relazione di calcolo</i></p>	<p><b>SCALA:</b> -----</p> <p><b>DATA:</b> <b>Giugno 2020</b></p>
--	---

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

Codice elaborato:

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

REV.	DATA	DESCRIZIONE	Redatto		Controllato	Approvato
A	Febbraio 2020	Emissione	M. Vari	A. Tosiani	S. Lieto	A. Grimaldi
B	Giugno 2020	Istruttoria DL n. 0440/20/PM/DLML2	M. Vari	A. Tosiani	S. Lieto	A. Grimaldi

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 1 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

## I N D I C E

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
1.1 UNITÀ DI MISURA.....	3
<b>2. DESCRIZIONE DELLE OPERE .....</b>	<b>4</b>
<b>3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>6</b>
<b>4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</b>	<b>7</b>
4.1 CALCESTRUZZO C32/40 PER FONDAZIONI.....	7
4.2 CALCESTRUZZO C25/30 PER ELEVAZIONI .....	8
4.3 ACCIAIO PER ARMATURE .....	10
4.4 COPRIFERRI .....	11
<b>5. INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....</b>	<b>12</b>
<b>6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA .....</b>	<b>14</b>
<b>7. VERIFICHE STRUTTURALI – CRITERI GENERALI.....</b>	<b>16</b>
7.1 VERIFICA SLE.....	16
7.1.1 Verifiche delle tensioni.....	16
7.1.2 Verifiche a fessurazione.....	17
7.2 VERIFICHE ALLO SLU .....	18
7.2.1 Pressoflessione .....	18
7.2.2 Taglio.....	19
<b>8. MURI DI SOSTEGNO.....</b>	<b>21</b>
<b>9. VERIFICA AGLI STATI LIMITI.....</b>	<b>25</b>
9.1 STATO LIMITE ULTIMO E DI SALVAGUARDIA DELLA VITA.....	27
9.2 STATI LIMITE DI ESERCIZIO .....	28
<b>10. VERIFICHE.....</b>	<b>30</b>
10.1 VERIFICA A RIBALTAMENTO.....	30
10.2 VERIFICA A SCORRIMENTO .....	30
10.3 VERIFICA A CARICO LIMITE.....	30
10.4 PROGETTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI.....	31
10.4.1 Verifiche per gli stati limite ultimi .....	31
10.4.2 Verifica agli stati limite ultimi a taglio .....	32
10.4.3 Verifica agli stati limite d’esercizio.....	33
10.4.4 Metodo di analisi - calcolo muro.....	35
10.4.4.1 Descrizione modello di calcolo.....	35
10.5 ANALISI DEI CARICHI.....	36
10.5.1 Pesi propri.....	36
10.5.2 Spinta del terreno.....	36
10.5.3 Spinta passiva e peso del terreno sulla ciabatta di fondazione di valle.....	36
10.5.4 Azione dovuto all’urto del veicolo in svio.....	36
10.5.5 Valutazione dell’azione sismica.....	37
<b>11. ANALISI DEI MURI .....</b>	<b>40</b>

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 2 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

11.1	SCHEMA DI CALCOLO.....	40
11.2	RISULTATI VERIFICHE GEOTECNICHE.....	41
11.2.1	Sezione H1 = 6.50 m.....	41
11.2.2	Sezione H2 = 5.50 m.....	41
11.2.3	Sezione H3 = 3.90 m.....	42
11.3	RISULTATI VERIFICHE STRUTTURALI .....	43
11.3.1	Sezione H= 6.50 m.....	44
11.3.2	Sezione H= 5.50 m.....	49
11.3.3	Sezione H= 3.90 m.....	54
<b>ALLEGATO 1</b>	<b>.....</b>	<b>59</b>
	<b>TABULATI DI CALCOLO DEL MURO .....</b>	<b>59</b>
1.1	TABULATI MURO SEZIONE H= 6.50 M.....	60
1.2	TABULATI MURO SEZIONE H= 5.50 M.....	95
1.3	TABULATI MURO SEZIONE H= 3.90 M.....	130

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 3 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

## 1. PREMESSA

Nell'ambito dei lavori di completamento della direttrice Perugia – Ancona “Pedemontana delle Marche”: Sub Lotto 2.2 Tratto Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord, è prevista la realizzazione dello svincolo di Matelica Ovest, su tale svincolo (Asse 1) viene realizzato un muro di sostegno ad altezza variabile da 2.97 m a 6.55 m.

Tale muro è stato suddiviso in tre conci due da 20 m e uno da 19.33, pertanto di seguito si riporta il calcolo e verifica dei muri in oggetto.

Per il calcolo si sono assunte altezze costanti e pari ai 2/3 dell'altezza massima:

$$H1 = (6.55-6.17) \cdot \frac{2}{3} + 6.20 \cong 6.50 \text{ m}$$

$$H2 = (5.75-4.66) \cdot \frac{2}{3} + 4.66 \cong 5.50 \text{ m}$$

$$H3 = (4.30-2.97) \cdot \frac{2}{3} + 2.97 \cong 3.90 \text{ m}$$

La falda è assunta a quota piano di fondazione.

Nel seguito, dopo una breve descrizione delle opere cui si riferiscono i calcoli sviluppati, si riportano tutti i criteri generali adottati per le analisi e verifiche strutturali, ed a seguire, tutti i risultati ottenuti nei vari casi.

### 1.1 UNITÀ DI MISURA

Nel seguito si adotteranno le seguenti unità di misura:

- per le lunghezze  $\Rightarrow$  m, cm,
- per i carichi  $\Rightarrow$  kN, kN/m<sup>2</sup>, kN/m<sup>3</sup>
- per le azioni di calcolo  $\Rightarrow$  kN, kNm
- per le tensioni  $\Rightarrow$  MPa

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

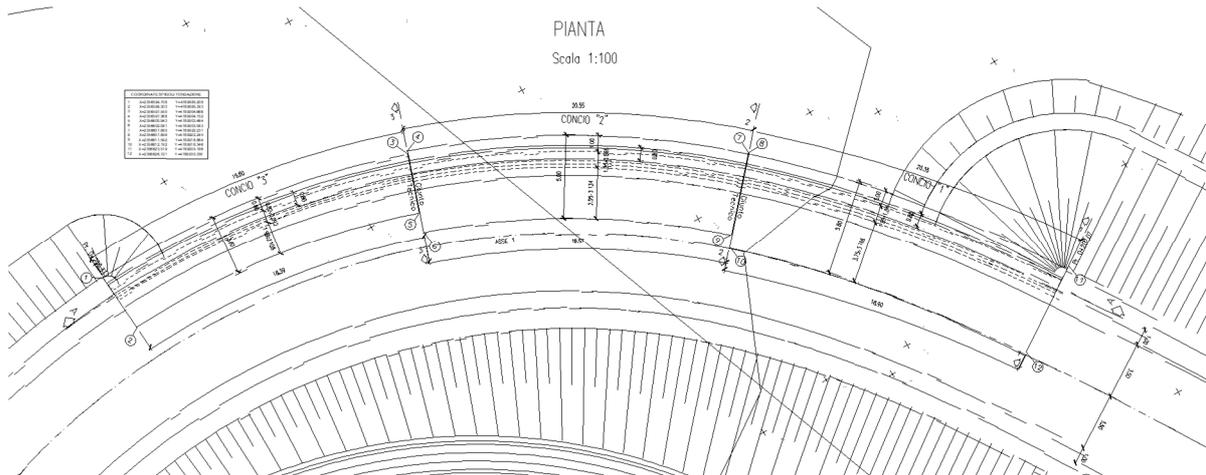
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

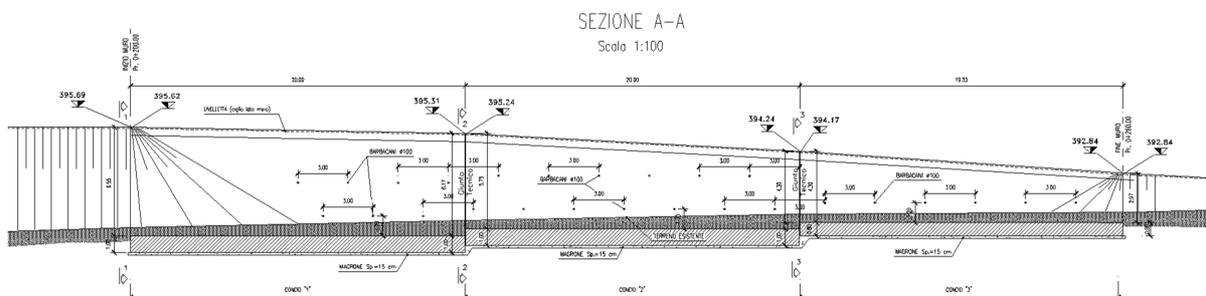
Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	4 di 164

## 2. DESCRIZIONE DELLE OPERE

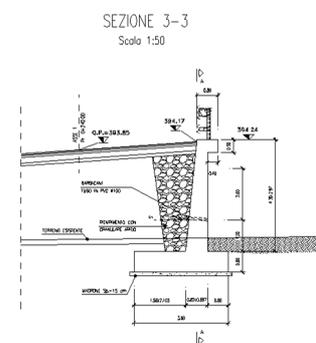
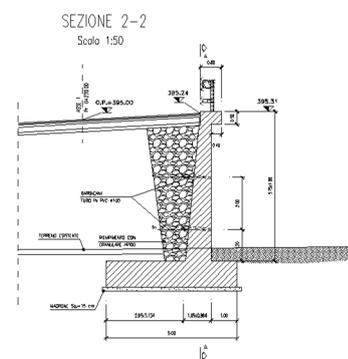
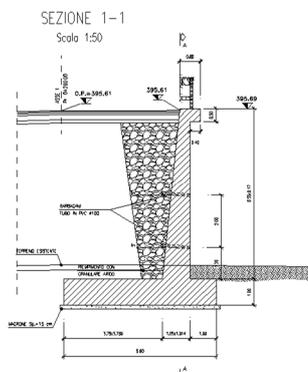
Come detto in precedenza il muro di sostegno viene realizzato sull'asse 1 dello svincolo ed ha una lunghezza complessiva di 60 m letta a filo interno cordolo, nel seguito sono riportate la disposizione in pianta e le principali caratteristiche geometriche:



Pianta fondazione



Sezione trasversale A-A



Sezione trasversale muro



## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 5 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici specifici.

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 6 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

### 3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per la redazione del progetto strutturale e geotecnico esposto nel presente documento, si è fatto riferimento alle seguenti normative e specifiche nazionali e comunitarie:

- **D.M. 14/01/2008.**  
Norme tecniche per le costruzioni.
- **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 EN 206-1-2001:** Calcestruzzo. "Specificazione, prestazione, produzione e conformità".
- **UNI 11104-2004:** Specificazione, prestazione, produzione e conformità: Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1
- **Linee Guida sul calcestruzzo strutturale** - Servizio Tecnico Centrale dei Lavori Pubblici – Dicembre 1996 (L.G.S.T.C.)

## 4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Nel paragrafi seguenti si riportano le caratteristiche dei materiali previsti per la realizzazione dell'opera

### 4.1 CALCESTRUZZO C32/40 PER FONDAZIONI

Per tutte le strutture a diretto contatto col terreno (Plinto di Fondazione), è previsto l'impiego di calcestruzzo di classe C32/40, di cui nel seguito si riportan le relative caratteristiche meccaniche valutate in accordo a quanto prescritto ai par. 4.1.2.1 e 11.2.10 del DM 14.01.08:

**Classe di Resistenza**  -

Valore caratteristico della resistenza a compressione cubica a 28 gg:

$R_{ck} =$   MPa

Valore caratteristico della resistenza a compressione cilindrica a 28 gg:

$f_{ck} =$   MPa  $(0,83 \cdot R_{ck})$

Resistenza a compressione cilindrica media:

$f_{cm} =$   MPa  $(f_{ck} + 8)$

Resistenza a trazione assiale:

$f_{ctm} =$   MPa Valore medio

$f_{ctk,0.05} =$   MPa Valore caratteristico frattile 5%

Resistenza a trazione per flessione:

$f_{ctm} =$   MPa Valore medio

$f_{ctk,0.05} =$   MPa Valore caratteristico frattile 5%

Coefficiente parziale per le verifiche agli SLU:

$\gamma_c =$

*Per situazioni di carico eccezionali, tale valore va considerato pari ad 1,0*

Resistenza di calcolo a compressione allo SLU:

$f_{cd} =$   MPa  $(0,85 \cdot f_{ck} / \gamma_s)$

Resistenza di calcolo a trazione diretta allo SLU:

$f_{ctd} =$   MPa  $(f_{ctk,0.05} / \gamma_s)$

Resistenza di calcolo a trazione per flessione SLU:

$f_{ctd} =$   MPa  $1,2 \cdot f_{ctd}$

*Per spessori minori di 50mm e calcestruzzi ordinari, tale valore va ridotto del 20%*

Modulo di elasticità secante:

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 8 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

$$E_{cm} = \boxed{33643} \text{ MPa}$$

Modulo di Poisson:

$$\nu = \boxed{0,0,2}$$

Coefficiente di dilatazione lineare

$$\alpha = \boxed{0.00001} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Tensione di aderenza di calcolo acciaio-calcestruzzo

$$\eta = 1.00$$

$$f_{bd} = \boxed{3.25} \text{ MPa} \quad (2,25 \cdot f_{ctk} \cdot \eta / \gamma_s)$$

Nel caso di armature molto addensate, o ancoraggi in zona tesa tale valore va diviso per 1,5

Tensioni massime per la verifica agli SLE

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

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

Per spessori minori di 50mm e calcestruzzi ordinari, tale valori vanno ridotti del 20%

## 4.2 CALCESTRUZZO C25/30 PER ELEVAZIONI

Per tutte le parti strutturali dei muri in progetto in elevazione (Paramento) è previsto l'impiego di calcestruzzo di classe C25/30, di cui nel seguito si riportan le relative caratteristiche meccaniche valutate in accordo a quanto prescritto ai par. 4.1.2.1 e 11.2.10 del DM 14.01.08:

**Classe di Resistenza**


Valore caratteristico della resistenza a compressione cubica a 28 gg:

$$R_{ck} = \boxed{30} \text{ MPa}$$

Valore caratteristico della resistenza a compressione cilindrica a 28 gg:

$$f_{ck} = \boxed{24,9} \text{ MPa} \quad (0,83 \cdot R_{ck})$$

Resistenza a compressione cilindrica media:

$$f_{cm} = 32,9 \text{ MPa} \quad (f_{ck} + 8)$$

Resistenza a trazione assiale:

$$f_{ctm} = \boxed{2,56} \text{ MPa} \quad \text{Valore medio}$$

$$f_{ctk,0,05} = \boxed{1,79} \text{ MPa} \quad \text{Valore caratteristico frattile 5\%}$$

Resistenza a trazione per flessione:

$$f_{ctm} = \boxed{3,1} \text{ MPa} \quad \text{Valore medio}$$

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 9 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

$$f_{ctk,0,05} = \boxed{2,1} \text{ MPa} \quad \text{Valore caratteristico frattile 5\%}$$

**Coefficiente parziale per le verifiche agli SLU:**

$$\gamma_c = \boxed{1,5}$$

Per situazioni di carico eccezionali, tale valore va considerato pari ad 1,0**Resistenza di calcolo a compressione allo SLU:**

$$f_{cd} = \boxed{14,1} \text{ MPa} \quad (0,85 \cdot f_{ck} / \gamma_s)$$

**Resistenza di calcolo a trazione diretta allo SLU:**

$$f_{ctd} = \boxed{1,19} \text{ MPa} \quad (f_{ctk,0,05} / \gamma_s)$$

**Resistenza di calcolo a trazione per flessione SLU:**

$$f_{ctd f} = \boxed{1,43} \text{ MPa} \quad 1,2 \cdot f_{ctd}$$

Per spessori minori di 50mm e calcestruzzi ordinari, tale valore va ridotto del 20%**Modulo di elasticità secante:**

$$E_{cm} = \boxed{31447} \text{ MPa}$$

**Modulo di Poisson:**

$$\nu = \boxed{0,2}$$

□

**Coefficiente di dilatazione lineare**

$$\alpha = \boxed{0,00001} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

**Tensione di aderenza di calcolo acciaio-calcestruzzo**

$$\eta = 1,00$$

$$f_{bd} = \boxed{2,69} \text{ MPa} \quad (2,25 \cdot f_{ctk} \cdot \eta / \gamma_s)$$

Nel caso di armature molto addensate, o ancoraggi in zona tesa tale valore va diviso per 1,5**Tensioni massime per la verifica agli SLE**

$$\sigma_{cmax QP} = (0,45 f_{ck}) = \boxed{11,21} \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Quasi Permanente})$$

$$\sigma_{cmax R} = (0,60 f_{ck}) = \boxed{14,94} \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Caratteristica - Rara})$$

Per spessori minori di 50mm e calcestruzzi ordinari, tale valori vanno ridotti del 20%

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 10 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### 4.3 ACCIAIO PER ARMATURE

Per l'armatura delle strutture in calcestruzzo è previsto l'impiego di barre ad aderenza migliorata in acciaio tipo B450C, di cui nel seguito sono riportate le relative caratteristiche meccaniche:

#### Classe di Resistenza

**Tensione caratteristica di rottura:**

$$f_{tk} = \boxed{540} \text{ MPa} \quad (\text{frattile al } 5\%)$$

**Tensione caratteristica allo snervamento:**

$$f_{yk} = \boxed{450} \text{ MPa} \quad (\text{frattile al } 5\%)$$

**Fattore di sovrarresistenza** (nel caso di impiego di legame costitutivo tipo bilineare con incrudimento)

$$k = f_{tk}/f_{yk} = \boxed{1.20} \text{ MPa}$$

**Allungamento a rottura** (nel caso di impiego di legame costitutivo tipo bilineare con incrudimento)

$$(A_{gt})_k = \epsilon_{uk} = \boxed{7.5} \%$$

$$\epsilon_{ud} = 0,9 \epsilon_{uk} = \boxed{6.75} \%$$

**Coefficiente parziale per le verifiche agli SLU:**

$$\gamma_c = \mathbf{1.15}$$

Per situazioni di carico eccezionali, tale valore va considerato pari ad 1,0

**Resistenza di calcolo allo SLU:**

$$f_{yd} = \boxed{391.3} \text{ MPa} \quad (f_{yk}/\gamma_s)$$

**Modulo di elasticità :**

$$E_f = \boxed{210000} \text{ MPa}$$

#### 4.4 COPRIFERRI

La scelta del copriferro minimo di progetto  $c_{min}$  inteso come lo spessore minimo del ricoprimento dello strato di calcestruzzo a protezione dei ferri d'armatura è stato determinato in base a quanto indicato nella Tab. C4.1.IV della Circolare Esplicativa NTC n.617/09, tenendo conto della classe di esposizione ambientale e della classe del Calcestruzzo prevista

Nello specifico, tenendo conto della classe di esposizione ambientale desunta dalle analisi specifiche condotte nei riguardi dell'attacco chimico, che hanno evidenziato una **Classe di Esposizione XA2** e pertanto **Condizioni Ambientali "Aggressive"** per il solettone di fondazione. Mentre per i piedritti e il solettone superiore si ha una **Classe di Esposizione XC2** e pertanto **Condizioni Ambientali "Ordinarie"**.

In relazione a quanto riportato in tabella 4.1.III del DM 14.01.08, per le classi di calcestruzzo previste è prescritto un copriferro minimo  $c_{min} \geq 35\text{mm}$  per il solettone di fondazione e  $c_{min} \geq 25\text{mm}$ .

In definitiva ai fini progettuali si è assunto  **$c=40\text{mm}$**  così come riportato all'interno della tabella materiali opere minori (strutture a contatto con il terreno).

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Tab 4.1.III – DM 14.01.08

Tabella C4.1.IV Copriferrini minimi in mm

$C_{min}$	$C_o$	ambiente	barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
			$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C28/35	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Tab C4.1.IV – Circolare n617/09

## 5. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Per la caratterizzazione geotecnica del terreno interagente con le fondazioni delle opere oggetto di dimensionamento nel presente documento, si è fatto riferimento a quanto dettagliatamente indicato nella Relazione Geotecnica e nel Profilo Geotecnico Generale di Progetto, da cui si evince che le formazioni più superficiali che interagiscono con le fondazioni degli scolarari, sono generalmente costituite dalle unità geotecniche **Ecla**, **Ag** e **Salt**, di cui nel seguito si riepilogano i parametri fisico-meccanici attribuiti sulla scorta dei risultati delle indagini effettuate:

Stratigrafia		
Unità geotecnica	Profondità [m] da p.c.	
Ag	0.0÷8.0	Depositi alluvionali ghiaioso-sabbioso
Salt	8.0÷19.0	Substrato alterato limoso argilloso
Sch	>19.0	Formazione dello Schlier

Profondità della falda assunta a quota del piano di posa delle fonazioni .

### Unità Ecla - Depositi eluvio colluviali limoso argillosi

$\gamma = 18.5 \div 20.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 24 \div 27^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 5 \div 15 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi_r' = 19 \div 21^\circ$	angolo di resistenza al taglio residuo
$c_r' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata residua
$c_u = 50 \div 160 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 100 \div 400 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

### Unità Ag - Depositi alluvionali ghiaioso-sabbioso

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 38 \div 42^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E_o = 200 \div 600 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

### Unità Salt – Substrato alterato argilloso limoso

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

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 13 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### Unità As - Depositi alluvionali sabbiosi

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$  peso di volume naturale  
 $\phi' = 34 \div 38^\circ$  angolo di resistenza al taglio  
 $c' = 0$  coesione drenata  
 $E_o = 200 \div 350 \text{ MPa}$  modulo di deformazione elastico iniziale

### Unità Sch – Formazione dello Schlier

$\gamma = 23.0 \div 24.0 \text{ kN/m}^3$  peso di volume naturale  
parametri di resistenza per tensioni  $\sigma_v' < 550 \text{ kPa}$ :  
 $\phi' = 26 \div 28^\circ$  angolo di resistenza al taglio  
 $c' = 50 \div 60 \text{ kPa}$  coesione drenata  
 $E'_{operativo} = 20 + 5.75 \cdot z \text{ MPa}$  per  $z < 40\text{m}$  modulo di deformazione elastico operativo

## 6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Le opere in progetto rientrano nell'ambito dei Lavori di Realizzazione dell'Infrastruttura "Pedemontana delle Marche" progettato per una vita nominale  $V_N$  pari a **50** anni, ed una classe d'uso **III** (Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e retiferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.) ai sensi del D. Min. 14/01/2008, da cui scaturisce un coefficiente d'uso  $C_u = 1.5$

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

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

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

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

I suddetti parametri sono calcolati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il punto caratterizzante la posizione dell'opera, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici. In particolare, si può notare come  $F_0$  descriva la pericolosità sismica locale del sito su cui l'opera insiste. Infatti, da quest'ultimo, attraverso le espressioni fornite dalla normativa, sono valutati i valori d'amplificazione stratigrafica e topografica.

Di seguito sono riassunti i valori dei parametri assunti per l'opera in oggetto.

- Vita nominale  $V_N$  = 50 anni;
- Classe d'uso = III;
- Coefficiente d'uso  $C_u$  = 1.5;
- Periodo di riferimento  $V_R$  = 75 anni;
- $T_{R,SLV}$  = 712 anni;
- Comune = Matelica;

A partire dai dati di cui in precedenza, si determinano i valori dei parametri di pericolosità sismica riferiti ai diversi stati limite di verifica previsti dalla Normativa nei riguardi delle azioni sismiche :

$V_R$ [anni]	Stato Limite	$PV_R$ -	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
75	SLO	81%	45	0.073	2.450	0.286

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 15 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

SLD	63%	75	0.090	2.454	0.297
<b>SLV</b>	10%	<b>712</b>	0.206	2.526	0.331
SLC	5%	1462	0.262	2.555	0.339

Tabella di riepilogo Parametri di pericolosità di Progetto

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 16 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

## 7. VERIFICHE STRUTTURALI – CRITERI GENERALI

### 7.1 VERIFICA SLE

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

#### 7.1.1 Verifiche delle tensioni

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

Per il caso in esame risulta in particolare:

#### CALCESTRUZZO C32/40

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

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

#### CALCESTRUZZO C25/30

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

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

#### ACCIAIO

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

### 7.1.2 Verifiche a fessurazione

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

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

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

Risultando in particolare: :

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

Nel caso in esame si ha:

- Per il calcestruzzo di fondazione e dei pali:

Condizioni Ambientali: aggressive

Armature: Poco Sensibili

Conseguentemente dovrà risultare:

Combinazione Quasi permanente:  $w \leq 0.2 \text{ mm}$

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

- Per il calcestruzzo in elevazione:

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	18 di 164

Condizioni Ambientali: Ordinarie

Armature : Poco Sensibili

Conseguentemente dovrà risultare:

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

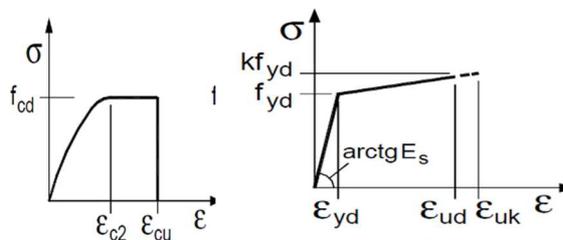
Combinazione Frequente :  $w \leq 0.4\text{mm}$

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

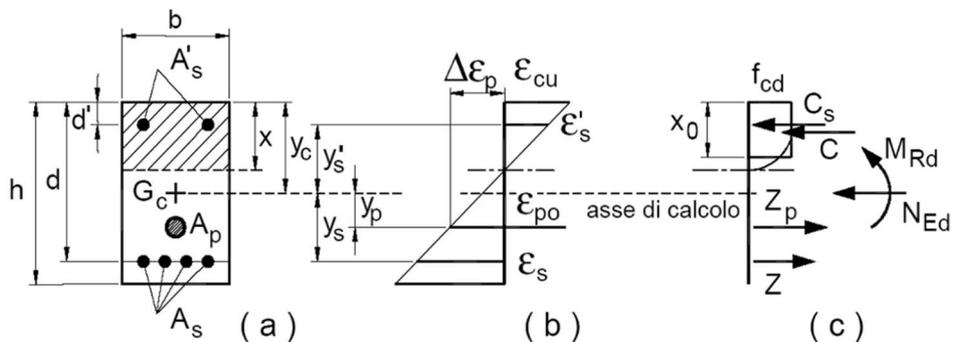
## 7.2 VERIFICHE ALLO SLU

### 7.2.1 Pressoflessione

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



Legami costitutivi Calcestruzzo ed Acciaio -



Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 19 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

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

=

La verifica consisterà nel controllare il soddisfacimento della seguente condizione:

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

dove

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

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

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

### 7.2.2 Taglio

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

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

Dove:

- $v_{\min} = 0.035 k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$ ;
- $k = 1 + (200 / d)^{1/2} \leq 2$ ;
- $\rho_1 = A_{sw} / (b_w \cdot d)$
- $d$  = 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:

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

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

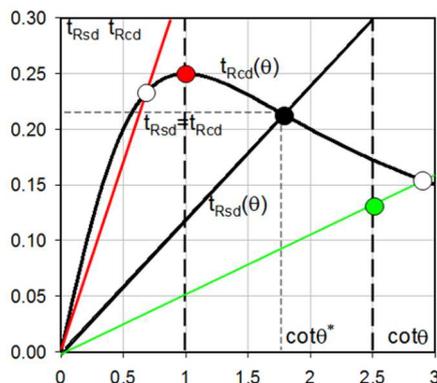
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 20 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

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.

$$1 \leq \cotg \theta \leq 2,5 \quad 45^\circ \geq \theta \geq 21,8^\circ$$



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 membrane 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.

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

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 21 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

- 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  $\cot \theta = 1,0$ .

## 8. MURI DI SOSTEGNO

Di seguito si riportano i calcoli e le verifiche dei muri di sostegno dell'opera in oggetto. Come per lo in premessa, essendo i muri di altezza variabile, per il calcolo si sono divisi i muri per conci e per essi si è assunta un'altezza di calcolo pari ai 2/3 di dell'altezza, più precisamente per le verifiche di resistenza sono state considerate le seguenti altezze:

$$H1 = (6.55-6.17) \cdot 2/3 + 6.20 \cong 6.50 \text{ m}$$

$$H2 = (5.75-4.66) \cdot 2/3 + 4.66 \cong 5.50 \text{ m}$$

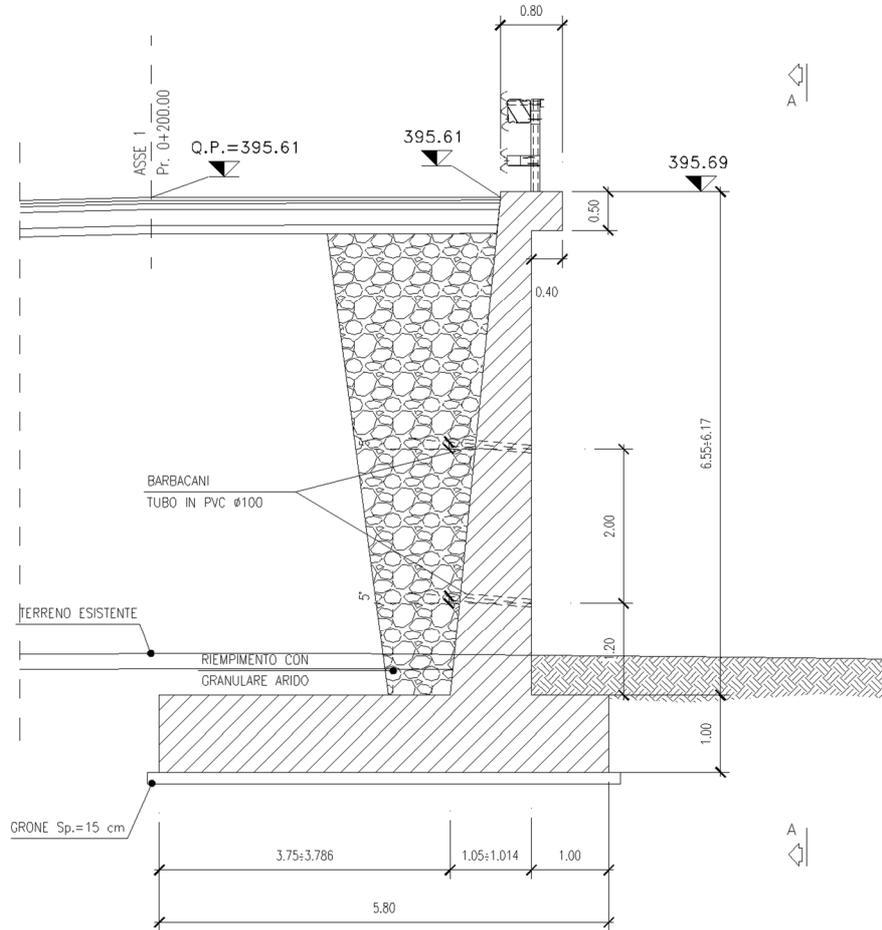
$$H3 = (4.30-2.97) \cdot 2/3 + 2.97 \cong 3.90 \text{ m}$$

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 22 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------



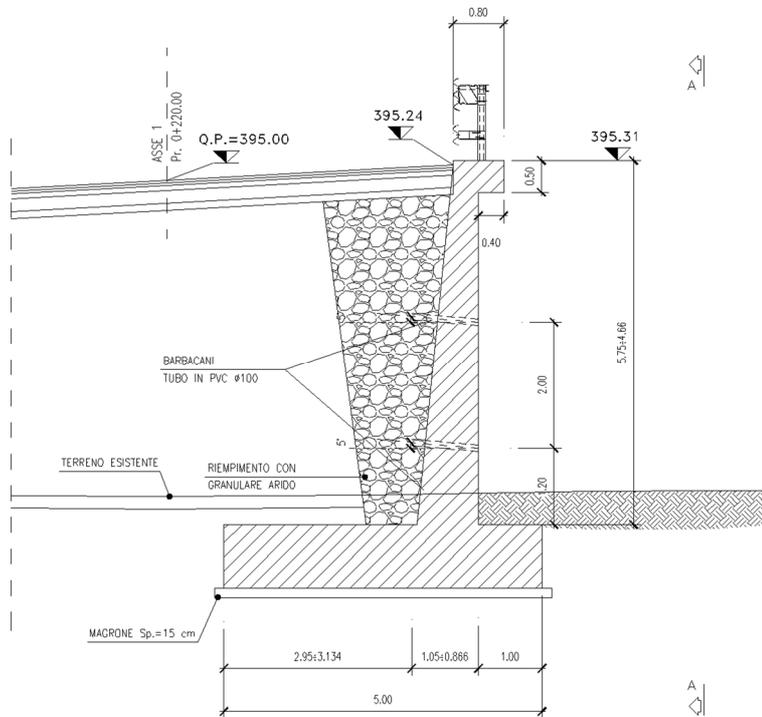
**MURO H1**

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

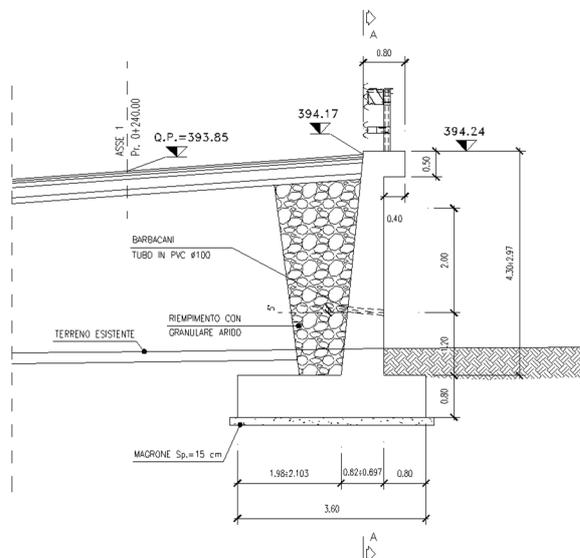
Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	23 di 164



### MURO H2

SEZIONE 3-3

Scala 1:50



## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 24 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### MURO H3

## 9. VERIFICA AGLI STATI LIMITI

I calcoli e le verifiche sono condotti con il metodo semiprobabilistico degli stati limite secondo le indicazioni del D.M. 14 gennaio 2008.

L'analisi mira a garantire la sicurezza e le prestazioni attese attraverso il conseguimento dei seguenti requisiti

:

- sicurezza nei confronti degli Stati Limite di Esercizio.
- sicurezza nei confronti degli Stati Limite Ultimi

Tali verifiche sono state effettuate prevedendo le due seguenti combinazioni di coefficienti:

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

A queste combinazioni si aggiunge la combinazione che prevede l'urto del veicolo in svio in testa al muro (ECC) con coefficienti unitari di combinazione dei carichi permanenti e degli accidentali e coefficiente di sicurezza anch'esso unitario.

Considerando i coefficienti parziali riportati nelle tab delle NTC 2008.

Nelle condizioni di esercizio gli spostamenti dell'opera sono stati valutati per verificarne la compatibilità con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza delle opere adiacenti.

In particolare, in condizioni sismiche devono essere condotte verifiche nei confronti dello stato limite di danno. Gli spostamenti permanenti indotti dal sisma devono essere compatibili con la funzionalità dell'opera e con quella di eventuali strutture o infrastrutture interagenti con essa.

Nel nostro caso trattasi di muri di controripa, quindi che non hanno funzione di contenimento della sede ferroviaria pertanto tale verifica viene omessa.

In particolare, sono stati verificati i seguenti stati limiti ultimi:

- ❖ Verifica del muro di sostegno

*SLU di tipo geotecnico (GEO-ECC) 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-ECC)*

- 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 (GEO).

Lo stato limite di ribaltamento non prevede la mobilitazione della resistenza del terreno di fondazione e deve essere trattato come uno stato limite di equilibrio come corpo rigido (EQU), utilizzando i coefficienti parziali sulle azioni e adoperando coefficienti parziali del gruppo (M2) per il calcolo delle spinte.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate applicando il primo approccio progettuale (Approccio 1) che prevede le due seguenti combinazioni di coefficienti:

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

Considerando i coefficienti parziali riportati nelle NTC 2008, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali

riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I.

Lo stato limite di ribaltamento non prevede la mobilitazione della resistenza del terreno di fondazione e deve essere trattato come uno stato limite di equilibrio come corpo rigido (EQU), utilizzando i coefficienti parziali sulle azioni della tabella 2.6.I e adoperando coefficienti parziali del gruppo (M2) per il calcolo delle spinte.

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

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

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

**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)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

**Tabella 6.5.I - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  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	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$

Nelle verifiche di sicurezza per effetto delle azioni sismiche si controlla che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni nel rispetto della condizione [6.2.1], ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici (§ 7.11.1) e impiegando le resistenze di progetto con i coefficienti parziali  $\gamma_R$  indicati nella tabella 7.11.III.

Tab. 7.11.III - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche degli stati limite (SLV) dei muri di sostegno.

Verifica	Coefficiente parziale $\gamma_R$
Carico limite	1.2
Scorrimento	1.0
Ribaltamento	1.0
Resistenza del terreno a valle	1.2

Sono stati considerati i seguenti Stati Limite.

## 9.1 STATO LIMITE ULTIMO E DI SALVAGUARDIA DELLA VITA

Le azioni sulla costruzione sono state cumulate in modo da determinare condizioni di carico tali da risultare più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche, tenendo conto della probabilità ridotta di intervento simultaneo di tutte le azioni con i rispettivi valori più sfavorevoli, come consentito dalle norme vigenti. Per gli stati limite ultimi sono state adottate le combinazioni del tipo:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \Psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \Psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

dove:

$G_1$  rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo);

$G_2$  rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali; rappresenta pretensione e precompressione;

azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:

di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;

di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura;

$Q_{ki}$  rappresenta il valore caratteristico della  $i$ -esima azione variabile;

$\gamma_G, \gamma_Q, \gamma_P$  coefficienti parziali come definiti nella Tab. 6.2.I del DM 14 gennaio 2008;

$\Psi_{0i}$  sono i coefficienti di combinazione per tenere conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i rispettivi valori caratteristici.

Le combinazioni risultanti sono state costruite a partire dalle sollecitazioni caratteristiche calcolate per ogni condizione di carico elementare: ciascuna condizione di carico accidentale, a rotazione, è stata considerata sollecitazione di base ( $Q_{k1}$  nella formula precedente).

I coefficienti relativi a tali combinazioni di carico sono riportati negli allegati tabulati di calcolo.

In zona sismica, oltre alle sollecitazioni derivanti dalle generiche condizioni di carico statiche, devono essere considerate anche le sollecitazioni derivanti dal sisma. L'azione sismica è stata combinata con le altre azioni secondo la seguente relazione:

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_i \Psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Dove:

- E azione sismica per lo stato limite e per la classe di importanza in esame;  
 $G_1$  rappresenta peso proprio di tutti gli elementi strutturali;  
 $G_2$  rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;  
 $P_k$  rappresenta pretensione e precompressione;  
 $\Psi_{2i}$  coefficiente di combinazione delle azioni variabili  $Q_i$ ;  
 $Q_{ki}$  valore caratteristico dell'azione variabile  $Q_i$ .

I valori dei coefficienti  $\Psi_{2i}$  sono riportati nella seguente tabella:

Categoria/Azione	$\Psi_{2i}$
Categoria A – Ambienti ad uso residenziale	0,3
Categoria B – Uffici	0,3
Categoria C – Ambienti suscettibili di affollamento	0,6
Categoria D – Ambienti ad uso commerciale	0,6
Categoria E – Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	0,8
Categoria F – Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,6
Categoria G – Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,3
Categoria H – Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0
Categoria I – Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso
Vento	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,2
Variazioni termiche	0,0

## 9.2 STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Allo Stato Limite di Esercizio le sollecitazioni con cui sono state semiprogettate le aste in c.a. sono state ricavate applicando le formule riportate nel D.M. 14 gennaio 2008 - Norme tecniche per le costruzioni - al punto 2.5.3. Per le verifiche agli stati limite di esercizio, a seconda dei casi, si fa riferimento alle seguenti combinazioni di carico:

combinazione caratteristica o rara 
$$F_d = \sum_{j=1}^m (G_{Kj}) + Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\Psi_{0i} \cdot Q_{ki}) + \sum_{h=1}^l (P_{kh})$$

combinazione frequente 
$$F_d = \sum_{j=1}^m (G_{Kj}) + \Psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\Psi_{2i} \cdot Q_{ki}) + \sum_{h=1}^l (P_{kh})$$

combinazione quasi permanente 
$$F_d = \sum_{j=1}^m (G_{Kj}) + \Psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\Psi_{2i} \cdot Q_{ki}) + \sum_{h=1}^l (P_{kh})$$

Dove:

$G_{Kj}$  valore caratteristico della j-esima azione permanente;

$P_{kh}$  valore caratteristico della h-esima deformazione impressa;

$Q_{k1}$  valore caratteristico dell'azione variabile di base di ogni combinazione;

$Q_{ki}$  valore caratteristico della i-esima azione variabile;

$\Psi_{0i}$  coefficiente atto a definire i valori delle azioni ammissibili di durata breve ma ancora significativi nei riguardi della possibile concomitanza con altre azioni variabili;

$\Psi_{1i}$  coefficiente atto a definire i valori delle azioni ammissibili ai frattili di ordine 0,95 delle distribuzioni dei valori istantanei;

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 29 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

$\Psi_{2i}$  coefficiente atto a definire i valori quasi permanenti delle azioni ammissibili ai valori medi delle distribuzioni dei valori istantanei.

Ai coefficienti  $\Psi_{1i}$ ,  $\Psi_{2i}$ ,  $\Psi_{2i}$  sono attribuiti i seguenti valori:

**Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione**

Categoria/Azione variabile	$\Psi_{0j}$	$\Psi_{1j}$	$\Psi_{2j}$
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

In maniera analoga a quanto illustrato nel caso dello SLU le combinazioni risultanti sono state costruite a partire dalle sollecitazioni caratteristiche calcolate per ogni condizione di carico; a turno ogni condizione di carico variabile è stata considerata sollecitazione di base, con ciò dando origine a tanti valori combinati. Per ognuna delle combinazioni ottenute, in funzione dell'elemento, sono state effettuate le verifiche allo SLE (tensioni, deformazioni e fessurazione).

Negli allegati tabulati di calcolo sono riportanti i coefficienti relativi alle combinazioni di calcolo generate relativamente alle combinazioni di azioni "Quasi Permanente", "Frequente" e "Rara".

Nelle sezioni relative alle verifiche allo SLE dei citati tabulati, inoltre, sono riportati i valori delle sollecitazioni relativi alle combinazioni che hanno originato i risultati più gravosi.

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 30 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

## 10. VERIFICHE

### 10.1 VERIFICA A RIBALTAMENTO

Nella verifica a ribaltamento è stato scelto come punto di rotazione il vertice in basso a valle della fondazione.

1 Il Momento Ribaltante è dovuto alla componente orizzontale della spinta, all'incremento sismico di essa e ad eventuali carichi esterni che possono contribuire al ribaltamento.

2 Il Momento Stabilizzante è dovuto al peso proprio del muro, del terreno su esso agente, ad eventuali carichi esterni che possono contribuire alla stabilità.

Il coefficiente di sicurezza è dato dal rapporto Momento Stabilizzante/Momento Ribaltante. Tale valore è stato calcolato per tutte le combinazioni di carico previste dall'approccio adottato, considerando il sistema come un corpo rigido.

### 10.2 VERIFICA A SCORRIMENTO

Nella verifica a scorrimento sono state prese in considerazione tutte le forze agenti che innescano un meccanismo di traslazione lungo il piano di posa della fondazione per superamento dei limiti di attrito e coesione, tenendo conto dell'inclinazione del piano di posa e dell'eventuale presenza di speroni.

La **Forza Agente** è la spinta con i suoi incrementi sismici ed eventuali forze esterne che agiscono nello stesso verso.

La **Forza Resistente** è rappresentata dall'attrito e dalla coesione agente sulla fondazione, dalla presenza di tiranti e di pali, da particolari costruttivi quali gli speroni che servono ad aumentare la resistenza allo scorrimento oltre ad eventuali forze esterne che agiscono nello stesso verso.

Il coefficiente di sicurezza è dato dal rapporto Forza Resistente/Forza Agente. Tale valore è stato calcolato per tutte le combinazioni di carico previste dall'approccio adottato e il rapporto più gravoso, in relazione al corrispondente coefficiente R, dipendente dall'approccio e dalla combinazione considerata, è stato riportato come Coefficiente di Sicurezza a Scorrimento.

### 10.3 VERIFICA A CARICO LIMITE

È stato calcolato il carico limite secondo la metodologia dovuta a Brinch-Hansen, 1970, considerando la profondità d'interramento della fondazione, la stratigrafia degli strati sotto la fondazione, l'eventuale presenza della falda idrica, l'inclinazione del piano di posa della fondazione, l'inclinazione e l'eccentricità dei carichi esterni. Il coefficiente di sicurezza è dato dal rapporto Carico Limite / Carichi Agenti. Tale valore è stato calcolato per tutte le combinazioni di carico previste dall'approccio adottato e il rapporto più gravoso, in relazione al corrispondente coefficiente R, dipendente dall'approccio e dalla combinazione considerata, è stato riportato come Coefficiente di Sicurezza a Carico Limite.

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 31 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

## 10.4 PROGETTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Per le sezioni in cemento armato si effettuano:

- verifiche per gli stati limite ultimi a presso-flessione;
- verifiche per gli stati limite ultimi a taglio;
- verifiche per gli stati limite di esercizio.

### 10.4.1 Verifiche per gli stati limite ultimi

Le sollecitazioni per le successive verifiche vengono calcolate in una serie di sezioni predefinite sia sul paramento che sulla fondazione a monte ed a valle (muri a mensola).

Esse sono in genere a passo costante, ma se esistono delle singolarità, come ad es. gradoni, speroni, mensole esse vengono opportunamente posizionate in corrispondenza di tali punti.

La verifica degli elementi allo SLU avviene col seguente procedimento:

- si costruiscono le combinazioni in base al D.M. 14 gennaio 2008, ottenendo un insieme di sollecitazioni;
- si combinano tali sollecitazioni con quelle dovute all'eventuale azione del sisma.
- per sollecitazioni semplici (flessione retta, taglio, etc.) si individuano i valori minimo e massimo con cui progettare o verificare l'elemento considerato; per sollecitazioni composte (pressoflessione retta/deviata) vengono eseguite le verifiche per tutte le possibili combinazioni e solo a seguito di ciò si individua quella che ha originato il minimo coefficiente di sicurezza.

Per quanto concerne il progetto degli elementi in c.a. illustriamo in dettaglio il procedimento seguito in presenza di pressoflessione retta, utilizzato per verificare le seguenti sezioni:

- Paramento: attacco con la fondazione, a mezza altezza e ad ogni variazione non continua di sezione.
- Fondazione: le due sezioni, rispettivamente a valle e a monte, di attacco con il Paramento.
- Mensola: la sezione di attacco con il Paramento.
- Sperone: la sezione di attacco con la Fondazione.

Viene ipotizzata un'armatura iniziale che rispetti i minimi normativi, quindi per tutte le coppie (N, Mx), individuate secondo la modalità precedentemente illustrata, si calcola il momento ultimo in funzione di N, quindi il coefficiente di sicurezza rapportando tale momento ultimo a Mx.

Se per almeno una di queste coppie il coefficiente di sicurezza risulta inferiore a 1 si incrementa l'armatura e si ripete il procedimento fino a che per tutte le coppie (N, Mx) il coefficiente di sicurezza risulta al più pari a 1.

Nei tabulati di calcolo, per brevità, non potendo riportare una così grossa mole di dati, si riporta la coppia (N, Mx) che ha dato luogo al minimo coefficiente di sicurezza.

Una volta semiprogettate le armature allo SLU, si procede alla verifica delle sezioni allo Stato Limite di Esercizio con le sollecitazioni derivanti dalle combinazioni rare, frequenti e quasi permanenti; se necessario, le armature vengono integrate per far rientrare le tensioni entro i massimi valori previsti.

Successivamente si procede alle verifiche alla deformazione, quando richiesto, ed alla fessurazione che, come è noto, sono tese ad assicurare la durabilità dell'opera nel tempo.

### 10.4.2 Verifica agli stati limite ultimi a taglio

La verifica allo stato limite ultimo per azioni di taglio è condotta secondo quanto prescritto dalla norma UNI EN 1992-1-1:2005, per elementi con armatura a taglio verticali.

Si fa, pertanto, riferimento ai seguenti valori della resistenza di calcolo:

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ \left[ 0.18 / \gamma_c \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d; (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\},$$

resistenza di calcolo dell'elemento privo di armatura a taglio

$$V_{Rd,s} = 0.9 \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \alpha + \cot \vartheta) \cdot \sin \alpha, \text{ valore di progetto dello sforzo di taglio che può essere sopportato dall'armatura a taglio alla tensione di snervamento}$$

$$V_{Rd,max} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} (\cot \alpha + \cot \vartheta) / (1 + \cot^2 \vartheta), \text{ valore di progetto del massimo sforzo di taglio che può essere sopportato dall'elemento, limitato dalla rottura delle bielle compresse.}$$

Nelle espressioni precedenti, i simboli hanno i seguenti significati:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \text{ con } d \text{ in mm;}$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0.02;$$

$A_{sl}$  è l'area dell'armatura tesa;

$b_w$  è la larghezza minima della sezione in zona tesa;

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0.2 \cdot f_{cd};$$

$N_{Ed}$  è la forza assiale nella sezione dovuta ai carichi;

$A_c$  è l'area della sezione di calcestruzzo;

$$v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2};$$

$1 \leq \cot \vartheta \leq 2.5$  è l'inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave

$A_{sw}$  è l'area della sezione trasversale dell'armatura a taglio;

- $s$  è il passo delle staffe;
- $f_{ywd}$  è la tensione di snervamento di progetto dell'armatura a taglio;
- $f'_{cd} = 0.5 \cdot f_{cd}$  è la resistenza ridotta a compressione del calcestruzzo d'anima;
- $\alpha_{cw} = 1$  è un coefficiente che tiene conto dell'interazione tra la tensione nel corrente compresso e qualsiasi tensione di compressione assiale.

### 10.4.3 Verifica agli stati limite d'esercizio

Si effettuano le seguenti verifiche agli stati limite di esercizio:

- stato limite delle tensioni in esercizio;
- stato limite di fessurazione.

Nel primo caso, si esegue il controllo delle tensioni nei materiali supponendo una legge costitutiva tensioni-deformazioni di tipo lineare. In particolare si controlla la tensione massima di compressione del calcestruzzo e di trazione dell'acciaio, verificando che:

- $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$  per combinazione rara delle azioni;
- $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$  per combinazione quasi permanenti;
- $\sigma_s < 0.80 f_{yk}$ .

La verifica a fessurazione è stata svolta secondo il metodo proposto della NTC 2018.

**Tabella 4.1.IV – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione**

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	$w_d$	Stato limite	$w_d$
<b>a</b>	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>b</b>	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
<b>c</b>	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Nel nostro caso, si assume che le condizioni ambientali del sito in cui sorge l'opera siano aggressive e si verifica che il valore limite di apertura della fessura, calcolato per armature poco sensibili, sia al più pari ai seguenti valori nominali:

- $w_1 = 0.3 \text{ mm}$  -combinazione frequente,
- $w_1 = 0.2 \text{ mm}$  -combinazione quasi permanente



**QUADRILATERO**

Marche Umbria S.p.A.

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 34 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 35 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

#### 10.4.4 Metodo di analisi – calcolo muro

##### 10.4.4.1 Descrizione modello di calcolo

Il progetto e la verifica dei muri di sostegno, sono stati effettuati con l'ausilio di fogli elettronici di comprovata validità.

In tali fogli vengono implementate tutte le caratteristiche geometriche dei muri insieme agli angoli di attrito tra paramento e terreno e tra fondazione e terreno.

Per quanto riguarda l'angolo di attrito tra paramento e terreno si effettua la seguente distinzione:

Caso di muri a mensola con suola sufficientemente lunga, quando cioè l'angolo che la retta passante per lo spigolo lato terreno della testa del muro e lo spigolo lato terreno della fondazione forma con la verticale è superiore a  $45-\phi'/2$  con  $\phi'$  angolo di resistenza al taglio del terreno, la spinta sull'opera di sostegno deve essere applicata sul piano verticale a partire dallo spigolo controterra della fondazione assunto come paramento virtuale del muro. Su tale paramento l'angolo di inclinazione  $\delta$  della risultante della spinta (applicata ad  $1/3$  dell'altezza del paramento virtuale) si può assumere uguale all'angolo di inclinazione  $\beta$  del terrapieno, a meno che  $\beta$  non sia superiore all'angolo di resistenza al taglio del terreno  $\phi'$ , nel qual caso si potrà assumere  $\delta = \phi'$ .

Per muri con suola relativamente corta, quando cioè l'angolo che la retta passante per lo spigolo lato terreno della testa del muro e lo spigolo lato terreno della fondazione forma con la verticale è inferiore a  $45-\phi'/2$  con  $\phi'$  angolo di resistenza al taglio del terreno, si può assumere  $\delta = \phi'/2$  e la superficie virtuale su cui applicare la spinta diventa il piano che unisce lo spigolo lato terreno della testa del muro e lo spigolo lato terreno della fondazione.

Nel primo caso tutto il peso del terreno al di sopra della suola deve essere considerato stabilizzante nelle verifiche, e ad esso sono da applicarsi le forze di inerzia in fase sismica. Nel secondo caso il terreno da prendere in considerazione è quello contenuto nel triangolo che ha per lati il paramento verticale, la fondazione del muro e la retta passante per lo spigolo lato terreno della testa del muro e lo spigolo lato terreno della fondazione.

Nel nostro caso i muri sono con mensola corta e quindi  $\delta = \phi'/2$ .

Nel valutare la stabilità di un muro di sostegno è opportuno che la verifica allo scorrimento della fondazione del muro sia effettuata con riferimento al valore a volume costante o allo stato critico dell'angolo di resistenza al taglio, poichè il meccanismo di scorrimento, che coinvolge spessori molto modesti di terreno e l'inevitabile disturbo connesso con la preparazione del piano di posa della fondazione, possono comportare modifiche significative dei parametri di resistenza. Per questo stesso motivo, nelle analisi svolte in termini di tensioni efficaci, è opportuno trascurare ogni contributo della coesione nelle verifiche allo scorrimento (paragrafo 6.2.2 della circolare 2 febbraio 2009, n. 617 C.S.LL.PP.)

Inoltre nella verifica a scorrimento e a ribaltamento dei muri di sostegno viene trascurata la resistenza passiva antistante il muro.

Considerazioni diverse, invece, devono, essere svolte con riferimento al calcolo della capacità portante della fondazione del muro che, per l'elevato volume di terreno indisturbato coinvolto, comporta il riferimento al valore di picco dell'angolo di resistenza al taglio, senza trascurare il contributo della coesione efficace del terreno.

Nel nostro caso l'angolo di attrito fondazione-terreno nelle verifiche a scorrimento è pari a  $\phi'_{cv} = \arctan(0.85 \cdot \tan \phi')$ .

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 36 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

## 10.5 ANALISI DEI CARICHI

### 10.5.1 Pesì propri

$$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_t = 20 \text{ kN/m}^3$$

- Pesì propri della struttura

- Pesì propri del terreno a monte

### 10.5.2 Spinta del terreno

Come detto in precedenza, per il terreno si è considerata una spinta attiva valutata ricorrendo alla teoria di Coulomb.

### 10.5.3 Spinta passiva e peso del terreno sulla ciabatta di fondazione di valle

Nelle verifiche geotecniche si trascurano cautelativamente i contributi stabilizzanti dovuti alla spinta passiva della terra ed al peso del terreno sovrastante la ciabatta di fondazione di valle.

### 10.5.4 Azione dovuto all'urto del veicolo in svio

La sicurezza e gli elementi strutturali ai quali sono collegati devono essere dimensionati per un'azione orizzontale trasversale non inferiore a 100 kN, distribuita su 0,50 m ed applicata ad una quota h, misurata dal piano viario, pari alla minore delle dimensioni h1, h2, dove h1 = (altezza della barriera - 0,10 m), h2 = 1,00 m.

Pertanto, avremo le seguenti azioni applicate in testa al muro:

$$F = 100 \text{ kN}$$

$$M = 100 * 1,00 = 100 \text{ kNm}$$

Tali azioni vengono considerate ripartite a 45° lungo la lunghezza del concio di muro fino allo spiccato del muro a partire dall'impronta di 0,5 m:

#### **Muro H=6.5 m**

$$F = 100 / (6.5 * 2 + 0.5) = 7.4 \text{ kN/m}$$

$$M = 7.4 * 1,00 = 7.4 \text{ kNm/m}$$

#### **Muro H=5.5 m**

$$F = 100 / (5.5 * 2 + 0.5) = 8.70 \text{ kN/m}$$

$$M = 8.7 * 1,00 = 8.7 \text{ kNm/m}$$

#### **Muro H=3.9 m**

$$F = 100 / (3.9 * 2 + 0.5) = 12.05 \text{ kN/m}$$

$$M = 12.05 * 1,00 = 12.05 \text{ kNm/m}$$

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 37 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### 10.5.5 Valutazione dell'azione sismica

La valutazione della spinta del terreno in zona sismica, secondo quanto prevede il D.M. 14 gennaio 2008

“Norme tecniche per le Costruzioni” al § 3.2.3 e al § 7.11.6.2.1, è stata eseguita utilizzando metodi *pseudo-statici*.

In particolare il procedimento per la definizione dei parametri sismici di progetto per i vari Stati Limite per cui sono state effettuate le verifiche è stato il seguente:

- Definizione della Vita Nominale e della Classe d’Uso della struttura, il cui uso combinato ha portato alla definizione del Periodo di Riferimento dell’azione sismica.
- Individuazione, tramite latitudine e longitudine, dei parametri sismici di base  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  per tutti e quattro gli Stati Limite previsti (SLO, SLD, SLV e SLC); l’individuazione è stata effettuata interpolando tra i 4 punti più vicini al punto di riferimento dell’edificio.
- Determinazione dei coefficienti d’amplificazione stratigrafica e topografica.
- Calcolo del periodo  $T_c$  corrispondente all’inizio del tratto a velocità costante dello Spettro.

L’utilizzo di metodi pseudo-statici, consente di ricondurre l’azione sismica, che è un’azione dinamica variabile nel tempo e nello spazio, ad un insieme di forze statiche equivalenti, orizzontali e verticali, mediante l’utilizzo di coefficienti sismici, che dipendono dalla zona sismica, dalle condizioni locali e dall’entità degli spostamenti ammessi per l’opera considerata. Tali coefficienti vengono utilizzati, oltre che per valutare le forze di inerzia sull’opera, anche per determinare la spinta retrostante il muro, mediante l’utilizzo della teoria di Mononobe Okabe.

Come specificato al § 7.11.6.2.1, in assenza di studi specifici, i coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$ , devono essere calcolati come:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{\max}}{g} \quad [7.11.6]$$

$$k_v = \pm \frac{1}{2} \cdot k_h \quad [7.11.7]$$

dove:

$a_{\max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l’accelerazione massima è valutata con la relazione:  $a_{\max} = S_T \cdot S_S \cdot a_g$  [7.11.8]

dove:

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 38 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (SS) 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  $\beta_m$  di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito che assume i valori riportati in Tab. 7.11-II del DM 14/01/2008:

**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

Per muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente  $\beta_m$  assume valore unitario.

Nel caso di muri di sostegno liberi di traslare o di ruotare intorno al piede, si può assumere che l'incremento di spinta dovuta al sisma agisca nello stesso punto di quella statica. Negli altri casi, in assenza di specifici studi si deve assumere che tale incremento sia applicato a metà altezza del muro.

Pertanto, i parametri sismici sono pari a:

La vita nominale ( $V_N$ ) dell'opera è stata assunta pari a 50 anni.

La classe d'uso assunta è la III  $\rightarrow C_u = 1.5$

Il periodo di riferimento ( $V_R$ ) per l'azione sismica, data la vita nominale e la classe d'uso vale:

$$V_R = V_N \cdot C_u = 75 \text{ anni}$$

I valori di probabilità di superamento del periodo di riferimento  $P_{V_R}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente è:

$$P_{V_R}(\text{SLV}) = 10\%$$

Il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$  espresso in anni, vale:

$$T_R(\text{SLV}) = - \frac{V_r}{\ln(1 - P_{V_r})} = 712 \text{ anni}$$

Dato il valore del periodo di ritorno suddetto, tramite le tabelle riportate nell'Allegato B della norma, è possibile definire i valori di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ .

$a_g \rightarrow$  accelerazione orizzontale massima del terreno su suolo di categoria A, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità;

$F_0 \rightarrow$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_c^* \rightarrow$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

S  $\rightarrow$  coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) e dell'amplificazione

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE****Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest**

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 39 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

topografica (St).

Visto che l'azione sismica varia al variare delle coordinate geografiche, per i comuni di interesse, si sono assunti nei calcoli i valori massimi presenti nella tratta interessata, considerando che le accelerazioni massime nei comuni di riferimento corrispondono circa ai valori sotto indicati (Marche, Prov. Macerata, Comune di Matelica):

$$a_g / g = 0.206$$

Per il sottosuolo si è adottata una **categoria C** e si considera l'opera ubicata in pianura, per cui:

$$S_s = 1.388 \quad (\text{in favore di sicurezza})$$

$$S_t = 1$$

$$S = S_s \cdot S_t = 1.388$$

L'accelerazione massima risulterebbe quindi:

$$a_{\max}(\text{SLV}) = S \cdot a_g = S_s \cdot a_g = 1.388 \cdot 0.206 \text{ g} = 0.286 \text{ g}$$

$$\beta_m = 0.31 \quad \text{nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV)}$$

Pertanto, i due coefficienti sismici valgono:

$$(\text{SLV}) \quad k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{\max}}{g} = 0.0886$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h = 0.0443$$

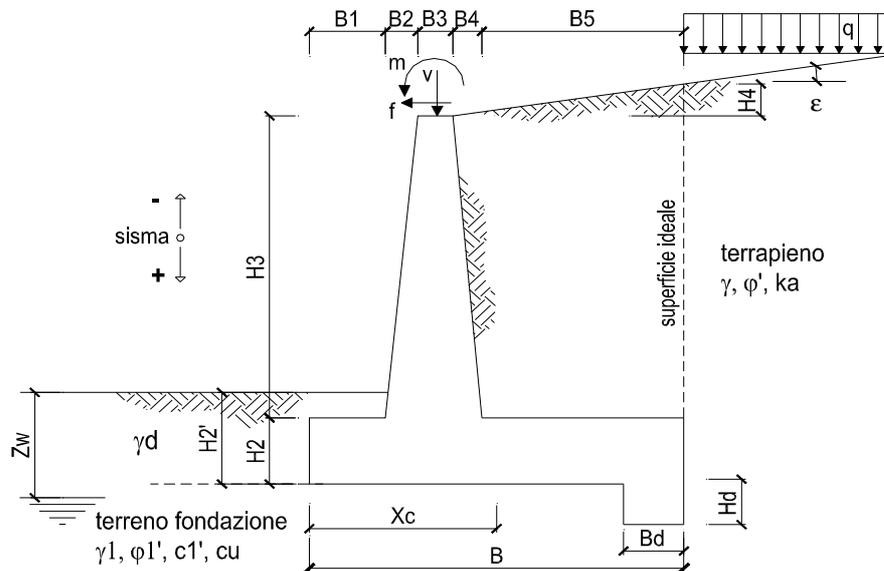
Nel caso di muri di sostegno liberi di traslare o di ruotare intorno al piedem come nel caso in esame, si assume che l'incremento di spinta dovuta al sisma agisca nello stesso punto di quella statica.

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	40 di 164

## 11. ANALISI DEI MURI

### 11.1 SCHEMA DI CALCOLO

In Figura 7 è illustrato lo schema di riferimento per le verifiche geotecniche:



**Figura 7 – Schema di calcolo**

## 11.2 RISULTATI VERIFICHE GEOTECNICHE

Di seguito vengono riportati i risultati delle verifiche geotecniche in forma tabellare esplicitate negli allegati:

### 11.2.1 Sezione H1 = 6.50 m

SLE di tipo geotecnico							
	Scorrimento	S <sub>cr,Max</sub>	Ribaltamento	R <sub>ib,Max</sub>	Capacità portante	C <sub>ap.P<sub>ort,Max</sub></sub>	Cedimento della fondazione (mm)
SLE	-	-	-	-	-	-	2.68
SLU di tipo geotecnico e di equilibrio del corpo rigido							
	Scorrimento	S <sub>cr,Max</sub>	Ribaltamento	R <sub>ib,Max</sub>	Capacità portante	C <sub>ap.P<sub>ort,Max</sub></sub>	Cedimento della fondazione (mm)
caso A1+M1+R1	2.75	> 1.00	4.76	> 1.00	20.90	> 1.00	-
caso ECC+M1+R1	3.45	> 1.10	5.49	> 1.00	26.67	> 1.00	-
caso A2+M2+R2	2.14	> 1.00	4.55	> 1.00	6.03	> 1.00	-
CONDIZIONE SISMICA +	1.78	> 1.00	4.24	> 1.00	4.46	> 1.00	-
CONDIZIONE SISMICA -	1.77	> 1.00	3.48	> 1.00	4.57	> 1.00	-
EQU+M2+R2	-	-	3.76	> 1.00	-	-	-

### 11.2.2 Sezione H2 = 5.50 m

SLE di tipo geotecnico							
	Scorrimento	S <sub>cr,Max</sub>	Ribaltamento	R <sub>ib,Max</sub>	Capacità portante	C <sub>ap.P<sub>ort,Max</sub></sub>	Cedimento della fondazione (mm)
SLE	-	-	-	-	-	-	1.97
SLU di tipo geotecnico e di equilibrio del corpo rigido							
	Scorrimento	S <sub>cr,Max</sub>	Ribaltamento	R <sub>ib,Max</sub>	Capacità portante	C <sub>ap.P<sub>ort,Max</sub></sub>	Cedimento della fondazione (mm)
caso A1+M1+R1	2.61	> 1.00	4.52	> 1.00	20.98	> 1.00	-
caso ECC+M1+R1	3.22	> 1.10	4.91	> 1.00	26.14	> 1.00	-
caso A2+M2+R2	2.02	> 1.00	4.29	> 1.00	6.07	> 1.00	-
CONDIZIONE SISMICA +	1.76	> 1.00	4.21	> 1.00	4.80	> 1.00	-
CONDIZIONE SISMICA -	1.75	> 1.00	3.50	> 1.00	4.94	> 1.00	-
EQU+M2+R2	-	-	3.55	> 1.00	-	-	-

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 42 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

**11.2.3 Sezione H3 = 3.90 m**

SLE di tipo geotecnico							
	Scorrimento	S <sub>cr,Max</sub>	Ribaltamento	R <sub>ib,Max</sub>	Capacità portante	C <sub>ap.P<sub>ort,Max</sub></sub>	Cedimento della fondazione (mm)
SLE	-	-	-	-	-	-	1.03
SLU di tipo geotecnico e di equilibrio del corpo rigido							
	Scorrimento	S <sub>cr,Max</sub>	Ribaltamento	R <sub>ib,Max</sub>	Capacità portante	C <sub>ap.P<sub>ort,Max</sub></sub>	Cedimento della fondazione (mm)
caso A1+M1+R1	2.37	> 1.00	4.02	> 1.00	19.40	> 1.00	-
caso ECC+M1+R1	2.70	> 1.10	3.50	> 1.00	20.46	> 1.00	-
caso A2+M2+R2	1.82	> 1.00	3.78	> 1.00	5.58	> 1.00	-
CONDIZIONE SISMICA +	1.74	> 1.00	4.18	> 1.00	5.24	> 1.00	-
CONDIZIONE SISMICA -	1.74	> 1.00	3.53	> 1.00	5.41	> 1.00	-
EQU+M2+R2	-	-	3.13	> 1.00	-	-	-

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

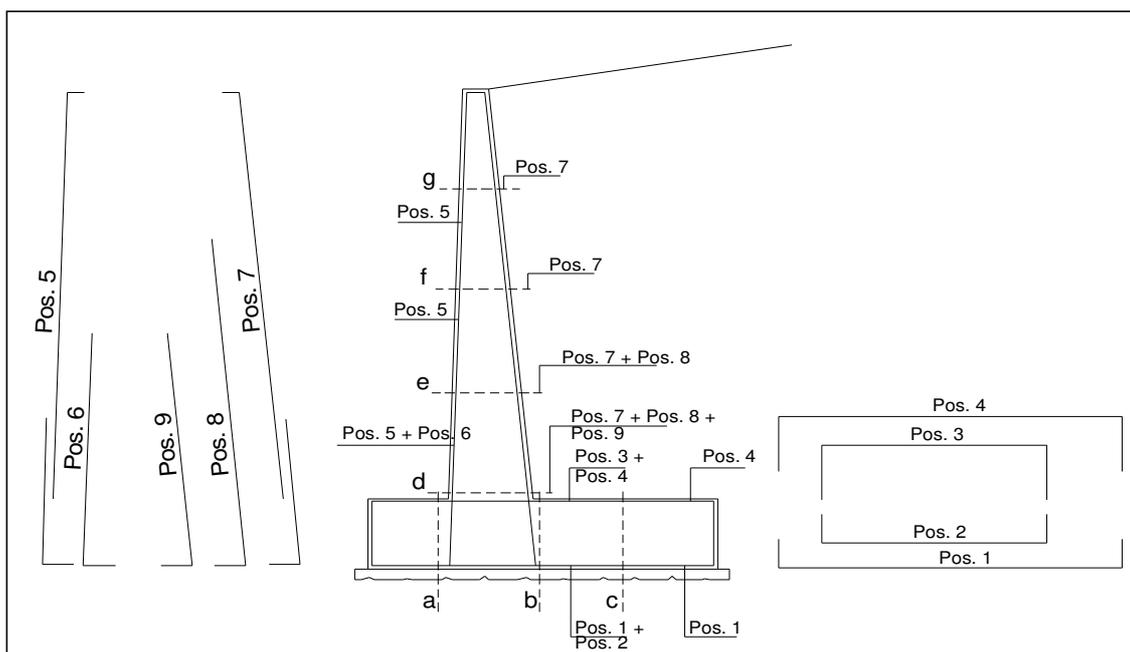
Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 43 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### 11.3 RISULTATI VERIFICHE STRUTTURALI

Di seguito vengono riportati i risultati delle verifiche strutturali, nelle sezioni di calcolo riportate nello schema delle armature per ogni sezione di calcolo, in forma tabellare esplicitate nell'allegato:

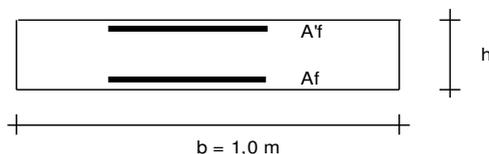
#### SCHEMA DELLE ARMATURE



Le verifiche strutturali saranno condotte secondo l'approccio del DM 08 utilizzando i coefficienti parziali riportati nelle tabella precedente per le azioni.

**11.3.1 Sezione H= 6.50 m**
**ARMATURE**

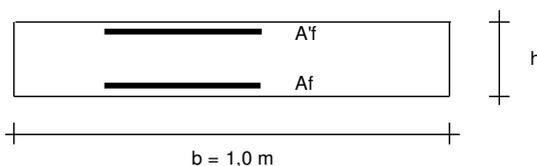
pos	n°/ml	φ	pos	n°/ml	φ
1	5.0	20	5	5.0	14
2	0.0	0	6	0.0	0
3	5.0	16	7	5.0	20
4	5.0	20	8	5.0	16
			9	0.0	0

**A1+M1+R1**
**SLU – combinazione STATICA (stato limite ultimo presso-flessionale)**
**VERIFICHE**


a-a	pos 1-2-3-4
b-b	pos 1-2-3-4
c-c	pos 1-4
d-d	pos 5-6-7-8-9
e-e	pos 5-7-8
f-f	pos 5-7
g-g	pos 5-7

Sez.	Msd	Nsd	Tsd	h	Af	A'f	MRd	NRd	TRd
(-)	(kNm)	(kN)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kNm)	(kN)	(kN)
a - a	73.42	0.00	145.34	1.00	15.71	25.76	559.19	0.00	264.54
b - b	-686.73	0.00	-274.50	1.00	25.76	15.71	902.87	0.00	311.97
c - c	-247.87	0.00	196.60	1.00	15.71	15.71	559.18	0.00	264.54
d - d	481.76	202.12	120.24	1.05	25.76	7.70	1043.81	202.12	320.51
e - e	226.79	130.02	62.03	0.89	25.76	7.70	837.21	130.02	292.55
f - f	81.15	72.30	21.95	0.73	15.71	7.70	412.09	72.30	292.55

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

**ECC+M1+R1**
**SLU – combinazione URTO (stato limite ultimo presso-flessionale)**
**VERIFICHE**


a-a	pos 1-2-3-4
b-b	pos 1-2-3-4
c-c	pos 1-4
d-d	pos 5-6-7-8-9
e-e	pos 5-7-8
f-f	pos 5-7
g-g	pos 5-7

Sez.	M	N	Tsd	h	Af	A'f	Mu	NRd	TRd
(-)	(kNm)	(kN)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kNm)	(kN)	(kN)
a - a	67.93	0.00	134.88	1.00	15.71	25.76	559.19	0.00	264.54
b - b	-331.18	0.00	-110.09	1.00	25.76	15.71	902.87	0.00	311.97
c - c	-138.70	0.00	153.35	1.00	15.71	15.71	559.18	0.00	264.54
d - d	408.92	180.40	95.93	1.05	25.76	7.70	1034.13	180.40	320.51
e - e	208.27	116.42	52.47	0.89	25.76	7.70	832.21	116.42	292.55
f - f	89.58	65.03	22.96	0.73	15.71	7.70	409.88	65.03	292.55

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

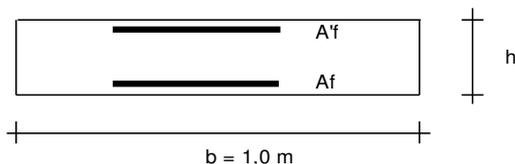
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 45 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### A2+M2+R2

#### VERIFICHE



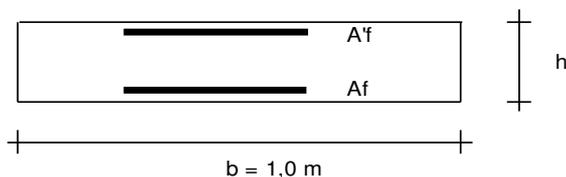
a-a	pos 1-2-3-4
b-b	pos 1-2-3-4
c-c	pos 1-4
d-d	pos 5-6-7-8-9
e-e	pos 5-7-8
f-f	pos 5-7
g-g	pos 5-7

Sez.	Msd	Nsd	Tsd	h	Af	A'f	MRd	NRd	TRd
(-)	(kNm)	(kN)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kNm)	(kN)	(kN)
a - a	76.22	0.00	150.46	1.00	15.71	25.76	559.19	0.00	264.54
b - b	-417.89	0.00	-135.57	1.00	25.76	15.71	902.87	0.00	311.97
c - c	-173.24	0.00	195.49	1.00	15.71	15.71	559.18	0.00	264.54
d - d	484.08	190.28	120.44	1.05	25.76	7.70	1038.54	190.28	320.51
e - e	229.75	123.10	62.84	0.89	25.76	7.70	834.67	123.10	292.55
f - f	83.20	69.00	22.69	0.73	15.71	7.70	411.08	69.00	292.55

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

### SLU – combinazione SISMICA (stato limite ultimo presso-flessionale)

#### VERIFICHE



a-a	pos 1-2-3-4
b-b	pos 1-2-3-4
c-c	pos 1-4
d-d	pos 5-6-7-8-9
e-e	pos 5-7-8
f-f	pos 5-7
g-g	pos 5-7

Sez.	Msd	Nsd	Tsd	h	Af	A'f	MRd	NRd	TRd
(-)	(kNm)	(kN)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kNm)	(kN)	(kN)
a - a	86.88	0.00	143.88	1.00	15.71	25.76	559.19	0.00	264.54
b - b	-512.00	0.00	-124.76	1.00	25.76	15.71	902.87	0.00	311.97
c - c	-200.33	0.00	10.44	1.00	15.71	15.71	559.18	0.00	264.54
d - d	581.35	186.05	6.95	1.05	25.76	7.70	1036.65	186.05	320.51
e - e	247.89	117.38	4.05	0.89	25.76	7.70	832.56	117.38	292.55
f - f	75.01	63.48	1.73	0.73	15.71	7.70	409.41	63.48	292.55

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

### SLU (stato limite ultimo azione tagliante)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 46 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### VERIFICA FONDAZIONE

<b>Verifica a taglio sez. a-a</b>					
Elementi senza armatura trasversale a taglio					
- Verifica del conglomerato					
$VRd = [0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot bw \cdot d =$	264.54	kN			
<b><math>V_{Ed} =</math></b>	<b>150.46</b>	<b>kN</b>	<b>ok</b>		
con:					
$K = 1 + (200/d)^{1/2} =$	1.462		$\leq 2$		
$R_{ck} =$	30	N/mm <sup>2</sup>			
$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} =$	0.309	N/mm <sup>2</sup>			
$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} =$	24.9	N/mm <sup>2</sup>			
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c =$	14.11	N/mm <sup>2</sup>			
$\rho_1 = A_{sl} / (bw \cdot d) =$	0.00168		$\leq 0,02$		
copriferro =	64.00	mm			
d =	936	mm			
H =	1000.00	mm			
bw =	1000	mm			
A <sub>sl</sub> =	1571	mm <sup>2</sup>	5	φ	20
$N_{Ed} =$	0.00	kN			
$\alpha_{cp} = N_{Ed} / A_c =$	0.000	N/mm <sup>2</sup>	$\leq 0,2 \cdot f_{cd}$		

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 47 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

<b>Verifica a taglio sez. b-b</b>			
<i>Elementi senza armatura trasversale a taglio</i>			
<i>- Verifica del conglomerato</i>			
$V_{Rd} = [0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot 1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \alpha_{cp}] \cdot b_w \cdot d =$	<b>311.97</b>	kN	
<b><math>V_{Ed} =</math></b>	<b>274.50</b>	<b>kN</b>	<b>ok</b>
con:			
$K = 1 + (200/d)^{1/2} =$	1.462		$\leq 2$
$R_{ck} =$	30	N/mm <sup>2</sup>	
$V_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} =$	0.309	N/mm <sup>2</sup>	
$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} =$	24.9	N/mm <sup>2</sup>	
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c =$	14.11	N/mm <sup>2</sup>	
$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d) =$	0.00275		$\leq 0,02$
copriferro =	64.00	mm	
d =	936	mm	
H =	1000.00	mm	
b <sub>w</sub> =	1000	mm	
A <sub>sl</sub> =	2576	mm <sup>2</sup>	5 $\phi$ 20
$N_{Ed} =$	<b>0.00</b>	kN	
$\alpha_{cp} = N_{Ed} / A_c =$	0.000	N/mm <sup>2</sup>	$\leq 0,2 \cdot f_{cd}$

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

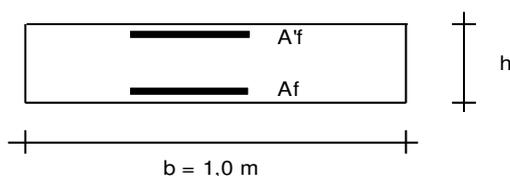
Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 48 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### VERIFICA ELEVAZIONE

<b>Verifica a taglio sez. d-d</b>			
Elementi senza armatura trasversale a taglio			
- Verifica del conglomerato			
$V_{Rd} = [0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \alpha_{cp}] \cdot b_w \cdot d =$	320.51	kN	
<b><math>V_{Ed} =</math></b>	<b>120.44</b>	<b>kN</b>	<b>ok</b>
con:			
$K = 1 + (200/d)^{1/2} =$	1.450		$\leq 2$
$R_{ck} =$	30	N/mm <sup>2</sup>	
$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} =$	0.305	N/mm <sup>2</sup>	
$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} =$	24.9	N/mm <sup>2</sup>	
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c =$	14.11	N/mm <sup>2</sup>	
$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d) =$	0.00261		$\leq 0,02$
copriferro =	64.00	mm	
d =	986	mm	
H =	1050.00	mm	
b <sub>w</sub> =	1000	mm	
A <sub>sl</sub> =	2576	mm <sup>2</sup>	5 $\phi$ 20
$N_{Ed} =$	1.05	kN	
$\alpha_{cp} = N_{Ed} / A_c =$	0.001	N/mm <sup>2</sup>	$\leq 0,2 \cdot f_{cd}$

### SLE – combinazione STATICA (stato limite ultimo di esercizio e fessurazione)

#### VERIFICHE



a-a	pos 1-2-3-4
b-b	pos 1-2-3-4
c-c	pos 1-4
d-d	pos 5-6-7-8-9
e-e	pos 5-7-8
f-f	pos 5-7
g-g	pos 5-7

#### Condizione Statica

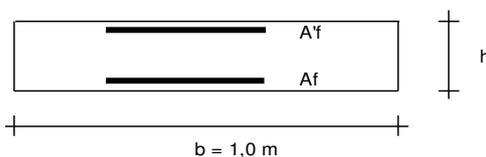
Sez.	M	N	h	A <sub>f</sub>	A' <sub>f</sub>	$\sigma_c$	$\sigma_f$	w <sub>k</sub>	w <sub>amm</sub>
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)
a - a	62.96	0.00	1.00	15.71	25.76	0.66	45.51	0.060	0.200
b - b	-286.30	0.00	1.00	25.76	15.71	2.61	128.28	0.126	0.200
c - c	-123.23	0.00	1.00	15.71	15.71	1.36	89.24	0.118	0.200
d - d	353.42	180.40	1.05	25.76	7.70	3.22	119.48	0.117	0.200
e - e	164.79	116.42	0.89	25.76	7.70	2.02	64.65	0.063	0.200
f - f	58.13	65.03	0.73	15.71	7.70	1.20	41.50	0.045	0.200

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 49 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

**11.3.2 Sezione H= 5.50 m**
**ARMATURE**

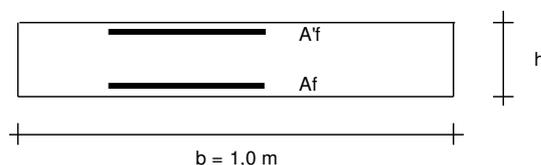
pos	n°/ml	φ	pos	n°/ml	φ
1	5.0	20	5	5.0	14
2	0.0	0	6	0.0	0
3	5.0	16	7	5.0	20
4	5.0	20	8	5.0	16
			9	0.0	0

**A1+M1+R1**
**SLU – combinazione STATICA (stato limite ultimo presso-flessionale)**
**VERIFICHE**


a-a	pos 1-2-3-4
b-b	pos 1-2-3-4
c-c	pos 1-4
d-d	pos 5-6-7-8-9
e-e	pos 5-7-8
f-f	pos 5-7
g-g	pos 5-7

Sez.	Msd (kNm)	Nsd (kN)	Tsd (kN)	h (m)	Af (cm <sup>2</sup> )	A'f (cm <sup>2</sup> )	MRd (kNm)	NRd (kN)	TRd (kN)
(-)									
a - a	60.89	0.00	120.32	1.00	15.71	25.76	559.19	0.00	264.54
b - b	-416.00	0.00	-204.07	1.00	25.76	15.71	902.87	0.00	311.97
c - c	-151.20	0.00	147.46	1.00	15.71	15.71	559.18	0.00	264.54
d - d	310.31	156.05	91.12	0.95	25.76	7.70	914.64	156.05	303.53
e - e	147.77	101.59	47.76	0.81	25.76	7.70	747.33	101.59	278.93
f - f	53.77	57.43	17.39	0.68	15.71	7.70	375.41	57.43	278.93

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

**ECC+M1+R1**
**SLU – combinazione URTO (stato limite ultimo presso-flessionale)**
**VERIFICHE**


a-a	pos 1-2-3-4
b-b	pos 1-2-3-4
c-c	pos 1-4
d-d	pos 5-6-7-8-9
e-e	pos 5-7-8
f-f	pos 5-7
g-g	pos 5-7

Sez.	M (kNm)	N (kN)	Tsd (kN)	h (m)	Af (cm <sup>2</sup> )	A'f (cm <sup>2</sup> )	Mu (kNm)	NRd (kN)	TRd (kN)
(-)									
a - a	58.09	0.00	114.93	1.00	15.71	25.76	559.19	0.00	264.54
b - b	-223.60	0.00	-94.08	1.00	25.76	15.71	902.87	0.00	311.97
c - c	-91.52	0.00	117.66	1.00	15.71	15.71	559.18	0.00	264.54
d - d	282.95	139.54	75.44	0.95	25.76	7.70	908.07	139.54	303.53
e - e	151.34	91.14	43.21	0.81	25.76	7.70	743.86	91.14	278.93
f - f	70.91	51.75	20.96	0.68	15.71	7.70	373.83	51.75	278.93

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

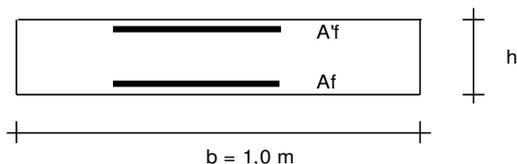
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 50 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### A2+M2+R2

#### VERIFICHE



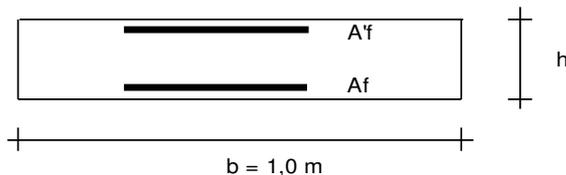
a-a	pos 1-2-3-4
b-b	pos 1-2-3-4
c-c	pos 1-4
d-d	pos 5-6-7-8-9
e-e	pos 5-7-8
f-f	pos 5-7
g-g	pos 5-7

Sez.	Msd	Nsd	Tsd	h	Af	A'f	MRd	NRd	TRd
(-)	(kNm)	(kN)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kNm)	(kN)	(kN)
a - a	63.53	0.00	125.05	1.00	15.71	25.76	559.19	0.00	264.54
b - b	-266.37	0.00	-109.64	1.00	25.76	15.71	902.87	0.00	311.97
c - c	-109.07	0.00	147.24	1.00	15.71	15.71	559.18	0.00	264.54
d - d	313.26	147.39	91.68	0.95	25.76	7.70	911.20	147.39	303.53
e - e	150.43	96.50	48.63	0.81	25.76	7.70	745.64	96.50	278.93
f - f	55.40	54.98	18.06	0.68	15.71	7.70	374.73	54.98	278.93

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

### SLU – combinazione SISMICA (stato limite ultimo presso-flessionale)

#### VERIFICHE



a-a	pos 1-2-3-4
b-b	pos 1-2-3-4
c-c	pos 1-4
d-d	pos 5-6-7-8-9
e-e	pos 5-7-8
f-f	pos 5-7
g-g	pos 5-7

Sez.	Msd	Nsd	Tsd	h	Af	A'f	MRd	NRd	TRd
(-)	(kNm)	(kN)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kNm)	(kN)	(kN)
a - a	69.90	0.00	118.59	1.00	15.71	25.76	559.19	0.00	264.54
b - b	-304.76	0.00	-99.76	1.00	25.76	15.71	902.87	0.00	311.97
c - c	-117.67	0.00	8.23	1.00	15.71	15.71	559.18	0.00	264.54
d - d	354.26	142.04	5.54	0.95	25.76	7.70	909.07	142.04	303.53
e - e	151.34	90.67	3.28	0.81	25.76	7.70	743.70	90.67	278.93
f - f	45.96	49.87	1.43	0.68	15.71	7.70	373.31	49.87	278.93

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

### SLU (stato limite ultimo azione tagliante)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 51 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### VERIFICA FONDAZIONE

<b>Verifica a taglio sez. a-a</b>					
Elementi senza armatura trasversale a taglio					
- Verifica del conglomerato					
$VRd = [0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \alpha_{cp}] \cdot bw \cdot d =$	264.54	kN			
<b><math>V_{Ed} =</math></b>	<b>125.05</b>	<b>kN</b>	<b>ok</b>		
con:					
$K = 1 + (200/d)^{1/2} =$	1.462		$\leq 2$		
$R_{ck} =$	30	N/mm <sup>2</sup>			
$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} =$	0.309	N/mm <sup>2</sup>			
$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} =$	24.9	N/mm <sup>2</sup>			
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c =$	14.11	N/mm <sup>2</sup>			
$\rho_1 = A_{sl} / (bw \cdot d) =$	0.00168		$\leq 0,02$		
copriferro =	64.00	mm			
d =	936	mm			
H =	1000.00	mm			
bw =	1000	mm			
A <sub>sl</sub> =	1571	mm <sup>2</sup>	5	φ	20
$N_{Ed} =$	0.00	kN			
$\alpha_{cp} = N_{Ed} / A_c =$	0.000	N/mm <sup>2</sup>	$\leq 0,2 \cdot f_{cd}$		

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 52 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

<b>Verifica a taglio sez. b-b</b>			
<i>Elementi senza armatura trasversale a taglio</i>			
<i>- Verifica del conglomerato</i>			
$V_{Rd} = [0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot 1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \alpha_{cp}] \cdot b_w \cdot d =$	<b>311.97</b>	kN	
<b><math>V_{Ed} =</math></b>	<b>204.07</b>	<b>kN</b>	<b>ok</b>
con:			
$K = 1 + (200/d)^{1/2} =$	1.462		$\leq 2$
$R_{ck} =$	30	N/mm <sup>2</sup>	
$V_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} =$	0.309	N/mm <sup>2</sup>	
$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} =$	24.9	N/mm <sup>2</sup>	
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c =$	14.11	N/mm <sup>2</sup>	
$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d) =$	0.00275		$\leq 0,02$
copriferro =	64.00	mm	
d =	936	mm	
H =	1000.00	mm	
b <sub>w</sub> =	1000	mm	
A <sub>sl</sub> =	2576	mm <sup>2</sup>	5    ϕ    20
$N_{Ed} =$	<b>0.00</b>	kN	
$\alpha_{cp} = N_{Ed} / A_c =$	0.000	N/mm <sup>2</sup>	$\leq 0,2 \cdot f_{cd}$

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

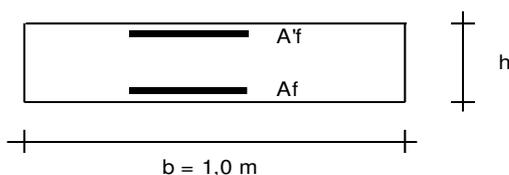
Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 53 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### VERIFICA ELEVAZIONE

<b>Verifica a taglio sez. d-d</b>			
Elementi senza armatura trasversale a taglio			
- Verifica del conglomerato			
$V_{Rd} = [0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d =$	303.53	kN	
<b><math>V_{Ed} =</math></b>	<b>91.68</b>	<b>kN</b>	<b>ok</b>
con:			
$K = 1 + (200/d)^{1/2} =$	1.475		$\leq 2$
$R_{ck} =$	30	N/mm <sup>2</sup>	
$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} =$	0.313	N/mm <sup>2</sup>	
$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} =$	24.9	N/mm <sup>2</sup>	
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c =$	14.11	N/mm <sup>2</sup>	
$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d) =$	0.00291		$\leq 0,02$
copriferro =	64.00	mm	
d =	886	mm	
H =	950.00	mm	
b <sub>w</sub> =	1000	mm	
A <sub>sl</sub> =	2576	mm <sup>2</sup>	5 $\phi$ 20
$N_{Ed} =$	0.95	kN	
$\alpha_{cp} = N_{Ed} / A_c =$	0.001	N/mm <sup>2</sup>	$\leq 0,2 \cdot f_{cd}$

### SLE – combinazione STATICA (stato limite ultimo di esercizio e fessurazione)

#### VERIFICHE



a-a	pos 1-2-3-4
b-b	pos 1-2-3-4
c-c	pos 1-4
d-d	pos 5-6-7-8-9
e-e	pos 5-7-8
f-f	pos 5-7
g-g	pos 5-7

#### Condizione Statica

Sez.	M	N	h	A <sub>f</sub>	A' <sub>f</sub>	$\sigma_c$	$\sigma_f$	w <sub>k</sub>	w <sub>amm</sub>
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)
a - a	51.30	0.00	1.00	15.71	25.76	0.54	37.08	0.049	0.200
b - b	-180.39	0.00	1.00	25.76	15.71	1.64	80.82	0.079	0.200
c - c	-77.02	0.00	1.00	15.71	15.71	0.85	55.77	0.074	0.200
d - d	226.40	139.54	0.95	25.76	7.70	2.46	83.78	0.082	0.200
e - e	106.75	91.14	0.81	25.76	7.70	1.53	44.95	0.042	0.200
f - f	38.29	51.75	0.68	15.71	7.70	0.90	28.18	0.029	0.200

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 54 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### 11.3.3 Sezione H= 3.90 m

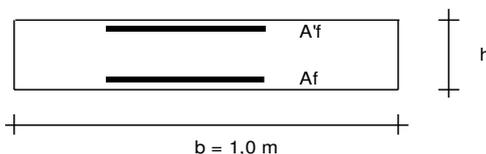
#### ARMATURE

pos	n°/ml	φ	pos	n°/ml	φ
1	5.0	16	5	5.0	12
2	0.0	0	6	0.0	0
3	0.0	0	7	5.0	16
4	5.0	16	8	0.0	0
			9	0.0	0

#### A1+M1+R1

SLU – combinazione STATICA (stato limite ultimo presso-flessionale)

#### VERIFICHE



a-a	pos 1-2-3-4
b-b	pos 1-2-3-4
c-c	pos 1-4
d-d	pos 5-6-7-8-9
e-e	pos 5-7-8
f-f	pos 5-7
g-g	pos 5-7

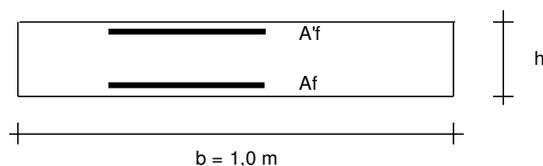
Sez.	Msd	Nsd	Tsd	h	Af	A'f	MRd	NRd	TRd
(-)	(kNm)	(kN)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kNm)	(kN)	(kN)
a - a	29.19	0.00	71.70	0.80	10.05	10.05	286.51	0.00	202.33
b - b	-149.29	0.00	-108.71	0.80	10.05	10.05	286.51	0.00	202.33
c - c	-55.29	0.00	83.14	0.80	10.05	10.05	286.51	0.00	202.33
d - d	128.17	93.66	52.56	0.79	10.05	5.65	314.12	93.66	201.08
e - e	62.55	62.48	28.51	0.69	10.05	5.65	262.07	62.48	187.37
f - f	23.55	36.48	10.99	0.60	10.05	5.65	214.30	36.48	187.37

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

#### ECC+M1+R1

SLU – combinazione URTO(stato limite ultimo presso-flessionale)

#### VERIFICHE



a-a	pos 1-2-3-4
b-b	pos 1-2-3-4
c-c	pos 1-4
d-d	pos 5-6-7-8-9
e-e	pos 5-7-8
f-f	pos 5-7
g-g	pos 5-7

Sez.	M	N	Tsd	h	Af	A'f	Mu	NRd	TRd
(-)	(kNm)	(kN)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kNm)	(kN)	(kN)
a - a	32.67	0.00	79.48	0.80	10.05	10.05	286.51	0.00	202.33
b - b	-109.53	0.00	-71.74	0.80	10.05	10.05	286.51	0.00	202.33
c - c	-42.60	0.00	72.83	0.80	10.05	10.05	286.51	0.00	202.33
d - d	151.45	84.08	50.10	0.79	10.05	5.65	314.12	84.08	201.08
e - e	91.93	56.26	32.40	0.69	10.05	5.65	262.07	56.26	187.37
f - f	52.12	32.98	19.71	0.60	10.05	5.65	214.30	32.98	187.37

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 55 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### A2+M2+R2

Sez.	Msd	Nsd	Tsd	h	Af	A'f	MRd	NRd	TRd
(-)	(kNm)	(kN)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kNm)	(kN)	(kN)
a - a	30.72	0.00	75.09	0.80	10.05	10.05	286.51	0.00	202.33
b - b	-104.17	0.00	-65.93	0.80	10.05	10.05	286.51	0.00	202.33
c - c	-42.28	0.00	83.78	0.80	10.05	10.05	286.51	0.00	202.33
d - d	130.70	89.07	53.41	0.79	10.05	5.65	312.55	89.07	201.08
e - e	64.33	59.74	29.32	0.69	10.05	5.65	261.26	59.74	187.37
f - f	24.51	35.12	11.52	0.60	10.05	5.65	213.97	35.12	187.37

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

### SLU – combinazione SISMICA (stato limite ultimo presso-flessionale)

Sez.	Msd	Nsd	Tsd	h	Af	A'f	MRd	NRd	TRd
(-)	(kNm)	(kN)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kNm)	(kN)	(kN)
a - a	30.74	0.00	70.01	0.80	10.05	10.05	286.51	0.00	202.33
b - b	-101.18	0.00	-58.40	0.80	10.05	10.05	286.51	0.00	202.33
c - c	-38.79	0.00	5.14	0.80	10.05	10.05	286.51	0.00	202.33
d - d	128.27	83.27	3.54	0.79	10.05	5.65	310.57	83.27	201.08
e - e	55.06	54.47	2.15	0.69	10.05	5.65	259.72	54.47	187.37
f - f	16.88	31.00	0.97	0.60	10.05	5.65	212.96	31.00	187.37

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 56 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

SLU (stato limite ultimo azione tagliante)

### VERIFICA FONDAZIONE

<b>Verifica a taglio sez. a-a</b>					
<i>Elementi senza armatura trasversale a taglio</i>					
<i>- Verifica del conglomerato</i>					
$V_{Rd} = [0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot 1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \alpha_{cp}] \cdot b_w \cdot d =$	<b>202.33</b>	kN			
<b><math>V_{Ed} =</math></b>	<b>75.09</b>	<b>kN</b>	<b>ok</b>		
con:					
$K = 1 + (200/d)^{1/2} =$	1.521		$\leq 2$		
$R_{ck} =$	30	N/mm <sup>2</sup>			
$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} =$	0.327	N/mm <sup>2</sup>			
$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} =$	24.9	N/mm <sup>2</sup>			
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c =$	14.11	N/mm <sup>2</sup>			
$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d) =$	0.00136		$\leq 0,02$		
copriferro =	62.00	mm			
d =	738	mm			
H =	800.00	mm			
b <sub>w</sub> =	1000	mm			
A <sub>sl</sub> =	1005	mm <sup>2</sup>	5	φ	16
$N_{Ed} =$	<b>0.00</b>	kN			
$\alpha_{cp} = N_{Ed} / A_c =$	0.000	N/mm <sup>2</sup>	$\leq 0,2 \cdot f_{cd}$		

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 57 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

<b>Verifica a taglio sez. b-b</b>			
<i>Elementi senza armatura trasversale a taglio</i>			
<i>- Verifica del conglomerato</i>			
$V_{Rd} = [0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot 1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \alpha_{cp}] \cdot b_w \cdot d =$	<b>202.33</b>	kN	
<b><math>V_{Ed} =</math></b>	<b>108.71</b>	<b>kN</b>	<b>ok</b>
con:			
$K = 1 + (200/d)^{1/2} =$	1.521		$\leq 2$
$R_{ck} =$	30	N/mm <sup>2</sup>	
$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} =$	0.327	N/mm <sup>2</sup>	
$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} =$	24.9	N/mm <sup>2</sup>	
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c =$	14.11	N/mm <sup>2</sup>	
$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d) =$	0.00136		$\leq 0,02$
copriferro =	62.00	mm	
d =	738	mm	
H =	800.00	mm	
b <sub>w</sub> =	1000	mm	
A <sub>sl</sub> =	1005	mm <sup>2</sup>	5 $\phi$ 16
$N_{Ed} =$	<b>0.00</b>	kN	
$\alpha_{cp} = N_{Ed} / A_c =$	0.000	N/mm <sup>2</sup>	$\leq 0,2 \cdot f_{cd}$

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

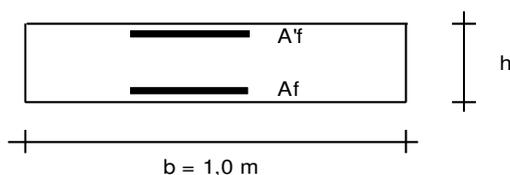
Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 58 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### VERIFICA ELEVAZIONE

<b>Verifica a taglio sez. d-d</b>			
Elementi senza armatura trasversale a taglio			
- Verifica del conglomerato			
$V_{Rd} = [0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot 1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \alpha_{cp}] \cdot b_w \cdot d =$	<b>201.08</b>	kN	
<b><math>V_{Ed} =</math></b>	<b>53.41</b>	kN	<b>ok</b>
con:			
$K = 1 + (200/d)^{1/2} =$	1.524		$\leq 2$
$R_{ck} =$	<b>30</b>	N/mm <sup>2</sup>	
$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} =$	0.329	N/mm <sup>2</sup>	
$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} =$	24.9	N/mm <sup>2</sup>	
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c =$	14.11	N/mm <sup>2</sup>	
$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d) =$	0.00138		$\leq 0,02$
copriferro =	<b>62.00</b>	mm	
d =	728	mm	
H =	<b>790.00</b>	mm	
b <sub>w</sub> =	1000	mm	
A <sub>sl</sub> =	1005	mm <sup>2</sup>	5 $\phi$ 16
$N_{Ed} =$	<b>0.79</b>	kN	
$\alpha_{cp} = N_{Ed} / A_c =$	0.001	N/mm <sup>2</sup>	$\leq 0,2 \cdot f_{cd}$

### SLE – combinazione STATICA (stato limite ultimo di esercizio e fessurazione)

#### VERIFICHE



a-a	pos 1-2-3-4
b-b	pos 1-2-3-4
c-c	pos 1-4
d-d	pos 5-6-7-8-9
e-e	pos 5-7-8
f-f	pos 5-7
g-g	pos 5-7

#### Condizione Statica

Sez.	M	N	h	A <sub>f</sub>	A' <sub>f</sub>	$\sigma^c$	$\sigma^f$	w <sub>k</sub>	w <sub>amm</sub>
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)
a - a	24.01	0.00	0.80	10.05	10.05	0.48	34.45	0.048	0.200
b - b	-69.20	0.00	0.80	10.05	10.05	1.39	99.30	0.138	0.200
c - c	-29.53	0.00	0.80	10.05	10.05	0.59	42.37	0.059	0.200
d - d	92.41	84.08	0.79	10.05	5.65	1.96	95.04	0.132	0.200
e - e	44.64	56.26	0.69	10.05	5.65	1.18	49.05	0.063	0.200
f - f	16.57	32.98	0.60	10.05	5.65	0.57	18.07	0.021	0.200

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 59 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

# ALLEGATO 1

## *TABULATI DI CALCOLO DEL MURO*

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

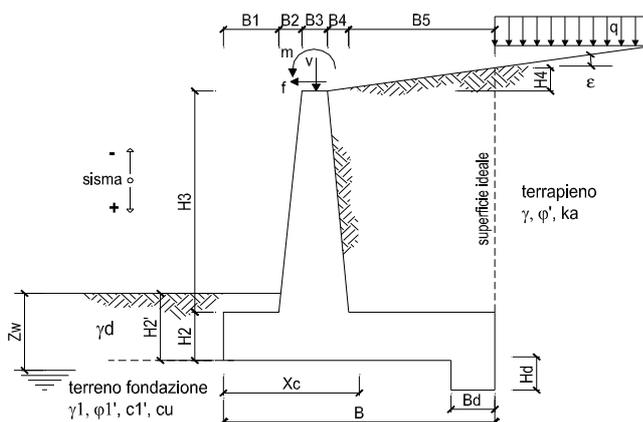
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	60 di 164

### 1.1 TABULATI MURO SEZIONE H= 6.50 M

Combinazione STATICA: A1+M1+R1



OPERA Hmuro = 6.50 m

DATI DI PROGETTO:

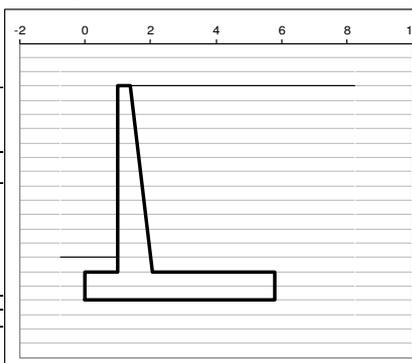
#### Geometria del Muro

Elevazione	H3 =	6.50	(m)
Aggetto Valle	B2 =	0.00	(m)
Spessore del Muro in Testa	B3 =	0.40	(m)
Aggetto monte	B4 =	0.65	(m)

#### Geometria della Fondazione

Larghezza Fondazione	B =	5.80	(m)
Spessore Fondazione	H2 =	1.00	(m)
Suola Lato Valle	B1 =	1.00	(m)
Suola Lato Monte	B5 =	3.75	(m)
Altezza dente	Hd =	0.00	(m)
Larghezza dente	Bd =	0.00	(m)
Mezzzeria Sezione	Xc =	2.90	(m)

Peso Specifico del Calcestruzzo  $\gamma_{cls} = 25.00$  (kN/m<sup>3</sup>)



#### Dati Geotecnici

Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	$\phi' = 35.00$ (°)	
	Peso Unità di Volume del terrapieno	$\gamma = 20.00$ (kN/m <sup>3</sup> )	
	Angolo di inclinazione Piano di Campagna	$\epsilon = 0.00$ (°)	
	Angolo di attrito terreno-paramento	$\delta_{muro} = 17.50$ (°)	
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	$\delta_{sup id} = 17.50$ (°)	
Dati Terreno Fondazione	Condizioni	<input checked="" type="radio"/> drenate <input type="radio"/> Non Drenate	
	Coesione Terreno di Fondazione	$c_1' = 0.00$ (kPa)	
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione ( $\tan \phi_{m} = 0.85 \cdot \tan \phi_p$ )	$\phi_{m1} = 35.52$ (°)	$\phi_p = 40$
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	$\gamma_1 = 19.00$ (kN/m <sup>3</sup> )	
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	$\gamma_d = 19.00$ (kN/m <sup>3</sup> )	
	Profondità Piano di Posa della Fondazione	$H2' = 1.50$ (m)	
	Profondità Falda	$Zw = 100.00$ (m)	
	Profondità "Significativa" (n.b.: consigliata H = 2*B)	$Hs = 11.60$ (m)	
	Modulo di deformazione	$E = 200000$ (kN/m <sup>2</sup> )	
Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_g/g = 0.2060$ (-)	$S = 1.388$
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione	$\beta_m = 0.31$ (-)	Coefficiente Categoria di:
	il muro è libero di ruotare al piede? (si/no)	<input checked="" type="radio"/> si <input type="radio"/> no	
	il muro ammette spostamenti? (si/no)	<input checked="" type="radio"/> si <input type="radio"/> no	
	coefficiente sismico orizzontale	$kh = 0.0886$ (-)	
	coefficiente sismico verticale	$k_v = 0.0443$ (-)	
Coefficienti di Spinta	Coef. di Spinta Attiva sulla superficie ideale	$ka = 0.25$ (-)	0.246
	Coef. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale sisma +	$kas+ = 0.30$ (-)	0.296
	Coef. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale sisma -	$kas- = 0.30$ (-)	0.301
	Coef. Di Spinta Passiva in Fondazione	$kp = 3.77$ (-)	3.772
	Coef. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione sisma +	$kps+ = 3.60$ (-)	3.604
	Coef. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione sisma -	$kps- = 3.59$ (-)	3.588

#### Carichi Agenti

Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	q =	20.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni statiche	f =	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni statiche	v =	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni statiche	m =	0.00	(kNm/m)
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	qs =	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni sismiche	fs =	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni sismiche	vs =	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni sismiche	ms =	0.00	(kNm/m)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	61 di 164

coefficienti parziali										
SLU	☉	caso	azioni		proprietà del terreno			$\gamma_R$		
			permanenti sfavorevoli	temporane e variabili sfavorevoli	tan $\phi'$	c'	c <sub>u</sub>	Cap.	Scorrimen	Res.Terreno
								portante	to	Valle
		caso A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		caso A2+M2+R2	1.00	1.30	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00
SLD	☉	--	1.00	1.00	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00
def.	☉	--	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

### Dati Geotecnici (usati per verifiche di stabilità e SLU)

Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	$\phi'$	=	35.00	(°)		
	Peso Unità di Volume del terrapieno	$\gamma'$	=	26.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Angolo di Inclinazione Piano di Campagna	$\epsilon$	=	0.00	(°)		
	Angolo di attrito terreno-paramento	$\delta_{muro}$	=	17.50	(°)		
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	$\delta_{sup id}$	=	17.50	(°)		
Dati Terreno Fondazione	Coesione Terreno di Fondazione	c1'	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )		
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	$\phi_1'$	=	35.52	(°)		
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	$\gamma_1$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Peso Unità di Volume del Rinterrato della Fondazione	$\gamma_d$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Profondità Piano di Posizione della Fondazione	H2'	=	1.50	(m)		
	Profondità Falda	Zw	=	100.00	(m)		
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla superficie ideale	ka	=	0.25	(-)	0.246	Valori di Normativa
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas+	=	0.30	(-)	0.296	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas-	=	0.30	(-)	0.301	
	Coeff. Di Spinta Passiva in Fondazione	kp	=	3.77	(-)	3.772	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps+	=	3.60	(-)	3.604	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps-	=	3.59	(-)	3.588	

### Carichi Agenti (usati per verifiche di stabilità e allo SLU)

Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	q	=	30.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni statiche	f	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni statiche	v	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni statiche	m	=	0.00	(kNm/m)
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	qs	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni sismiche	fs	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni sismiche	vs	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni sismiche	ms	=	0.00	(kNm/m)

## VERIFICHE GEOTECNICHE

### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

$$\begin{aligned}
 Pm1 &= (B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2 &= & 0.00 \quad (\text{kN/m}) \\
 Pm2 &= (B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) &= & 65.00 \quad (\text{kN/m}) \\
 Pm3 &= (B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2 &= & 52.81 \quad (\text{kN/m}) \\
 Pm4 &= (B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls}) &= & 145.00 \quad (\text{kN/m}) \\
 Pm5 &= (Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls}) &= & 0.00 \quad (\text{kN/m}) \\
 Pm &= Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5 &= & 262.81 \quad (\text{kN/m})
 \end{aligned}$$

- Peso del terreno sulla scarpa di monte del muro (Pt)

$$\begin{aligned}
 Pt1 &= (B5 \cdot H3 \cdot \gamma) &= & 487.50 \quad (\text{kN/m}) \\
 Pt2 &= (0,5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma) &= & 0.00 \quad (\text{kN/m}) \\
 Pt3 &= (B4 \cdot H3 \cdot \gamma) / 2 &= & 42.25 \quad (\text{kN/m}) \\
 Pt &= Pt1 + Pt2 + Pt3 &= & 529.75 \quad (\text{kN/m})
 \end{aligned}$$

### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

- Muro (Mm)

$$\begin{aligned}
 Mm1 &= Pm1 \cdot (B1 + 2/3 B2) &= & 0.00 \quad (\text{kNm/m}) \\
 Mm2 &= Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0,5 B3) &= & 78.00 \quad (\text{kNm/m}) \\
 Mm3 &= Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 B4) &= & 85.38 \quad (\text{kNm/m}) \\
 Mm4 &= Pm4 \cdot (B/2) &= & 420.50 \quad (\text{kNm/m}) \\
 Mm5 &= Pm5 \cdot (B - Bd/2) &= & 0.00 \quad (\text{kNm/m}) \\
 Mm &= Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5 &= & 583.88 \quad (\text{kNm/m})
 \end{aligned}$$

- Terrapieno a tergo del muro

$$\begin{aligned}
 Mt1 &= Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0,5 B5) &= & 1913.44 \quad (\text{kNm/m}) \\
 Mt2 &= Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 (B4 + B5)) &= & 0.00 \quad (\text{kNm/m}) \\
 Mt3 &= Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 B4) &= & 77.46 \quad (\text{kNm/m}) \\
 Mt &= Mt1 + Mt2 + Mt3 &= & 1990.90 \quad (\text{kNm/m})
 \end{aligned}$$

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	62 di 164

**CONDIZIONE STATICA (SLU) ( caso A1+M1+R1 )**
**SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

- Spinta totale condizione statica

$$St = 0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka = 179,98 \text{ (kN/m)}$$

$$Sq = q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka = 27,69 \text{ (kN/m)}$$

- Componente orizzontale condizione statica

$$Sth = St \cdot \cos \delta = 171,65 \text{ (kN/m)}$$

$$Sqh = Sq \cdot \cos \delta = 26,41 \text{ (kN/m)}$$

- Componente verticale condizione statica

$$Stv = St \cdot \sin \delta = 54,12 \text{ (kN/m)}$$

$$Sqv = Sq \cdot \sin \delta = 8,33 \text{ (kN/m)}$$

- Spinta passiva sul dente

$$Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot Hd^2 \cdot kp + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0,5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd = 0,00 \text{ (kN/m)}$$

**MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

- Condizione statica

$$MSt1 = Sth \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3 - Hd) = 429,12 \text{ (kNm)}$$

$$MSt2 = Stv \cdot B = 297,66 \text{ (kNm)}$$

$$MSq1 = Sqh \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd) = 99,03 \text{ (kNm)}$$

$$MSq2 = Sqv \cdot B = 45,79 \text{ (kNm)}$$

$$MSp = \gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kp / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0,5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2 = 0,00 \text{ (kNm)}$$

**MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE**

$$Mfext1 = m = 0,00 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mfext2 = f \cdot (H3 + H2) = 0,00 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mfext3 = v \cdot (B1 + B2 + B3/2) = 0,00 \text{ (kNm/m)}$$

**VERIFICA ALLO SCORRIMENTO ( caso A1+M1+R1 )**

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + v + Stv + Sqv = 808,51 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sth + Sqh + f = 198,05 \text{ (kN/m)}$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \tan \phi_1' = 0,71 \text{ (-)}$$

$$Fs = (N \cdot f + Sp) / T = 2,91 \text{ (-)} > 1$$

**VERIFICA AL RIBALTAMENTO ( caso A1+M1+R1 )**

Momento stabilizzante (Ms)

$$Ms = Mm + Mt + MSt2 + MSq2 + Mfext3 = 2655,51 \text{ (kNm/m)}$$

Momento ribaltante (Mr)

$$Mr = MSt1 + MSq1 + Mfext1 + Mfext2 + MSp = 528,15 \text{ (kNm/m)}$$

$$Fr = Ms / Mr = 5,03 \text{ (-)} > 1$$

**VERIFICA DELLA FONDAZIONE ( caso A1+M1+R1 )**

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + v + Stv + Sqv = 808,51 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sth + Sqh + f - Sp = 198,05 \text{ (kN/m)}$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = Ms - Mr = 2127,36 \text{ (kNm/m)}$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = Xc \cdot N - MM = 96,04 \text{ (kNm/m)}$$

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	63 di 164

**Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)**

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'Nc'ic + q_0 \cdot Nq \cdot iq + 0,5 \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N\gamma \cdot i\gamma$$

$c1'$	coesione terreno di fondaz.	=	0.00	(kPa)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	=	40.00	(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d \cdot H_2'$	sovraccarico stabilizzante	=	28.50	(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	=	0.12	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	=	5.26	(m)

 I valori di  $Nc$ ,  $Nq$  e  $N\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$Nq = \tan^2(45 + \phi/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan(\phi))}$	(1 in cond. nd)	=	64.20	(-)
$Nc = (Nq - 1) / \tan(\phi)$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	=	75.31	(-)
$N\gamma = 2 \cdot (Nq + 1) \cdot \tan(\phi)$	(0 in cond. nd)	=	109.41	(-)

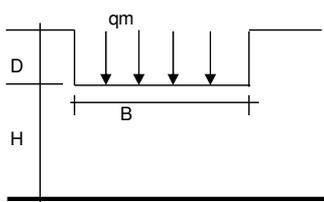
 I valori di  $ic$ ,  $iq$  e  $i\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$iq = (1 - T / (N + B \cdot c' \cot(\phi)))^m$	(1 in cond. nd)	=	0.57	(-)
$ic = iq - (1 - iq) / (Nq - 1)$		=	0.56	(-)
$i\gamma = (1 - T / (N + B \cdot c' \cot(\phi)))^{m+1}$		=	0.43	(-)

 (fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	=	3397.36	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	---	---------	----------------------

$$F = q_{lim} \cdot B^* / N = 22.11 \quad (-) \quad > \quad 1$$

**CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE**


$$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot qm \cdot B^* / E \quad (\text{Christian e Carrier, 1976})$$

Profondità Piano di Posa della Fondazione	$D =$	1.50	(m)
	$D/B^* =$	0.29	(m)
	$H/B^* =$	2.09	(m)
Carico unitario medio ( $qm$ )	$qm = N / (B - 2 \cdot e) = N / B^* =$	153.64	(kN/mq)
Coefficiente di forma $\mu_0 = f(D/B)$	$\mu_0 =$	0.948	(-)
Coefficiente di profondità $\mu_1 = f(H/B)$	$\mu_1 =$	0.68	(-)
Cedimento della fondazione	$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot qm \cdot B^* / E =$	2.61	(mm)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 64 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

### CALCOLI STATICI - Verifica allo Stato Limite Ultimo

#### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

##### Calcestruzzo

Rck = 30 (MPa)  
 $\gamma_c = 2.1$   
 $f_{cd} = Rck / \gamma_{m,c} = 14.11$  (MPa)

##### Copri ferro

c = 6.40 (cm)

##### Acciaio

tipo di acciaio: B450C  
 $f_{yk} = 450$  (MPa)  
 $\gamma_E = 1.00$   
 $\gamma_S = 1.15$   
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S / \gamma_E = 391.30$  (MPa)  
 $E_s = 210000$  (MPa)  
 $\epsilon_{ys} = 0.19\%$   
 $\epsilon_{uk} = 7.500\%$   
 $\epsilon_{ud} = 6.750\%$

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

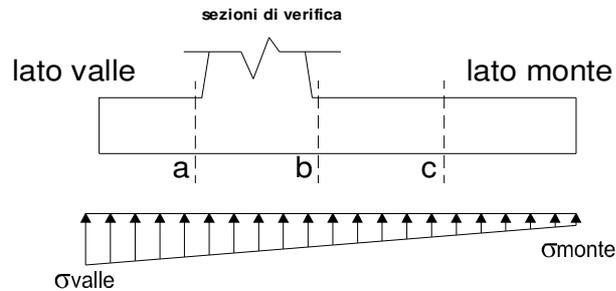
##### Reazione del terreno

$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$   
 $\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$

A = 1.0\*B = 5.80 (m<sup>2</sup>)

W<sub>gg</sub> = 1.0\*B<sup>2</sup>/6 = 5.61 (m<sup>3</sup>)

caso	N [kN]	M [kNm]	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
statico	863.34	145.59	174.82	122.88

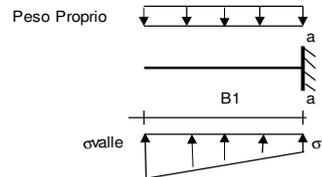


##### Mensola Lato Valle

Peso Proprio. PP = 25.00 (kN/m)

$M_a = \sigma_1 * B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) * B^2 / 3 - PP * B^2 / 2 * (1 \pm kv)$

caso	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	M <sub>a</sub> [kNm]	T <sub>a</sub> [kN]
statico	174.82	165.86	73.42	145.34



##### Mensola Lato Monte

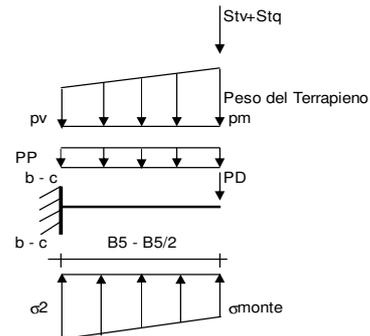
PP = 25.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
 PD = 0.00 (kN/m)  
 peso proprio soletta fondazione  
 peso proprio dente

p<sub>m</sub> = 169.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
 p<sub>vb</sub> = 169.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
 p<sub>vc</sub> = 169.00 (kN/m<sup>2</sup>)

$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) * (1 \pm kv)) * B^2 / 2 + (\sigma_{2b} - \sigma_{monte}) * B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) * (1 \pm kv) * B^2 / 3 +$   
 $-(Stv + Sqv) * B^2 * PD * (1 \pm kv) * (B^2 - Bd^2) - PD * kh * (Hd + H2/2) + Msp + Sp * H2/2$

$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) * (1 \pm kv)) * (B5/2)^2 / 2 + (\sigma_{2c} - \sigma_{monte}) * (B5/2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) * (1 \pm kv) * (B5/2)^2 / 3 +$   
 $-(Stv + Sqv) * (B5/2) - PD * (1 \pm kv) * (B5/2 - Bd/2) - PD * kh * (Hd + H2/2) + Msp + Sp * H2/2$

caso	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{2b}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	M <sub>b</sub> [kNm]	$\sigma_{2c}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	M <sub>c</sub> [kNm]	T <sub>b</sub> [kN]
statico	122.88	156.46	-686.73	139.67	-247.87	-274.50



## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

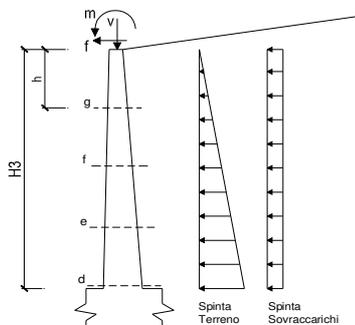
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc REL	N.prog 01	Rev. B	Pag.di Pag. 65 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	--------------	-----------	--------------------------

### CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO

Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo



Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_g/g$	=	0.21	(-)	S 1.39
	<b>Coefficiente di riduzione dell'accelerazione</b>	<b><math>\beta</math></b>	=	<b>0.31</b>	(-)	
	il muro ammette spostamenti? (si/no)	<input checked="" type="radio"/> si		<input type="radio"/> no	bm = var	Categoria di suolo
	coefficiente sismico orizzontale	kh	=	0.0886	(-)	
	coefficiente sismico verticale	kv	=	0.0443	(-)	
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla parete	ka	=	0.29	(-)	0.287
	componente orizzontale	kah	=	0.264	(-)	
	componente verticale	kav	=	0.11	(-)	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas+	=	0.34	(-)	0.340
	componente orizzontale	kash+	=	0.31	(-)	
	componente verticale	kasv+	=	0.13	(-)	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas-	=	0.35	(-)	0.345
	componente orizzontale	kash-	=	0.32	(-)	
componente verticale	kasv-	=	0.14	(-)		

$$M_t = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma^2 (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/3 \quad \text{o} \quad \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma^2 (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/2 \quad (\text{con sisma})$$

$$M_q = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot q \cdot h^2$$

$$M_{ext} = m + f \cdot h$$

$$M_{inerzia} = \Sigma P m_i \cdot b_i \cdot kh \quad (\text{solo con sisma})$$

$$N_t = \frac{1}{2} K_{a_{vert.}} \cdot \gamma^2 (1 \pm kv) \cdot h^2$$

$$N_q = K_{a_{vert.}} \cdot q \cdot h$$

$$N_{ext} = v$$

$$N_{pp+inerzia} = \Sigma P m_i \cdot (1 \pm kv)$$

condizione statica

sezione	h	Tt	Tq	T <sub>ext</sub>	T <sub>tot</sub>
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	6.50	145.09	51.51	0.00	196.60
e-e	4.88	81.61	38.63	0.00	120.24
f-f	3.25	36.27	25.76	0.00	62.03
g-g	1.63	9.07	12.88	0.00	21.95

condizione statica

sezione	h	Mt	Mq	M <sub>ext</sub>	M <sub>tot</sub>	Nt	Nq	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	6.50	314.36	167.41	0.00	481.76	62.22	22.09	0.00	117.81	202.12
e-e	4.88	132.62	94.17	0.00	226.79	35.00	16.57	0.00	78.46	130.02
f-f	3.25	39.29	41.85	0.00	81.15	15.55	11.04	0.00	45.70	72.30
g-g	1.63	4.91	10.46	0.00	15.37	3.89	5.52	0.00	19.55	28.96

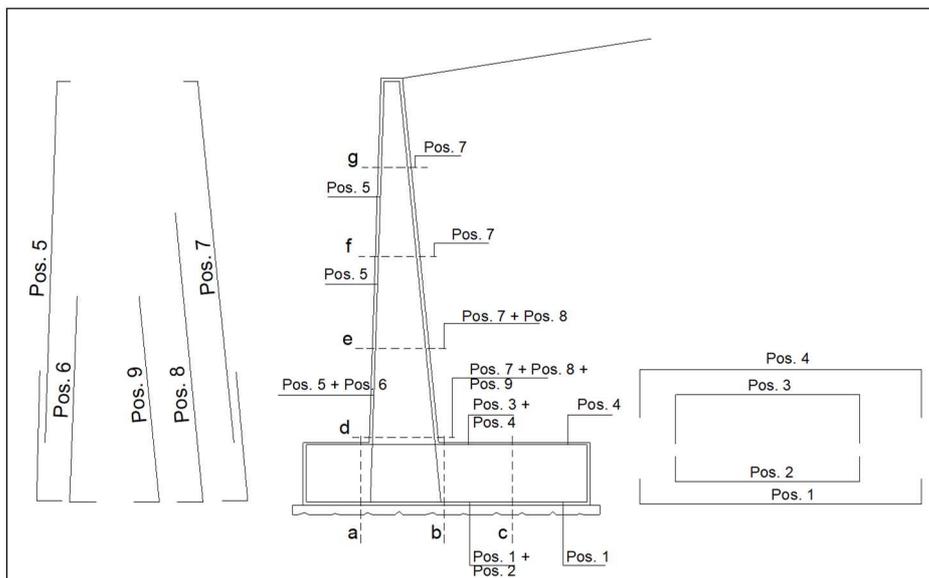
## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 66 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### SCHEMA DELLE ARMATURE

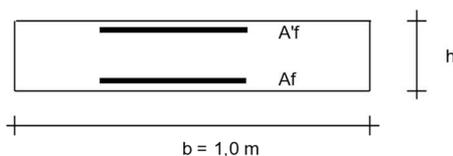


### ARMATURE

pos	n°/ml	φ	pos	n°/ml	φ
1	5.0	20	5	5.0	12
2	0.0	0	6	0.0	0
3	5.0	16	7	5.0	16
4	5.0	20	8	5.0	16
			9	0.0	0

Calcola

### VERIFICHE



- a-a pos 1-2-3-4
- b-b pos 1-2-3-4
- c-c pos 1-4
- d-d pos 5-6-7-8-9
- e-e pos 5-7-8
- f-f pos 5-7
- g-g pos 5-7

Sez.	Msd (kNm)	Nsd (kN)	Tsd (kN)	h (m)	Af (cm <sup>2</sup> )	Af' (cm <sup>2</sup> )	MRd (kNm)	NRd (kN)	TRd (kN)
(-)									
a - a	69.37	0.00	137.59	1.00	15.71	25.76	562.73	0.00	278.49
b - b	-561.10	0.00	-249.09	1.00	25.76	15.71	906.87	0.00	328.42
c - c	-200.06	0.00	170.84	1.00	15.71	15.71	562.58	0.00	278.49
d - d	398.06	191.07	100.93	1.05	20.11	5.65	841.34	191.07	337.42
e - e	179.70	121.74	49.15	0.89	20.11	5.65	671.64	121.74	300.38
f - f	60.22	66.78	15.51	0.73	10.05	5.65	279.37	66.78	283.56

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	67 di 164

### Combinazione STATICA: ECC+M1+R1

	caso	coefficienti parziali		proprietà del terreno			$\gamma_R (R_3)$			
		azioni		tan $\phi'$	c'	$c_u$	Cap. portante	Scorrimento	Res. Terreno Valle	Ribaltamento
		permanenti sfavorevoli	temporanee variabili sfavorevoli				$\gamma_R$	$\gamma_R$	$\gamma_R$	$\gamma_R$
SLU	○ caso A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	● caso ECC+M1+R1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SLD	○ --	1.00	1.00	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00	1.00
def.	○ --	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

#### Dati Geotecnici (usati per verifiche di stabilità e SLU)

Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	$\phi'$	=	35.00	(°)		
	Peso Unità di Volume del terrapieno	$\gamma'$	=	20.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Angolo di Inclinazione Piano di Campagna	$\epsilon$	=	0.00	(°)		
	Angolo di attrito terreno-paramento	$\delta_{nuro}$	=	17.50	(°)		
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	$\delta_{sup id}$	=	17.50	(°)		
Dati Terreno Fondazione	Coesione Terreno di Fondazione	$c_1'$	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )		
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione ( $\tan \phi'_R = 0.67 \cdot \tan \phi'_p$ )	$\phi'_R$	=	35.52	(°)		
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	$\gamma_d$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	$\gamma_d$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Profondità Piano di Posa della Fondazione	H2'	=	1.50	(m)		
	Profondità Falda	Zw	=	100.00	(m)		
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla superficie ideale	ka	=	0.25	(-)	0.246	Valori di Normativa
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas+	=	0.30	(-)	0.296	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas-	=	0.30	(-)	0.301	
	Coeff. Di Spinta Passiva in Fondazione	kp	=	3.77	(-)	3.772	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps+	=	3.60	(-)	3.604	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps-	=	3.59	(-)	3.588	

#### Carichi Agenti (usati per verifiche di stabilità e allo SLU)

Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	q	=	20.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni statiche	f	=	7.40	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni statiche	v	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni statiche	m	=	7.40	(kNm/m)
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	qs	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni sismiche	fs	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni sismiche	vs	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni sismiche	ms	=	0.00	(kNm/m)

### VERIFICHE GEOTECNICHE

#### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

Pm1 =	$(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	=	0.00	(kN/m)
Pm2 =	$(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	=	65.00	(kN/m)
Pm3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	=	52.81	(kN/m)
Pm4 =	$(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	=	145.00	(kN/m)
Pm5 =	$(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	=	0.00	(kN/m)
Pm =	$Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5$	=	262.81	(kN/m)

- Peso del terreno sulla scarpa di monte del muro (Pt)

Pt1 =	$(B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$	=	487.50	(kN/m)
Pt2 =	$(0,5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$	=	0.00	(kN/m)
Pt3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma)/2$	=	42.25	(kN/m)
Pt =	$Pt1 + Pt2 + Pt3$	=	529.75	(kN/m)

#### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

- Muro (Mm)

Mm1 =	$Pm1 \cdot (B1 + 2/3 B2)$	=	0.00	(kNm/m)
Mm2 =	$Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0,5 B3)$	=	78.00	(kNm/m)
Mm3 =	$Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 B4)$	=	85.38	(kNm/m)
Mm4 =	$Pm4 \cdot (B/2)$	=	420.50	(kNm/m)
Mm5 =	$Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	=	0.00	(kNm/m)
Mm =	$Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5$	=	583.88	(kNm/m)

- Terrapieno a tergo del muro

Mt1 =	$Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0,5 B5)$	=	1913.44	(kNm/m)
Mt2 =	$Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 (B4 + B5))$	=	0.00	(kNm/m)
Mt3 =	$Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 B4)$	=	77.46	(kNm/m)
Mt =	$Mt1 + Mt2 + Mt3$	=	1990.90	(kNm/m)

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	68 di 164

**CONDIZIONE STATICA (SLU) ( caso ECC+M1+R1 )**
**SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

- Spinta totale condizione statica

$$St = 0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka = 138.44 \text{ (kN/m)}$$

$$Sq = q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka = 36.92 \text{ (kN/m)}$$

- Componente orizzontale condizione statica

$$Sth = St \cdot \cos \delta = 132.04 \text{ (kN/m)}$$

$$Sqh = Sq \cdot \cos \delta = 35.21 \text{ (kN/m)}$$

- Componente verticale condizione statica

$$Stv = St \cdot \sin \delta = 41.63 \text{ (kN/m)}$$

$$Sqv = Sq \cdot \sin \delta = 11.10 \text{ (kN/m)}$$

- Spinta passiva sul tendente

$$Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot Hd^2 \cdot kp + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd = 0.00 \text{ (kN/m)}$$

**MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

- Condizione statica

$$MSt1 = Sth \cdot (H2+H3+H4+Hd) / 3 - Hd = 330.09 \text{ (kN/m)}$$

$$MSt2 = Stv \cdot B = 241.46 \text{ (kN/m)}$$

$$MSq1 = Sqh \cdot (H2+H3+H4+Hd) / 2 - Hd = 132.04 \text{ (kN/m)}$$

$$MSq2 = Sqv \cdot B = 64.39 \text{ (kN/m)}$$

$$MSp = \gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kp / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2 = 0.00 \text{ (kN/m)}$$

**MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE**

$$Mfext1 = m = 7.40 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mfext2 = f \cdot (H3 + H2) = 55.50 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mfext3 = v \cdot (B1 + B2 + B3/2) = 0.00 \text{ (kNm/m)}$$

**VERIFICA ALLO SCORRIMENTO ( caso ECC+M1+R1 )**

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + v + Stv + Sqv = 845.30 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sth + Sqh + f = 174.65 \text{ (kN/m)}$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \tan \phi_1' = 0.71 \text{ (-)}$$

$$Fs = (N \cdot f + Sp) / T = 3.45 \text{ (-)} > 1$$

**VERIFICA AL RIBALTAMENTO ( caso ECC+M1+R1 )**

Momento stabilizzante (Ms)

$$Ms = Mm + Mt + MSt2 + MSq2 + Mfext3 = 2880.62 \text{ (kNm/m)}$$

Momento ribaltante (Mr)

$$Mr = MSt1 + MSq1 + Mfext1 + Mfext2 + MSp = 525.03 \text{ (kNm/m)}$$

$$Fr = Ms / Mr = 5.49 \text{ (-)} > 1$$

**VERIFICA DELLA FONDAZIONE ( caso ECC+M1+R1 )**

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + v + Stv + Sqv = 845.30 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sth + Sqh + f - Sp = 174.65 \text{ (kN/m)}$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = Ms - Mr = 2355.60 \text{ (kNm/m)}$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = Xc \cdot N - MM = 95.76 \text{ (kNm/m)}$$

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 69 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'Nc'ic + q_0Nq'iq + 0,5\gamma_1B^*N\gamma'i\gamma$$

$c1'$	coesione terreno di fondaz.	=	0.00	(kPa)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	=	40.00	(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d^*H2'$	sovraccarico stabilizzante	=	28.50	(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	=	0.11	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	=	5.57	(m)

I valori di  $Nc$ ,  $Nq$  e  $N\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$Nq = tg^2(45 + \phi/2) * e^{(\pi * tg(\phi))}$	(1 in cond. nd)	=	64.20	(-)
$Nc = (Nq - 1) / tg(\phi)$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	=	75.31	(-)
$N\gamma = 2 * (Nq + 1) * tg(\phi)$	(0 in cond. nd)	=	109.41	(-)

I valori di  $ic$ ,  $iq$  e  $i\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

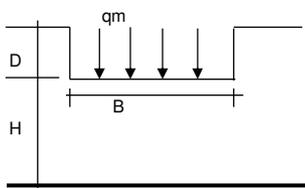
$iq = (1 - T / (N + B^*c'cotg\phi))^m$	(1 in cond. nd)	=	0.63	(-)
$ic = iq - (1 - iq) / (Nq - 1)$		=	0.62	(-)
$i\gamma = (1 - T / (N + B^*c'cotg\phi))^{m+1}$		=	0.50	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	=	4044.77	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	---	---------	----------------------

$$F = q_{lim} * B^* / N = 26.67 \quad (-) \quad > \quad 1$$

### CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE



$$\delta = \mu_0 * \mu_1 * qm * B^* / E \quad (\text{Christian e Carrier, 1976})$$

Profondità Piano di Posa della Fondazione	$D =$	1.50	(m)
	$D/B^* =$	0.27	(m)
	$H/B^* =$	2.08	(m)
Carico unitario medio ( $qm$ )	$qm = N / (B - 2 * e) = N / B^* =$	151.67	(kN/mq)
Coefficiente di forma $\mu_0 = f(D/B)$	$\mu_0 =$	0.949	(-)
Coefficiente di profondità $\mu_1 = f(H/B)$	$\mu_1 =$	0.68	(-)
Cedimento della fondazione	$\delta = \mu_0 * \mu_1 * qm * B^* / E =$	2.73	(mm)

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 70 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

### CALCOLI STATICI - Verifica allo Stato Limite Ultimo

#### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

##### Calcestruzzo

Rck = 30 (MPa)

$\gamma_c = 2.1$

fcd = Rck /  $\gamma_{m,c}$  = 14.11 (MPa)

##### Copriferro

c = 6.40 (cm)

##### Acciaio

tipo di acciaio B450C

f<sub>yk</sub> = 450 (MPa)

$\gamma_E = 1.00$

$\gamma_S = 1.15$

f<sub>yd</sub> = f<sub>yk</sub> /  $\gamma_S$  /  $\gamma_E$  = 391.30 (MPa)

E<sub>s</sub> = 210000 (MPa)

$\epsilon_{ys} = 0.19\%$

$\epsilon_{uk} = 7.500\%$

$\epsilon_{ud} = 6.750\%$

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

##### Reazione del terreno

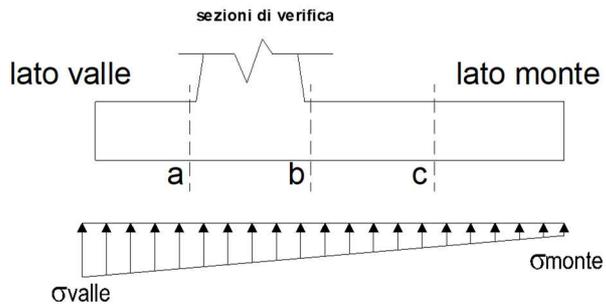
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 5.80 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 5.61 \text{ (m}^3\text{)}$$

caso	N [kN]	M [kNm]	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
statico	845.30	95.76	162.82	128.66

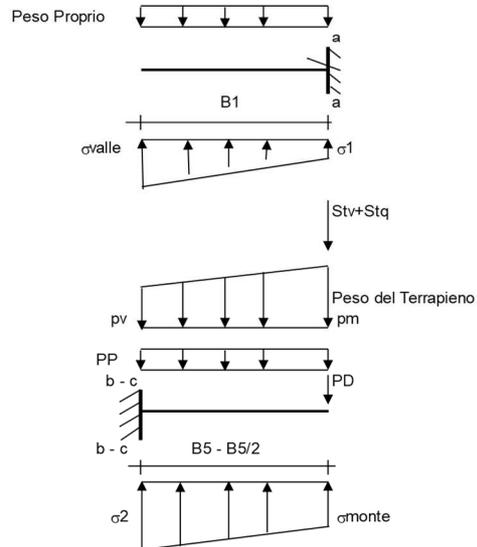


##### Mensola Lato Valle

Peso Proprio. PP = 25.00 (kN/m)

$$M_a = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$$

caso	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	M <sub>a</sub> [kNm]	T <sub>a</sub> [kN]
statico	162.82	156.93	67.93	134.88



##### Mensola Lato Monte

PP = 25.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
PD = 0.00 (kN/m)  
peso proprio soletta fondazione  
peso proprio dente

pm = 130.00 (kN/m<sup>2</sup>)

pvb = 130.00 (kN/m<sup>2</sup>)

pvc = 130.00 (kN/m<sup>2</sup>)

$$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{2b} - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 +$$

$$-(St_v + Sq_v) \cdot B^2 - PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B^2 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + (\sigma_{2c} - \sigma_{monte}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2)^2 / 3 +$$

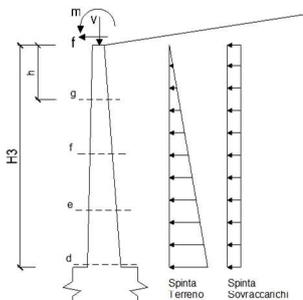
$$-(St_v + Sq_v) \cdot (B_5 / 2) - PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$

caso	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{2b}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	M <sub>b</sub> [kNm]	$\sigma_{2c}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	M <sub>c</sub> [kNm]	T <sub>b</sub> [kN]
statico	128.66	150.75	-331.18	139.70	-138.70	-110.09

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	71 di 164

**CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO**

**Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo**



Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_g/g$	=	0.21	(-)	S <span style="color: blue;">1.39</span> (-)
	<b>Coefficiente di riduzione dell'accelerazione</b>	$\beta_m$	=	0.31	(-)	
	il muro ammette spostamenti? (si/no)					Categoria di suolo
						bm = var.
	coefficiente sismico orizzontale	kh	=	0.0886	(-)	
	coefficiente sismico verticale	kv	=	0.0443	(-)	
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla parete	ka	=	0.29	(-)	0.287
	componente orizzontale	kah	=	0.264	(-)	
	componente verticale	kav	=	0.11	(-)	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas+	=	0.34	(-)	0.340
	componente orizzontale	kash+	=	0.31	(-)	
	componente verticale	kasv+	=	0.13	(-)	
Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas-	=	0.35	(-)	0.345	
componente orizzontale	kash-	=	0.32	(-)		
componente verticale	kasv-	=	0.14	(-)		

$M_t = \frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/3$       o     $\frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/2$  (con sisma)

$M_q = \frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot q \cdot h^2$

$M_{ext} = m \cdot fh$

$M_{inerzia} = \sum P_m \cdot b \cdot kh$  (solo con sisma)

$N_t = \frac{1}{2} K_{a_{vert}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2$

$N_q = K_{a_{vert}} \cdot q \cdot h$

$N_{ext} = v$

$N_{pp+inerzia} = \sum P_m \cdot (1 \pm kv)$

**condizione statica**

sezione	h	Tt	Tq	T <sub>ext</sub>	T <sub>tot</sub>
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	6.50	111.61	34.34	7.40	153.35
e-e	4.88	62.78	25.76	7.40	95.93
f-f	3.25	27.90	17.17	7.40	52.47
g-g	1.63	6.98	8.59	7.40	22.96

**condizione statica**

sezione	h	M <sub>t</sub>	M <sub>q</sub>	M <sub>ext</sub>	M <sub>tot</sub>	N <sub>t</sub>	N <sub>q</sub>	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	6.50	241.81	111.61	55.50	408.92	47.86	14.73	0.00	117.81	180.40
e-e	4.88	102.01	62.78	43.48	208.27	26.92	11.04	0.00	78.46	116.42
f-f	3.25	30.23	27.90	31.45	89.58	11.96	7.36	0.00	45.70	65.03
g-g	1.63	3.78	6.98	19.43	30.18	2.99	3.68	0.00	19.55	26.22

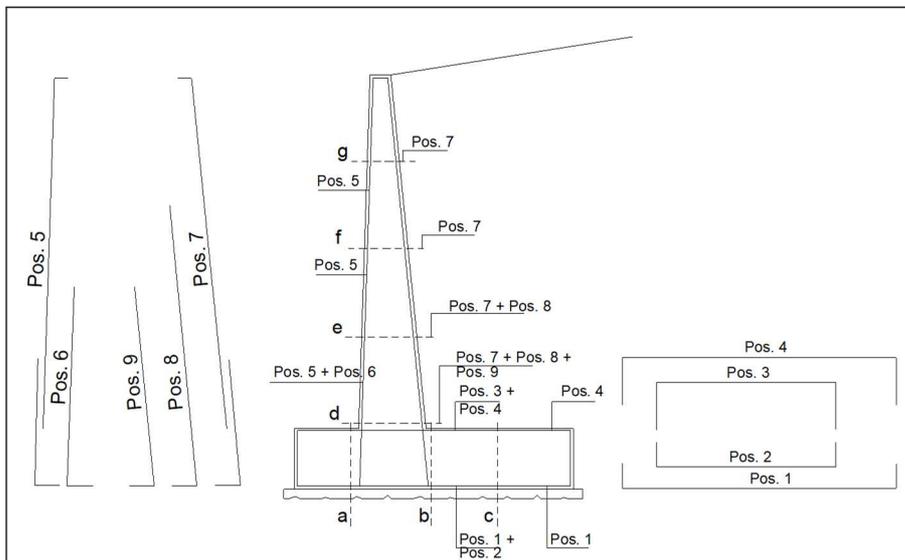
## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 72 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### SCHEMA DELLE ARMATURE

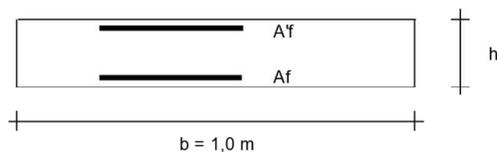


### ARMATURE

pos	n°/ml	φ	pos	n°/ml	φ
1	5.0	20	5	5.0	14
2	0.0	0	6	0.0	0
3	5.0	16	7	5.0	20
4	5.0	20	8	5.0	16
			9	0.0	0

Calcola

### VERIFICHE



a-a pos 1-2-3-4  
 b-b pos 1-2-3-4  
 c-c pos 1-4  
 d-d pos 5-6-7-8-9  
 e-e pos 5-7-8  
 f-f pos 5-7  
 g-g pos 5-7

Sez.	M (kNm)	N (kN)	Tsd (kN)	h (m)	Af (cm <sup>2</sup> )	A'f (cm <sup>2</sup> )	Mu (kNm)	NRd (kN)	TRd (kN)
(-)									
a - a	67.93	0.00	134.88	1.00	15.71	25.76	559.19	0.00	264.54
b - b	-331.18	0.00	-110.09	1.00	25.76	15.71	902.87	0.00	311.97
c - c	-138.70	0.00	153.35	1.00	15.71	15.71	559.18	0.00	264.54
d - d	408.92	180.40	95.93	1.05	25.76	7.70	1034.13	180.40	320.51
e - e	208.27	116.42	52.47	0.89	25.76	7.70	832.21	116.42	292.55
f - f	89.58	65.03	22.96	0.73	15.71	7.70	409.88	65.03	292.55

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	73 di 164

### Combinazione STATICA: A2+M2+R2

		caso	azioni		proprietà del terreno			$\gamma_B$		
			permanenti sfavorevoli	temporane e variabili sfavorevoli	tan $\phi'$	c'	$c_u$	Cap. portante	Scorrimen- to	Res.Terren o Valle
								$\gamma_B$	$\gamma_B$	$\gamma_B$
SLU	☉	caso A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	☉	<b>caso A2+M2+R2</b>	<b>1.00</b>	<b>1.30</b>	<b>1.25</b>	<b>1.25</b>	<b>1.40</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>
SLD	☉	--	1.00	1.00	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00
def.	☉	--	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

#### Dati Geotecnici (usati per verifiche di stabilità e SLU)

Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	$\phi'$	=	29.26	(°)	
	Peso Unità di Volume del terrapieno	$\gamma'$	=	20.00	(kN/m <sup>3</sup> )	
	Angolo di Inclinazione Piano di Campagna	$\epsilon$	=	0.00	(°)	
	Angolo di attrito terreno-paramento	$\delta_{muro}$	=	14.63	(°)	
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	$\delta_{sup id}$	=	14.63	(°)	
Dati Terreno Fondazione	Coesione Terreno di Fondazione	$c1'$	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )	
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	$\phi_1'$	=	29.72	(°)	
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	$\gamma_1$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )	
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	$\gamma_d$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )	
	Profondità Piano di Posizione della Fondazione	H2'	=	1.50	(m)	
	Profondità Falda	Zw	=	100.00	(m)	
Coefficienti di Spinta	Coef. di Spinta Attiva sulla superficie ideale	ka	=	0.31	(-)	0.310
	Coef. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas+	=	0.37	(-)	0.367
	Coef. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas-	=	0.37	(-)	0.373
	Coef. Di Spinta Passiva in Fondazione	kp	=	2.97	(-)	2.967
	Coef. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps+	=	2.82	(-)	2.817
	Coef. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps-	=	2.80	(-)	2.802
						Valori di Normativa

#### Carichi Agenti (usati per verifiche di stabilità e allo SLU)

Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	q	=	26.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni statiche	f	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni statiche	v	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni statiche	m	=	0.00	(kNm/m)
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	qs	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni sismiche	fs	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni sismiche	vs	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni sismiche	ms	=	0.00	(kNm/m)

### VERIFICHE GEOTECNICHE

#### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

Pm1 =	$(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	=	0.00	(kN/m)
Pm2 =	$(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cis})$	=	65.00	(kN/m)
Pm3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	=	52.81	(kN/m)
Pm4 =	$(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	=	145.00	(kN/m)
Pm5 =	$(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	=	0.00	(kN/m)
Pm =	Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5	=	262.81	(kN/m)

- Peso del terreno sulla scarpa di monte del muro (Pt)

Pt1 =	$(B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$	=	487.50	(kN/m)
Pt2 =	$(0.5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$	=	0.00	(kN/m)
Pt3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma)/2$	=	42.25	(kN/m)
Pt =	Pt1 + Pt2 + Pt3	=	529.75	(kN/m)

#### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

- Muro (Mm)

Mm1 =	$Pm1 \cdot (B1 + 2/3 B2)$	=	0.00	(kNm/m)
Mm2 =	$Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0.5 \cdot B3)$	=	78.00	(kNm/m)
Mm3 =	$Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 B4)$	=	85.38	(kNm/m)
Mm4 =	$Pm4 \cdot (B/2)$	=	420.50	(kNm/m)
Mm5 =	$Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	=	0.00	(kNm/m)
Mm =	Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5	=	583.88	(kNm/m)

- Terrapieno a tergo del muro

Mt1 =	$Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0.5 \cdot B5)$	=	1913.44	(kNm/m)
Mt2 =	$Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot (B4 + B5))$	=	0.00	(kNm/m)
Mt3 =	$Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4)$	=	77.46	(kNm/m)
Mt =	Mt1 + Mt2 + Mt3	=	1990.90	(kNm/m)

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	74 di 164

**CONDIZIONE STATICA (SLU) ( caso A2+M2+R2 )**
**SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

- Spinta totale condizione statica

$$St = 0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka = 174.65 \text{ (kN/m)}$$

$$Sq = q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka = 60.55 \text{ (kN/m)}$$

- Componente orizzontale condizione statica

$$Sth = St \cdot \cos \delta = 168.99 \text{ (kN/m)}$$

$$Sqh = Sq \cdot \cos \delta = 58.58 \text{ (kN/m)}$$

- Componente verticale condizione statica

$$Stv = St \cdot \sin \delta = 44.11 \text{ (kN/m)}$$

$$Sqv = Sq \cdot \sin \delta = 15.29 \text{ (kN/m)}$$

- Spinta passiva sul dente

$$Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot Hd^2 \cdot kp + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd = 0.00 \text{ (kN/m)}$$

**MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

- Condizione statica

$$MSt1 = Sth \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3 - Hd) = 422.48 \text{ (kNm)}$$

$$MSt2 = Stv \cdot B = 255.82 \text{ (kNm)}$$

$$MSq1 = Sqh \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd) = 219.69 \text{ (kNm)}$$

$$MSq2 = Sqv \cdot B = 88.69 \text{ (kNm)}$$

$$MSp = \gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kp / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2 = 0.00 \text{ (kNm)}$$

**MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE**

$$Mfext1 = m = 0.00 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mfext2 = f \cdot (H3 + H2) = 0.00 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mfext3 = v \cdot (B1 + B2 + B3/2) = 0.00 \text{ (kNm/m)}$$

**VERIFICA ALLO SCORRIMENTO ( caso A2+M2+R2 )**

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + v + Stv + Sqv = 851.96 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sth + Sqh + f = 227.58 \text{ (kN/m)}$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \tan \phi_1' = 0.57 \text{ (-)}$$

$$Fs = (N \cdot f + Sp) / T = 2.14 \text{ (-)} > 1$$

**VERIFICA AL RIBALTAMENTO ( caso A2+M2+R2 )**

Momento stabilizzante (Ms)

$$Ms = Mm + Mt + MSt2 + MSq2 + Mfext3 = 2919.29 \text{ (kNm/m)}$$

Momento ribaltante (Mr)

$$Mr = MSt1 + MSq1 + Mfext1 + Mfext2 + MSp = 642.17 \text{ (kNm/m)}$$

$$Fr = Ms / Mr = 4.55 \text{ (-)} > 1$$

**VERIFICA DELLA FONDAZIONE ( caso A2+M2+R2 )**

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + v + Stv + Sqv = 851.96 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sth + Sqh + f - Sp = 227.58 \text{ (kN/m)}$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = Ms - Mr = 2277.11 \text{ (kNm/m)}$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = Xc \cdot N - MM = 193.57 \text{ (kNm/m)}$$

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	75 di 164

### Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'N_c \cdot i_c + q_0 \cdot N_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma_1 \cdot B^* \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma$$

$c1'$	coesione terreno di fondaz.	=	0.00	(kPa)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	=	32.02	(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d \cdot H_2'$	sovraccarico stabilizzante	=	28.50	(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	=	0.23	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	=	5.35	(m)

I valori di  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$N_q = \tan^2(45 + \phi/2) \cdot e^{(\tan \phi \tan \phi)}$	(1 in cond. nd)	=	23.22	(-)
$N_c = (N_q - 1) / \tan \phi$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	=	35.54	(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi$	(0 in cond. nd)	=	30.29	(-)

I valori di  $i_c$ ,  $i_q$  e  $i_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

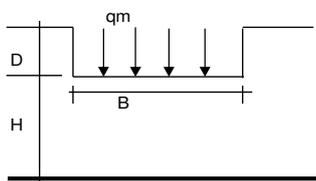
$i_q = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cot \phi))^m$	(1 in cond. nd)	=	0.54	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		=	0.52	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* \cdot c' \cot \phi))^{m+1}$		=	0.39	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	=	960.94	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	---	--------	----------------------

$$F = q_{lim} \cdot B^* / N = 6.03 \quad (-) \quad > \quad 1$$

### CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE



$$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_m \cdot B^* / E \quad (\text{Christian e Carrier, 1976})$$

Profondità Piano di Posa della Fondazione	$D =$	1.50	(m)
	$D/B^* =$	0.28	(m)
	$H/B^* =$	2.17	(m)
Carico unitario medio ( $q_m$ )	$q_m = N / (B - 2 \cdot e) = N / B^* =$	159.38	(kN/mq)
Coefficiente di forma $\mu_0 = f(D/B)$	$\mu_0 =$	0.949	(-)
Coefficiente di profondità $\mu_1 = f(H/B)$	$\mu_1 =$	0.70	(-)
Cedimento della fondazione	$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_m \cdot B^* / E =$	2.82	(mm)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 76 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

### CALCOLI STATICI - Verifica allo Stato Limite Ultimo

#### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

##### Calcestruzzo

Rck = 30 (MPa)

$\gamma_c = 2.1$

fcd = Rck /  $\gamma_{m,c}$  = 14.11 (MPa)

##### Copriferro

c = 6.40 (cm)

##### Acciaio

tipo di acciaio B450C

f<sub>yk</sub> = 450 (MPa)

$\gamma_E = 1.00$

$\gamma_S = 1.15$

f<sub>yd</sub> = f<sub>yk</sub> /  $\gamma_S$  /  $\gamma_E$  = 391.30 (MPa)

E<sub>s</sub> = 210000 (MPa)

$\epsilon_{ys} = 0.19\%$

$\epsilon_{uk} = 7.500\%$

$\epsilon_{ud} = 6.750\%$

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

##### Reazione del terreno

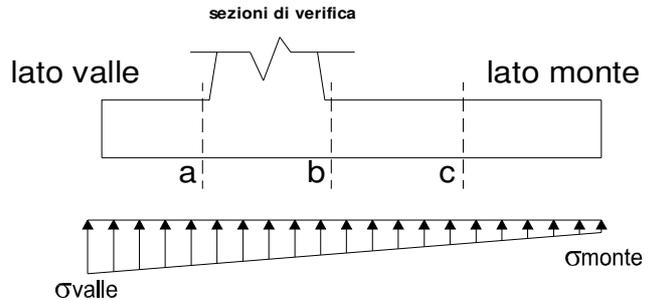
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 5.80 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 5.61 \text{ (m}^3\text{)}$$

caso	N [kN]	M [kNm]	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
statico	851.96	193.57	181.42	112.36

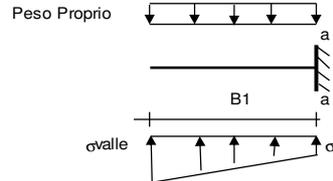


##### Mensola Lato Valle

Peso Proprio. PP = 25.00 (kN/m)

$$M_a = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$$

caso	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	M <sub>a</sub> [kNm]	T <sub>a</sub> [kN]
statico	181.42	169.51	76.22	150.46



##### Mensola Lato Monte

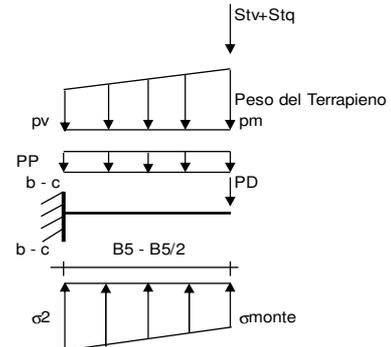
PP = 25.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
PD = 0.00 (kN/m) peso proprio soletta fondazione  
peso proprio dente

p<sub>m</sub> = 130.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
p<sub>vb</sub> = 130.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
p<sub>vc</sub> = 130.00 (kN/m<sup>2</sup>)

$$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{2b} - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 + (Stv + Sqv) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + (\sigma_{2c} - \sigma_{monte}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2)^2 / 3 + (Stv + Sqv) \cdot (B_5 / 2) \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$

caso	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{2b}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	M <sub>b</sub> [kNm]	$\sigma_{2c}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	M <sub>c</sub> [kNm]	T <sub>b</sub> [kN]
statico	112.36	157.01	-417.89	134.69	-173.24	-135.57



## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

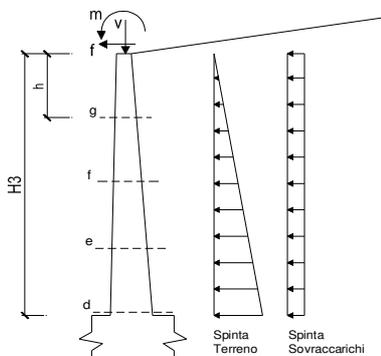
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 77 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

### CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO

#### Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo



Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_g/g$	=	0.21	(-)	S 1.39 Categoria di suolo	
	<b>Coefficiente di riduzione dell'accelerazione</b>	$\beta$	m	=	0.31		(-)
	il muro ammette spostamenti? (si/no)		<input checked="" type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	bm = var		
	coefficiente sismico orizzontale	kh	=	0.0886	(-)		
	coefficiente sismico verticale	kv	=	0.0443	(-)		
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla parete	ka	=	0.35	(-)	0.352	
	componente orizzontale	kah	=	0.331	(-)		
	componente verticale	kav	=	0.12	(-)		
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas+	=	0.41	(-)	0.411	
	componente orizzontale	kash+	=	0.39	(-)		
	componente verticale	kasv+	=	0.14	(-)		
Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas-	=	0.42	(-)	0.417		
componente orizzontale	kash-	=	0.39	(-)			
componente verticale	kasv-	=	0.14	(-)			

$$M_t = \frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot \gamma^2 (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/3$$

$$o \quad \frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot \gamma^2 (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/2 \text{ (con sisma)}$$

$$M_q = \frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot q \cdot h^2$$

$$M_{ext} = m \cdot f \cdot h$$

$$M_{inerzia} = \sum P m_i \cdot b_i \cdot kh \quad \text{(solo con sisma)}$$

$$N_t = \frac{1}{2} K_{a_{vert}} \cdot \gamma^2 (1 \pm kv) \cdot h^2$$

$$N_q = K_{a_{vert}} \cdot q \cdot h$$

$$N_{ext} = v$$

$$N_{pp+inerzia} = \sum P m_i \cdot (1 \pm kv)$$

#### condizione statica

sezione	h	Tt	Tq	T <sub>ext</sub>	T <sub>tot</sub>
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	6.50	139.64	55.86	0.00	195.49
e-e	4.88	78.55	41.89	0.00	120.44
f-f	3.25	34.91	27.93	0.00	62.84
g-g	1.63	8.73	13.96	0.00	22.69

#### condizione statica

sezione	h	Mt	Mq	M <sub>ext</sub>	M <sub>tot</sub>	Nt	Nq	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	6.50	302.55	181.53	0.00	484.08	51.76	20.70	0.00	117.81	190.28
e-e	4.88	127.64	102.11	0.00	229.75	29.12	15.53	0.00	78.46	123.10
f-f	3.25	37.82	45.38	0.00	83.20	12.94	10.35	0.00	45.70	69.00
g-g	1.63	4.73	11.35	0.00	16.07	3.24	5.18	0.00	19.55	27.96

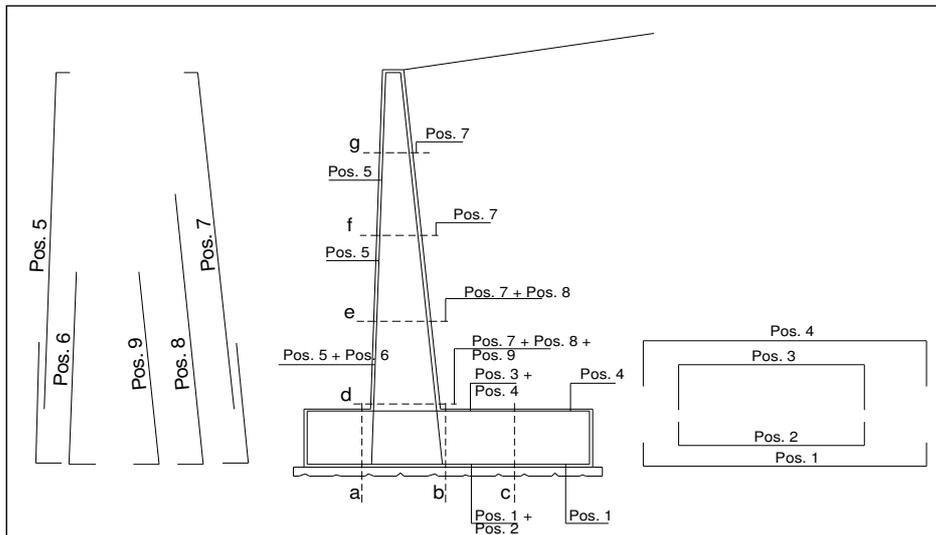
## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 78 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### SCHEMA DELLE ARMATURE

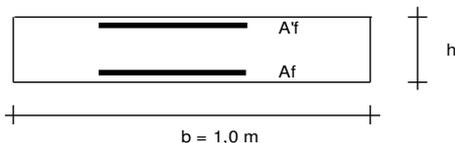


### ARMATURE

pos	n°/ml	φ	pos	n°/ml	φ
1	5.0	20	5	5.0	14
2	0.0	0	6	0.0	0
3	5.0	16	7	5.0	20
4	5.0	20	8	5.0	16
			9	0.0	0

Calcola

### VERIFICHE



a-a pos 1-2-3-4  
 b-b pos 1-2-3-4  
 c-c pos 1-4  
 d-d pos 5-6-7-8-9  
 e-e pos 5-7-8  
 f-f pos 5-7  
 g-g pos 5-7

Sez.	Msd	Nsd	Tsd	h	Af	A'f	MRd	NRd	TRd
(-)	(kNm)	(kN)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kNm)	(kN)	(kN)
a - a	76.22	0.00	150.46	1.00	15.71	25.76	559.19	0.00	264.54
b - b	-417.89	0.00	-135.57	1.00	25.76	15.71	902.87	0.00	311.97
c - c	-173.24	0.00	195.49	1.00	15.71	15.71	559.18	0.00	264.54
d - d	484.08	190.28	120.44	1.05	25.76	7.70	1038.54	190.28	320.51
e - e	229.75	123.10	62.84	0.89	25.76	7.70	834.67	123.10	292.55
f - f	83.20	69.00	22.69	0.73	15.71	7.70	411.08	69.00	292.55

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	79 di 164

### Combinazione STATICA: A2+M2+R2

SLU	Caso	coefficienti parziali								
		azioni		proprietà del terreno			$\gamma_R (R_2)$			
		permanenti sfavorevoli	temporane e variabili sfavorevoli	$\tan \phi'$	$c'$	$c_u$	Cap. portante	Scorrimento	Res. Terreno o Valle	Ribaltamento
	caso A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	<b>EQU+M2+R2</b>	<b>1.10</b>	<b>1.50</b>	<b>1.25</b>	<b>1.25</b>	<b>1.40</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.40</b>	<b>1.00</b>
SLD	--	1.00	1.00	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00	1.00
def.	--	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

#### Dati Geotecnici (usati per verifiche di stabilità e SLU)

Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	$\phi'$	=	29.26	(°)		
	Peso Unità di Volume del terrapieno	$\gamma'$	=	22.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Angolo di Inclinazione Piano di Campagna	$\epsilon$	=	0.00	(°)		
	Angolo di attrito terreno-paramento	$\delta_{muro}$	=	14.63	(°)		
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	$\delta_{sup id}$	=	14.63	(°)		
Dati Terreno Fondazione	Coesione Terreno di Fondazione	$c1'$	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )		
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	$\phi_i'$	=	29.72	(°)		
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	$\gamma_d$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	$\gamma_d$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Profondità Piano di Posa della Fondazione	H2'	=	1.50	(m)		
	Profondità Falda	Zw	=	100.00	(m)		
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla superficie ideale	ka	=	0.31	(-)	0.310	Valori di Normativa
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas+	=	0.37	(-)	0.367	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas-	=	0.37	(-)	0.373	
	Coeff. Di Spinta Passiva in Fondazione	kp	=	2.97	(-)	2.967	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps+	=	2.82	(-)	2.817	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps-	=	2.80	(-)	2.802	

#### Carichi Agenti (usati per verifiche di stabilità e allo SLU)

Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	q	=	30.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni statiche	f	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni statiche	v	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni statiche	m	=	0.00	(kNm/m)
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	qs	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni sismiche	fs	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni sismiche	vs	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni sismiche	ms	=	0.00	(kNm/m)

### VERIFICHE GEOTECNICHE

#### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

$Pm1 = (B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	=	0.00	(kN/m)
$Pm2 = (B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	=	65.00	(kN/m)
$Pm3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	=	52.81	(kN/m)
$Pm4 = (B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	=	145.00	(kN/m)
$Pm5 = (Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	=	0.00	(kN/m)
$Pm = Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5$	=	262.81	(kN/m)

- Peso del terreno sulla scarpa di monte del muro (Pt)

$Pt1 = (B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$	=	487.50	(kN/m)
$Pt2 = (0.5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$	=	0.00	(kN/m)
$Pt3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma) / 2$	=	42.25	(kN/m)
$Pt = Pt1 + Pt2 + Pt3$	=	529.75	(kN/m)

#### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

- Muro (Mm)

$Mm1 = Pm1 \cdot (B1 + 2/3 B2)$	=	0.00	(kNm/m)
$Mm2 = Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0.5 B3)$	=	78.00	(kNm/m)
$Mm3 = Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 B4)$	=	85.38	(kNm/m)
$Mm4 = Pm4 \cdot (B/2)$	=	420.50	(kNm/m)
$Mm5 = Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	=	0.00	(kNm/m)
$Mm = Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5$	=	583.88	(kNm/m)

- Terrapieno a tergo del muro

$Mt1 = Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0.5 B5)$	=	1913.44	(kNm/m)
$Mt2 = Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 (B4 + B5))$	=	0.00	(kNm/m)
$Mt3 = Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 B4)$	=	77.46	(kNm/m)
$Mt = Mt1 + Mt2 + Mt3$	=	1990.90	(kNm/m)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	80 di 164

### CONDIZIONE STATICA (SLU) ( EQU+M2+R2 )

#### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione statica

$$St = 0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka = 192.12 \text{ (kN/m)}$$

$$Sq = q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka = 69.86 \text{ (kN/m)}$$

- Componente orizzontale condizione statica

$$Sth = St \cdot \cos \delta = 185.89 \text{ (kN/m)}$$

$$Sqh = Sq \cdot \cos \delta = 67.60 \text{ (kN/m)}$$

- Componente verticale condizione statica

$$Stv = St \cdot \sin \delta = 48.52 \text{ (kN/m)}$$

$$Sqv = Sq \cdot \sin \delta = 17.64 \text{ (kN/m)}$$

- Spinta passiva sul dente

$$Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot Hd^2 \cdot kp + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd = 0.00 \text{ (kN/m)}$$

#### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Condizione statica

$$MSt1 = Sth \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3 - Hd) = 464.73 \text{ (kNm)}$$

$$MSt2 = Stv \cdot B = 281.41 \text{ (kNm)}$$

$$MSq1 = Sqh \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd) = 253.49 \text{ (kNm)}$$

$$MSq2 = Sqv \cdot B = 102.33 \text{ (kNm)}$$

$$MSp = \gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kp / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2 = 0.00 \text{ (kNm)}$$

#### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

$$Mfext1 = m = 0.00 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mfext2 = f \cdot (H3 + H2) = 0.00 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mfext3 = v \cdot (B1 + B2 + B3/2) = 0.00 \text{ (kNm/m)}$$

### VERIFICA AL RIBALTAMENTO ( EQU+M2+R2 )

Momento stabilizzante (Ms)

$$Ms = Mm + Mt + MSt2 + MSq2 + Mfext3 = 2701.03 \text{ (kNm/m)}$$

Momento ribaltante (Mr)

$$Mr = MSt1 + MSq1 + Mfext1 + Mfext2 + MSp = 718.22 \text{ (kNm/m)}$$

$$Fr = Ms / Mr = 3.76 \quad (-) \quad > \quad 1$$

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	81 di 164

### Combinazione SISMICA

		coefficienti parziali									
		caso	azioni		proprietà del terreno			$\gamma_R (R_d)$			
			permanenti sfavorevoli	temporane e variabili sfavorevoli	tan $\phi'$	c'	$c_u$	Cap.	Scorrimen	Res.Terren	Ribaltamento
								portante	to	o Valle	
							$\gamma_R$	$\gamma_R$	$\gamma_R$	$\gamma_R$	
SLU	○	caso A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	○	caso A2+M2+R2	1.00	1.30	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00	1.00
SLD	⊗	<b>Sismica</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.25</b>	<b>1.25</b>	<b>1.40</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>
def.	○	--	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

#### Dati Geotecnici (usati per verifiche di stabilità e SLU)

Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	$\phi'$	=	29.26	(°)		
	Peso Unità di Volume del terrapieno	$\gamma$	=	20.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Angolo di Inclinazione Piano di Campagna	$\epsilon$	=	0.00	(°)		
	Angolo di attrito terreno-paramento	$\delta_{muro}$	=	14.63	(°)		
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	$\delta_{sup id}$	=	14.63	(°)		
Dati Terreno Fondazione	Coesione Terreno di Fondazione	$c1'$	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )		
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	$\phi_i'$	=	29.72	(°)		
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	$\gamma_t$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	$\gamma_d$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Profondità Piano di Posa della Fondazione	H2'	=	1.50	(m)		
	Profondità Falda	Zw	=	100.00	(m)		
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla superficie ideale	ka	=	0.31	(-)	0.310	Valori di Normativa
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas+	=	0.37	(-)	0.367	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas-	=	0.37	(-)	0.373	
	Coeff. Di Spinta Passiva in Fondazione	kp	=	2.97	(-)	2.967	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps+	=	2.82	(-)	2.817	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps-	=	2.80	(-)	2.802	

#### Carichi Agenti (usati per verifiche di stabilità e allo SLU)

Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	qs	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni sismiche	fs	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni sismiche	vs	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni sismiche	ms	=	0.00	(kNm/m)

### VERIFICHE GEOTECNICHE

#### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

$Pm1 = (B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	=	0.00	(kN/m)
$Pm2 = (B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	=	65.00	(kN/m)
$Pm3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	=	52.81	(kN/m)
$Pm4 = (B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	=	145.00	(kN/m)
$Pm5 = (Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	=	0.00	(kN/m)
$Pm = Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5$	=	262.81	(kN/m)

- Peso del terreno sulla scarpa di monte del muro (Pt)

$Pt1 = (B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$	=	487.50	(kN/m)
$Pt2 = (0,5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$	=	0.00	(kN/m)
$Pt3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma) / 2$	=	42.25	(kN/m)
$Pt = Pt1 + Pt2 + Pt3$	=	529.75	(kN/m)

#### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

- Muro (Mm)

$Mm1 = Pm1 \cdot (B1 + 2/3 B2)$	=	0.00	(kNm/m)
$Mm2 = Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0,5 \cdot B3)$	=	78.00	(kNm/m)
$Mm3 = Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 B4)$	=	85.38	(kNm/m)
$Mm4 = Pm4 \cdot (B/2)$	=	420.50	(kNm/m)
$Mm5 = Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	=	0.00	(kNm/m)
$Mm = Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5$	=	583.88	(kNm/m)

- Terrapieno a tergo del muro

$Mt1 = Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0,5 \cdot B5)$	=	1913.44	(kNm/m)
$Mt2 = Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot (B4 + B5))$	=	0.00	(kNm/m)
$Mt3 = Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4)$	=	77.46	(kNm/m)
$Mt = Mt1 + Mt2 + Mt3$	=	1990.90	(kNm/m)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	82 di 164

### CONDIZIONE SISMICA +

#### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione sismica +

$$\begin{aligned} Sst1 &= 0,5 \cdot \gamma' \cdot (1 + kv) \cdot (H2 + H3 + H4 + Hd)^2 \cdot kas^+ &= & 215.52 \text{ (kN/m)} \\ Ssq1 &= qs \cdot (H2 + H3 + H4 + Hd) \cdot kas^+ &= & 0.00 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

- Componente orizzontale condizione sismica +

$$\begin{aligned} Sst1h &= Sst1 \cdot \cos \delta &= & 208.53 \text{ (kN/m)} \\ Ssq1h &= Ssq1 \cdot \cos \delta &= & 0.00 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

- Componente verticale condizione sismica +

$$\begin{aligned} Sst1v &= Sst1 \cdot \sin \delta &= & 54.43 \text{ (kN/m)} \\ Ssq1v &= Ssq1 \cdot \sin \delta &= & 0.00 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

- Spinta passiva sul dente

$$Sp = -\frac{1}{2} \cdot \gamma_1' \cdot (1 + kv) \cdot Hd^2 \cdot kps^+ + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot (1 + kv) \cdot kps^+ \cdot H2) \cdot Hd = 0.00 \text{ (kN/m)}$$

#### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Condizione sismica +

$$\begin{aligned} MSst1 &= Sst1h \cdot ((H2 + H3 + H4 + Hd) / 3 - Hd) &= & 521.34 \text{ (kN/m)} \\ MSst2 &= Sst1v \cdot B &= & 315.68 \text{ (kN/m)} \\ MSsq1 &= Ssq1h \cdot ((H2 + H3 + H4 + Hd) / 2 - Hd) &= & 0.00 \text{ (kN/m)} \\ MSsq2 &= Ssq1v \cdot B &= & 0.00 \text{ (kN/m)} \\ MSP &= \gamma_1' \cdot Hd^3 \cdot kps^+ / 3 + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot kps^+ \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2 &= & 0.00 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

#### INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO

- Inerzia del muro (Ps)

$$Ps = Pm \cdot kh = 23.30 \text{ (kN/m)}$$

- Inerzia orizzontale e verticale del terrapieno a tergo del muro (Pts)

$$\begin{aligned} Ptsh &= Pt \cdot kh &= & 46.96 \text{ (kN/m)} \\ Ptsv &= Pt \cdot kv &= & 23.48 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

- Incremento di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs)

$$\begin{aligned} MPs1 &= kh \cdot Pm1 \cdot (H2 + H3 / 3) &= & 0.00 \text{ (kNm/m)} \\ MPs2 &= kh \cdot Pm2 \cdot (H2 + H3 / 2) &= & 24.49 \text{ (kNm/m)} \\ MPs3 &= kh \cdot Pm3 \cdot (H2 + H3 / 3) &= & 14.82 \text{ (kNm/m)} \\ MPs4 &= kh \cdot Pm4 \cdot (H2 / 2) &= & 6.43 \text{ (kNm/m)} \\ MPs5 &= -kh \cdot Pm5 \cdot (Hd / 2) &= & 0.00 \text{ (kNm/m)} \\ MPs &= MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5 &= & 45.74 \text{ (kNm/m)} \end{aligned}$$

- Incremento di momento dovuto all'inerzia del terrapieno (MPts)

$$\begin{aligned} MPts1 &= kh \cdot Pt1 \cdot ((H2 + H3 / 2) - (B - B5 / 2) \cdot 0.5) &= & 98.84 \text{ (kNm/m)} \\ MPts2 &= kh \cdot Pt2 \cdot ((H2 + H3 + H4 / 3) - (B - B5 / 3) \cdot 0.5) &= & 0.00 \text{ (kNm/m)} \\ MPts3 &= kh \cdot Pt3 \cdot ((H2 + H3 \cdot 2 / 3) - (B1 + B2 + B3 + 2 / 3 \cdot B4) \cdot 0.5) &= & 15.53 \text{ (kNm/m)} \\ MPts &= MPts1 + MPts2 + MPts3 &= & 114.37 \text{ (kNm/m)} \end{aligned}$$

#### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

$$\begin{aligned} Mfext1 &= ms &= & 0.00 \text{ (kNm/m)} \\ Mfext2 &= fs \cdot (H3 + H2) &= & 0.00 \text{ (kNm/m)} \\ Mfext3 &= vs \cdot (B1 + B2 + B3 / 2) &= & 0.00 \text{ (kNm/m)} \end{aligned}$$

### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + vs + Sst1v + Ssq1v + Ptsv = 870.47 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sst1h + Ssq1h + fs + Ps + Ptsh = 278.79 \text{ (kN/m)}$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = tg \phi_1' = 0.57 \text{ (-)}$$

$$Fs = (N \cdot f + Sp) / T = 1.78 \text{ (-)} > 1$$

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + vs + Sst1v + Ssq1v + Ptsv = 870.47 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sst1h + Ssq1h + fs + Ps + Ptsh - Sp = 278.79 \text{ (kN/m)}$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = Ms - Mr = 2209.02 \text{ (kNm/m)}$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = Xc \cdot N - MM = 315.34 \text{ (kNm/m)}$$

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	83 di 164

### Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'Nc'ic + q_0Nq'iq + 0,5\gamma_1B'N\gamma'i\gamma$$

$c'1'$	coesione terreno di fondaz.	=	0.00	(kN/mq)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	=	32.02	(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d'H2'$	sovraccarico stabilizzante	=	28.50	(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	=	0.36	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	=	5.08	(m)

I valori di  $Nc$ ,  $Nq$  e  $N\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$Nq = \tan^2(45 + \phi/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \phi)}$	(1 in cond. nd)	=	23.22	(-)
$Nc = (Nq - 1) / \tan \phi$	(2 + $\pi$ in cond. nd)	=	35.54	(-)
$N\gamma = 2 \cdot (Nq + 1) \cdot \tan \phi$	(0 in cond. nd)	=	30.29	(-)

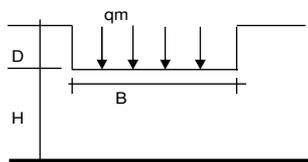
I valori di  $iq$ ,  $iq$  e  $i\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$iq = (1 - T / (N + B^*c'cot \phi))^m$	(1 in cond. nd)	=	0.46	(-)
$ic = iq - (1 - iq) / (Nq - 1)$		=	0.44	(-)
$i\gamma = (1 - T / (N + B^*c'cot \phi))^{m+1}$		=	0.31	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	=	764.43	(kN/m <sup>2</sup> )
$F = q_{lim} \cdot B^* / N$		=	4.46	(-) > 1

### CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE



$$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_m \cdot B^* / E$$

(Christian e Carrier, 1976)

Profondità Piano di Posa della Fondazione	D	1.50	(m)
	D/B*	0.30	(m)
	H/B*	2.29	(m)
Carico unitario medio (qm)	$q_m = N / (B - 2e) = N / B^*$	171.51	(kN/mq)
Coefficiente di forma $\mu_0 = f(D/B)$	$\mu_0 =$	0.948	(-)
Coefficiente di profondità $\mu_1 = f(H/B)$	$\mu_1 =$	0.72	(-)
Cedimento della fondazione	$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_m \cdot B^* / E =$	2.98	(mm)

### CONDIZIONE SISMICA -

#### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione sismica -

$$Sst2 = 0,5\gamma_1(1-kv)(H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas = 200.34 \text{ (kN/m)}$$

$$Ssq2 = qs(H2+H3+H4+Hd) \cdot kas = 0.00 \text{ (kN/m)}$$

- Componente orizzontale condizione sismica -

$$Sst2h = Sst2 \cdot \cos \delta = 193.85 \text{ (kN/m)}$$

$$Ssq2h = Ssq2 \cdot \cos \delta = 0.00 \text{ (kN/m)}$$

- Componente verticale condizione sismica -

$$Sst2v = Sst2 \cdot \sin \delta = 50.60 \text{ (kN/m)}$$

$$Ssq2v = Ssq2 \cdot \sin \delta = 0.00 \text{ (kN/m)}$$

- Spinta passiva sul dente

$$Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1' \cdot (1-kv) \cdot Hd^2 \cdot kps + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{0.5} + \gamma_1' \cdot (1-kv) \cdot kps \cdot H2) \cdot Hd = 0.00 \text{ (kN/m)}$$

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	84 di 164

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Condizione sismica -

MSst1 = Sst2h * ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)	=	484.63	(kN/m)
MSst2 = Sst2v * B	=	293.45	(kN/m)
MSsq1 = Ssq2h * ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)	=	0.00	(kN/m)
MSsq2 = Ssq2v * B	=	0.00	(kN/m)
MSp = $\gamma_1 * Hd^3 * kps / 3 + (2 * c1 * kps^{-0.5} + \gamma_1 * kps * H2) * Hd^2 / 2$	=	0.00	(kN/m)

### INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO

- Inerzia del muro (Ps)

Ps = Pm*kh	=	23.30	(kN/m)
------------	---	-------	--------

- Inerzia orizzontale e verticale del terrapieno a tergo del muro (Pts)

Ptsh = Pt*kh	=	46.96	(kN/m)
Ptsv = Pt*kv	=	-23.48	(kN/m)

- Incremento di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs)

MPs1 = kh*Pm1*(H2+H3/3)	=	0.00	(kNm/m)
MPs2 = kh*Pm2*(H2 + H3/2)	=	24.49	(kNm/m)
MPs3 = kh*Pm3*(H2+H3/3)	=	14.82	(kNm/m)
MPs4 = kh*Pm4*(H2/2)	=	6.43	(kNm/m)
MPs5 = -kh*Pm5*(Hd/2)	=	0.00	(kNm/m)
MPs = MPs1+MPs2+MPs3+MPs4+MPs5	=	45.74	(kNm/m)

- Incremento di momento dovuto all'inerzia del terrapieno (MPts)

MPts1 = kh*Pt1*((H2 + H3/2) + (B - B5/2)*0.5)	=	268.45	(kNm/m)
MPts2 = kh*Pt2*((H2 + H3 + H4/3) + (B - B5/3)*0.5)	=	0.00	(kNm/m)
MPts3 = kh*Pt3*((H2+H3*2/3)+(B1+B2+B3+2/3*B4)*0.5)	=	24.42	(kNm/m)
MPts = MPts1 + MPts2 + MPts3	=	292.87	(kNm/m)

### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

Mfext1 = ms	=	0.00	(kNm/m)
Mfext2 = fs*(H3 + H2)	=	0.00	(kNm/m)
Mfext3 = vs*(B1 + B2 + B3/2)	=	0.00	(kNm/m)

### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

N = Pm+ Pt + vs + Sst1v + Ssq1v + Ptsv	=	819.68	(kN/m)
--	---	--------	--------

Risultante forze orizzontali (T)

T = Sst1h + Ssq1h + fs+Ps + Ptsh	=	264.10	(kN/m)
----------------------------------	---	--------	--------

Coefficiente di attrito alla base (f)

f = tgφ <sup>1</sup>	=	0.57	(-)
----------------------	---	------	-----

Fs = (N*f + Sp) / T	=	1.77	(-)	>	1
---------------------	---	------	-----	---	---

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

N = Pm+ Pt + vs + Sst1v + Ssq1v + Ptsv	=	819.68	(kN/m)
--	---	--------	--------

Risultante forze orizzontali (T)

T = Sst1h + Ssq1h + fs+Ps + Ptsh - Sp	=	264.10	(kN/m)
---------------------------------------	---	--------	--------

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

MM = Ms - Mr	=	2045.00	(kNm/m)
--------------	---	---------	---------

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

M = Xc*N - MM	=	332.07	(kNm/m)
---------------	---	--------	---------

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	85 di 164

### Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'N_c'ic + q_0'N_q'iq + 0,5'\gamma_1'B'N_\gamma'i_\gamma$$

$c'1'$	coesione terreno di fondaz.	=	0.00	(kN/mq)
$\phi'1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	=	32.02	(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	=	19.00	(kN/m³)
$q_0 = \gamma'd'H_2'$	sovraccarico stabilizzante	=	28.50	(kN/m²)
$e = M / N$	eccentricità	=	0.41	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	=	4.99	(m)

I valori di  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$N_q = tg^2(45 + \phi/2) \cdot e^{(\pi \cdot tg(\phi))}$	(1 in cond. nd)	=	23.22	(-)
$N_c = (N_q - 1)/tg(\phi)$	(2+π in cond. nd)	=	35.54	(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot tg(\phi)$	(0 in cond. nd)	=	30.29	(-)

I valori di  $i_c$ ,  $i_q$  e  $i_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

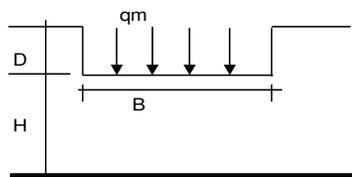
$i_q = (1 - T/(N + B \cdot c' \cotg(\phi)))^m$	(1 in cond. nd)	=	0.46	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_q - 1)$		=	0.44	(-)
$i_\gamma = (1 - T/(N + B \cdot c' \cotg(\phi)))^{m+1}$		=	0.31	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	=	751.12	(kN/m²)
-----------	--------------------------	---	--------	---------

$$F = q_{lim} \cdot B^* / N = 4.57 \quad (-) \quad > \quad 1$$

### CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE



$$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_m \cdot B^* / E \quad (\text{Christian e Carrier, 1976})$$

Profondità Piano di Posa della Fondazione

$D =$	1.50	(m)
$D/B^* =$	0.30	(m)
$H/B^* =$	2.32	(m)

Carico unitario medio ( $q_m$ )

$$q_m = N / (B - 2 \cdot e) = N / B^* = 164.27 \quad (\text{kN/mq})$$

Coefficiente di forma  $\mu_0 = f(D/B)$

$$\mu_0 = 0.948 \quad (-)$$

Coefficiente di profondità  $\mu_1 = f(H/B)$

$$\mu_1 = 0.73 \quad (-)$$

Cedimento della fondazione

$$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_m \cdot B^* / E = 2.83 \quad (\text{mm})$$

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 86 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

### CALCOLI STATICI - Verifica allo Stato Limite Ultimo

#### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

##### Calcestruzzo

Rck = 30 (MPa)  
 $\gamma_c = 2.1$   
 $f_{cd} = Rck / \gamma_{m,c} = 14.11$  (MPa)

##### Copriferro

c = 6.40 (cm)

##### Acciaio

tipo di acciaio B450C  
 $f_{yk} = 450$  (MPa)  
 $\gamma_E = 1.00$   
 $\gamma_S = 1.15$   
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S / \gamma_E = 391.30$  (MPa)  
 $E_s = 210000$  (MPa)  
 $\epsilon_{ys} = 0.19\%$   
 $\epsilon_{uk} = 7.500\%$   
 $\epsilon_{ud} = 6.750\%$

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

##### Reazione del terreno

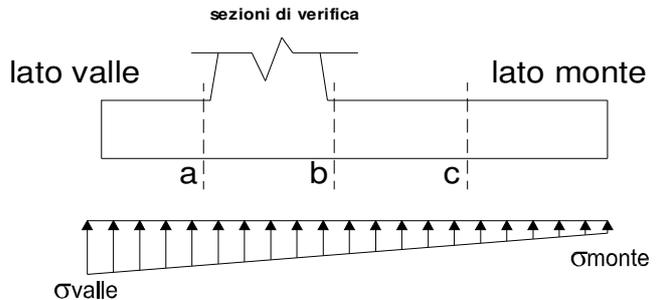
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 5.80 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 5.61 \text{ (m}^3\text{)}$$

caso	N [kN]	M [kNm]	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
sisma+	870.47	315.34	206.32	93.84
sisma-	819.68	332.07	200.55	82.10

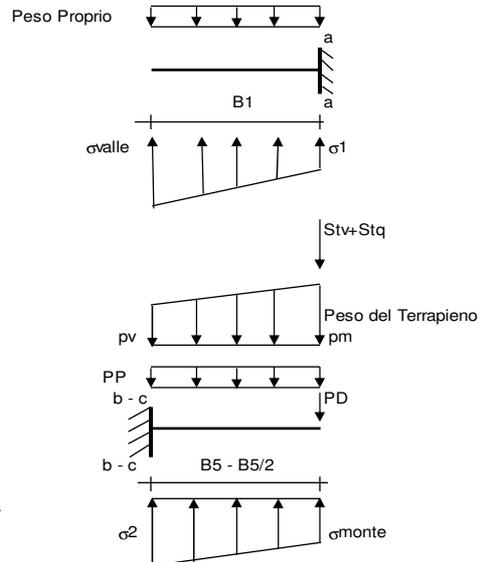


##### Mensola Lato Valle

Peso Proprio. PP = 25.00 (kN/m)

$$M_a = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$$

caso	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$M_a$ [kNm]	$T_a$ [kN]
sisma+	206.32	186.93	86.88	170.52
sisma-	200.55	180.13	84.93	163.04



##### Mensola Lato Monte

PP = 25.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
 PD = 0.00 (kN/m)  
 peso proprio soletta fondazione  
 peso proprio dente

pm = 130.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
 pvb = 130.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
 pvc = 130.00 (kN/m<sup>2</sup>)

$$M_b = (\sigma_{monte} - (pvb + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (pm - pvb) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 - (Stv + Sqv) \cdot B^2 - PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B^2 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2 / 2) + Msp + Sp \cdot H2 / 2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (pvc + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B^2 / 2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B^2 / 2)^2 / 6 - (pm - pvc) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B^2 / 2)^2 / 3 - (Stv + Sqv) \cdot (B^2 / 2) - PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B^2 / 2 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2 / 2) + Msp + Sp \cdot H2 / 2$$

caso	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$M_b$ [kNm]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$M_c$ [kNm]	$T_b$ [kN]
sisma+	93.84	166.57	-512.00	130.20	-200.33	-173.18
sisma-	82.10	158.68	-474.54	120.39	-188.51	-154.62

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

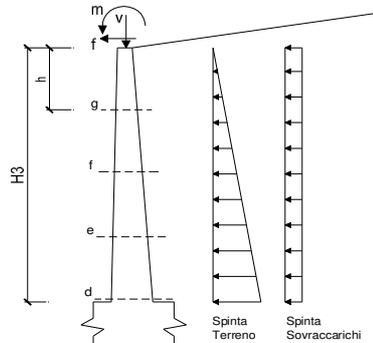
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	87 di 164

### CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO

#### Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo



Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_g/g$	=	0.21	(-)	S 1.39 Categoria di suolo
	<b>Coefficiente di riduzione dell'accelerazione</b>	$\beta$	=	0.31	(-)	
	il muro ammette spostamenti? (si/no)		<input checked="" type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	bm = var.	
	coefficiente sismico orizzontale	kh	=	0.0886	(-)	
Coefficienti di Spinta	coefficiente sismico verticale	kv	=	0.0443	(-)	0.352
	Coeff. di Spinta Attiva sulla parete	ka	=	0.35	(-)	
	componente orizzontale	kah	=	0.331	(-)	0.411
	componente verticale	kav	=	0.12	(-)	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas+	=	0.41	(-)	0.417
	componente orizzontale	kash+	=	0.39	(-)	
	componente verticale	kasv+	=	0.14	(-)	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas-	=	0.42	(-)	0.417
	componente orizzontale	kash-	=	0.39	(-)	
	componente verticale	kasv-	=	0.14	(-)	

$$M_t = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma' (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/3$$

$$\text{o } \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma' (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/2 \text{ (con sisma)}$$

$$M_q = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot q \cdot h^2$$

$$M_{ext} = m \cdot f \cdot h$$

$$M_{inerzia} = \Sigma P_m \cdot b \cdot kh \quad (\text{solo con sisma})$$

$$N_t = \frac{1}{2} K_{a_{vert.}} \cdot \gamma' (1 \pm kv) \cdot h^2$$

$$N_q = K_{a_{vert.}} \cdot q \cdot h$$

$$N_{ext} = v$$

$$N_{pp+inerzia} = \Sigma P_m \cdot (1 \pm kv)$$

condizione sismica +

sezione	h [m]	Tt [kN/m]	Tq [kN/m]	T <sub>ext</sub> [kN/m]	T <sub>inerzia</sub> [kN/m]	T <sub>tot</sub> [kN/m]
d-d	6.50	169.99	0.00	0.00	10.44	180.44
e-e	4.88	95.62	0.00	0.00	6.95	102.58
f-f	3.25	42.50	0.00	0.00	4.05	46.55
g-g	1.63	10.62	0.00	0.00	1.73	12.36

condizione sismica +

sezione	h [m]	Mt [kNm/m]	Mq [kNm/m]	M <sub>ext</sub> [kNm/m]	M <sub>inerzia</sub> [kNm/m]	M <sub>tot</sub> [kNm/m]	Nt [kN/m]	Nq [kN/m]	N <sub>ext</sub> [kN/m]	N <sub>pp+inerzia</sub> [kN/m]	N <sub>tot</sub> [kN/m]
d-d	6.50	552.48	0.00	0.00	28.87	581.35	63.01	0.00	0.00	123.03	186.05
e-e	4.88	233.08	0.00	0.00	14.81	247.89	35.44	0.00	0.00	81.93	117.38
f-f	3.25	69.06	0.00	0.00	5.95	75.01	15.75	0.00	0.00	47.73	63.48
g-g	1.63	8.63	0.00	0.00	1.33	9.96	3.94	0.00	0.00	20.42	24.36

condizione sismica -

sezione	h [m]	Mt [kNm/m]	Mq [kNm/m]	M <sub>ext</sub> [kNm/m]	M <sub>inerzia</sub> [kNm/m]	M <sub>tot</sub> [kNm/m]	Nt [kN/m]	Nq [kN/m]	N <sub>ext</sub> [kN/m]	N <sub>pp+inerzia</sub> [kN/m]	N <sub>tot</sub> [kN/m]
d-d	6.50	512.99	0.00	0.00	28.87	541.86	58.51	0.00	0.00	112.59	171.10
e-e	4.88	216.42	0.00	0.00	14.81	231.23	32.91	0.00	0.00	74.98	107.89
f-f	3.25	64.12	0.00	0.00	5.95	70.07	14.63	0.00	0.00	43.68	58.30
g-g	1.63	8.02	0.00	0.00	1.33	9.34	3.66	0.00	0.00	18.68	22.34

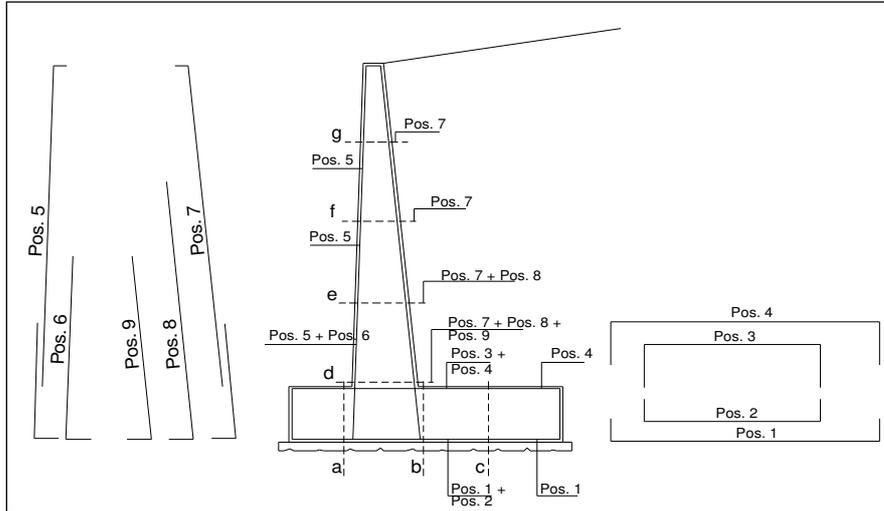
## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 88 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### SCHEMA DELLE ARMATURE

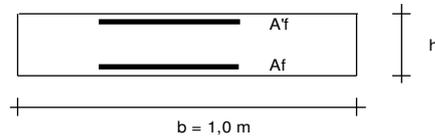


### ARMATURE

pos	n°/ml	φ	pos	n°/ml	φ
1	5.0	20	5	5.0	14
2	0.0	0	6	0.0	0
3	5.0	16	7	5.0	20
4	5.0	20	8	5.0	16
			9	0.0	0

Calcola

### VERIFICHE



a-a	pos 1-2-3-4
b-b	pos 1-2-3-4
c-c	pos 1-4
d-d	pos 5-6-7-8-9
e-e	pos 5-7-8
f-f	pos 5-7
g-g	pos 5-7

Sez.	Msd (kNm)	Nsd (kN)	Tsd (kN)	h (m)	Af (cm <sup>2</sup> )	A'f (cm <sup>2</sup> )	MRd (kNm)	NRd (kN)	TRd (kN)
(-)									
a - a	86.88	0.00	143.88	1.00	15.71	25.76	559.19	0.00	264.54
b - b	-512.00	0.00	-124.76	1.00	25.76	15.71	902.87	0.00	311.97
c - c	-200.33	0.00	10.44	1.00	15.71	15.71	559.18	0.00	264.54
d - d	581.35	186.05	6.95	1.05	25.76	7.70	1036.65	186.05	320.51
e - e	247.89	117.38	4.05	0.89	25.76	7.70	832.56	117.38	292.55
f - f	75.01	63.48	1.73	0.73	15.71	7.70	409.41	63.48	292.55

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	89 di 164

### Combinazione SLE e a Fessurazione

	caso	coefficienti parziali		proprietà del terreno			$\gamma_R$		
		azioni		tan $\phi'$	c'	$c_u$	Cap. portante	Scorrimento	Res.Terreno Valle
		permanenti sfavorevoli	temporane e variabili sfavorevoli						
SLU	caso A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	EQU+M2	1.10	1.50	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00
SLD	--	1.00	1.00	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00
def.	<b>SLE</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>

#### Dati Geotecnici (usati per verifiche di stabilità e SLU)

Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	$\phi'$	=	35.00	(°)		
	Peso Unità di Volume del terrapieno	$\gamma'$	=	20.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Angolo di Inclinazione Piano di Campagna	$\epsilon$	=	0.00	(°)		
	Angolo di attrito terreno-paramento	$\delta_{muro}$	=	17.50	(°)		
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	$\delta_{sup id}$	=	17.50	(°)		
Dati Terreno Fondazione	Coesione Terreno di Fondazione	$c_1'$	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )		
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	$\phi_1'$	=	35.52	(°)		
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	$\gamma_1$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	$\gamma_d$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Profondità Piano di Posa della Fondazione	H2'	=	1.50	(m)		
	Profondità Falda	Zw	=	100.00	(m)		
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla superficie ideale	ka	=	0.25	(-)	0.246	Valori di Normativa
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas+	=	0.30	(-)	0.296	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas-	=	0.30	(-)	0.301	
	Coeff. Di Spinta Passiva in Fondazione	kp	=	3.77	(-)	3.772	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps+	=	3.60	(-)	3.604	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps-	=	3.59	(-)	3.588	

#### Carichi Agenti (usati per verifiche di stabilità e allo SLU)

Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	q	=	20.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni statiche	f	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni statiche	v	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni statiche	m	=	0.00	(kNm/m)
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	qs	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni sismiche	fs	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni sismiche	vs	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni sismiche	ms	=	0.00	(kNm/m)

### VERIFICHE GEOTECNICHE

#### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

$Pm1 = (B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	=	0.00	(kN/m)
$Pm2 = (B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	=	65.00	(kN/m)
$Pm3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	=	52.81	(kN/m)
$Pm4 = (B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	=	145.00	(kN/m)
$Pm5 = (Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	=	0.00	(kN/m)
$Pm = Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5$	=	262.81	(kN/m)

- Peso del terreno sulla scarpa di monte del muro (Pt)

$Pt1 = (B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$	=	487.50	(kN/m)
$Pt2 = (0.5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$	=	0.00	(kN/m)
$Pt3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma)/2$	=	42.25	(kN/m)
$Pt = Pt1 + Pt2 + Pt3$	=	529.75	(kN/m)

#### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

- Muro (Mm)

$Mm1 = Pm1 \cdot (B1 + 2/3 B2)$	=	0.00	(kNm/m)
$Mm2 = Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0.5 B3)$	=	78.00	(kNm/m)
$Mm3 = Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 B4)$	=	85.38	(kNm/m)
$Mm4 = Pm4 \cdot (B/2)$	=	420.50	(kNm/m)
$Mm5 = Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	=	0.00	(kNm/m)
$Mm = Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5$	=	583.88	(kNm/m)

- Terrapieno a tergo del muro

$Mt1 = Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0.5 B5)$	=	1913.44	(kNm/m)
$Mt2 = Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 (B4 + B5))$	=	0.00	(kNm/m)
$Mt3 = Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 B4)$	=	77.46	(kNm/m)
$Mt = Mt1 + Mt2 + Mt3$	=	1990.90	(kNm/m)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	90 di 164

### **VERIFICA A FESSURAZIONE - CALCOLO SOLLECITAZIONI**

#### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

$Pm1 = (B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	=	0.00	(kN/m)
$Pm2 = (B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	=	65.00	(kN/m)
$Pm3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	=	52.81	(kN/m)
$Pm4 = (B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	=	145.00	(kN/m)
$Pm5 = (Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	=	0.00	(kN/m)
$Pm = Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5$	=	262.81	(kN/m)

- Peso del terreno sulla scarpa di monte del muro (Pt)

$Pt1 = (B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$	=	487.50	(kN/m)
$Pt2 = (0,5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$	=	0.00	(kN/m)
$Pt3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma) / 2$	=	42.25	(kN/m)
$Pt = Pt1 + Pt2 + Pt3$	=	529.75	(kN/m)

#### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

- Muro (Mm)

$Mm1 = Pm1 \cdot (B1 + 2/3 B2)$	=	0.00	(kNm/m)
$Mm2 = Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0,5 \cdot B3)$	=	78.00	(kNm/m)
$Mm3 = Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 B4)$	=	85.38	(kNm/m)
$Mm4 = Pm4 \cdot (B/2)$	=	420.50	(kNm/m)
$Mm5 = Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	=	0.00	(kNm/m)
$Mm = Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5$	=	583.88	(kNm/m)

- Terrapieno a tergo del muro

$Mt1 = Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0,5 \cdot B5)$	=	1913.44	(kNm/m)
$Mt2 = Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot (B4 + B5))$	=	0.00	(kNm/m)
$Mt3 = Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4)$	=	77.46	(kNm/m)
$Mt = Mt1 + Mt2 + Mt3$	=	1990.90	(kNm/m)

**CONDIZIONE STATICA (SLE e FESSURAZIONE)**
**SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

Spinta totale condizione statica

$$St = 0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka = 138.44 \quad (\text{kN/m})$$

$$Sq = q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka = 36.92 \quad (\text{kN/m})$$

componente orizzontale condizione statica

$$Sth = St \cdot \cos \delta = 132.04 \quad (\text{kN/m})$$

$$Sqh = Sq \cdot \cos \delta = 35.21 \quad (\text{kN/m})$$

componente verticale condizione statica

$$Stv = St \cdot \sin \delta = 41.63 \quad (\text{kN/m})$$

$$Sqv = Sq \cdot \sin \delta = 11.10 \quad (\text{kN/m})$$

Spinta passiva sul dente

$$Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot Hd^2 \cdot kp + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd = 0.00 \quad (\text{kN/m})$$

**MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

condizione statica

$$MSt1 = Sth \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3 - Hd) = 330.09 \quad (\text{kN/m})$$

$$MSt2 = Stv \cdot B = 241.46 \quad (\text{kN/m})$$

$$MSq1 = Sqh \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd) = 132.04 \quad (\text{kN/m})$$

$$MSq2 = Sqv \cdot B = 64.39 \quad (\text{kN/m})$$

$$MSp = \gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kp / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2 = 0.00 \quad (\text{kN/m})$$

**FORZE ESTERNE**

Momento dovuto alle Forze Esterne (Mfext)

$$Mfext1 = m = 0.00 \quad (\text{kNm/m})$$

$$Mfext2 = f \cdot (H3 + H2) = 0.00 \quad (\text{kNm/m})$$

$$Mfext3 = v \cdot (B1 + B2 + B3/2) = 0.00 \quad (\text{kNm/m})$$

**AZIONI TOTALI SULLA FONDAZIONE**

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + v + Stv + Sqv = 845.30 \quad (\text{kN/m})$$

Momento stabilizzante (Ms)

$$Ms = Mm + Mt + MSt2 + MSq2 + Mfext3 = 2880.62 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$Mr = MSt1 + MSq1 + Mfext1 + Mfext2 + MSp = 462.13 \quad (\text{kNm/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = Ms - Mr = 2418.50 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = Xc \cdot N - MM = 32.86 \quad (\text{kNm/m})$$

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 92 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

### CALCOLI STATICI

#### DATI DI PROGETTO:

##### Caratteristiche dei Materiali

##### Calcestruzzo

Rck = 30 (MPa)

fctm = 0.30\*(0.83\*Rck)<sup>2</sup> = 2.56 (MPa)

coefficiente omogeneizzazione acciaio n = 15

##### Copriferro (distanza asse armatura-bordo)

c = 6.20 (cm)

##### Copriferro minimo di normativa (ricoprimento armatura)

c<sub>min</sub> = 2.00 (cm)

##### Valore limite di apertura delle fessure

w1 = 0.2

##### Acciaio

tipo di acciaio B450C

f<sub>yk</sub> = 450 (MPa)

E<sub>s</sub> = 210000 (MPa)

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

##### Reazione del terreno

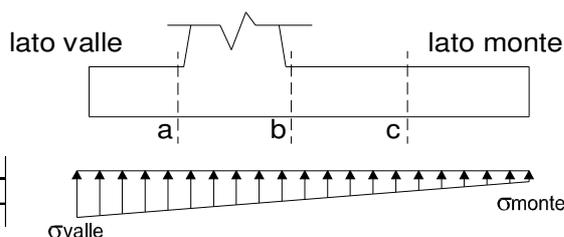
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = b \cdot h = 5.80 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$W_{gg} = b \cdot h^2 / 6 = 5.61 \text{ (m}^3\text{)}$$

caso	N [kN]	M [kNm]	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
statico	845.30	32.86	151.60	139.88

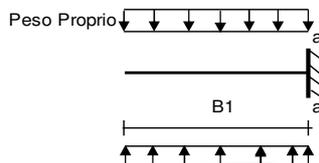


##### Mensola Lato Valle - Schema Statico

PP = 25.00 (kN/m) peso proprio soletta fondazione

$$M_a = \sigma_1 \cdot B_1^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B_1^2 / 3 - PP \cdot B_1^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$$

caso	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	M <sub>a</sub> [kNm]
statico	151.60	149.58	62.96



##### Mensola Lato Monte - Schema Statico

PP = 25.00 (kN/m<sup>2</sup>) peso proprio soletta fondazione

PD = 0.00 (kN/m) peso proprio dente

pm = 130.00 (kN/m<sup>2</sup>)

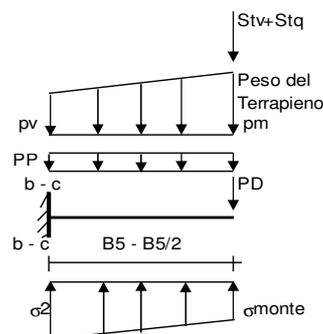
pvb = 130.00 (kN/m<sup>2</sup>)

pvc = 130.00 (kN/m<sup>2</sup>)

$$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B_5^2 / 2 + (\sigma_2 b - \sigma_{monte}) \cdot B_5^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B_5^2 / 3 - (Stv + Sqv) \cdot B_5 - PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + (\sigma_2 c - \sigma_{monte}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2)^2 / 3 - (Stv + Sqv) \cdot (B_5 / 2) - PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$

caso	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2 b$ [kN/m <sup>2</sup> ]	M <sub>b</sub> [kNm]	$\sigma_2 c$ [kN/m <sup>2</sup> ]	M <sub>c</sub> [kNm]
statico	139.88	147.46	-286.30	143.67	-123.23



## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

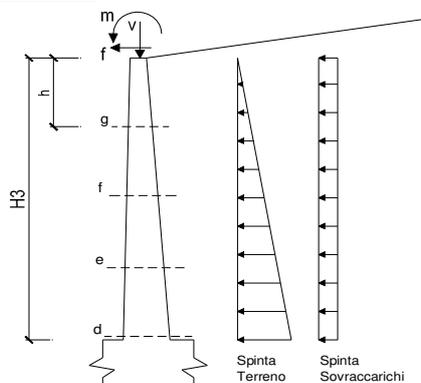
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	93 di 164

### CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO

#### Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo



Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_g/g$	=	0.21	(-)	S	=	1.39
	<b>Coefficiente di riduzione dell'accelerazione</b>	$\beta$	=	0.31	(-)	Categoria di suolo		
	il muro ammette spostamenti? (si/no)	<input checked="" type="radio"/> si <input type="radio"/> no				bm = var.		
	coefficiente sismico orizzontale	kh	=	0.0886	(-)			
	coefficiente sismico verticale	kv	=	0.0443	(-)			
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla parete	ka	=	0.29	(-)	0.287		
	componente orizzontale	kah	=	0.26	(-)			
	componente verticale	kav	=	0.11	(-)			
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas+	=	0.34	(-)	0.340		
	componente orizzontale	kash+	=	0.31	(-)			
	componente verticale	kasv+	=	0.13	(-)			
Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas-	=	0.35	(-)	0.345			
componente orizzontale	kash-	=	0.32	(-)				
componente verticale	kasv-	=	0.14	(-)				

#### condizione statica

sezione	h	Mt	Mq	M <sub>ext</sub>	M <sub>tot</sub>	Nt	Nq	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	6.50	241.81	111.61	0.00	353.42	47.86	14.73	0.00	117.81	180.40
e-e	4.88	102.01	62.78	0.00	164.79	26.92	11.04	0.00	78.46	116.42
f-f	3.25	30.23	27.90	0.00	58.13	11.96	7.36	0.00	45.70	65.03
g-g	1.63	3.78	6.98	0.00	10.75	2.99	3.68	0.00	19.55	26.22

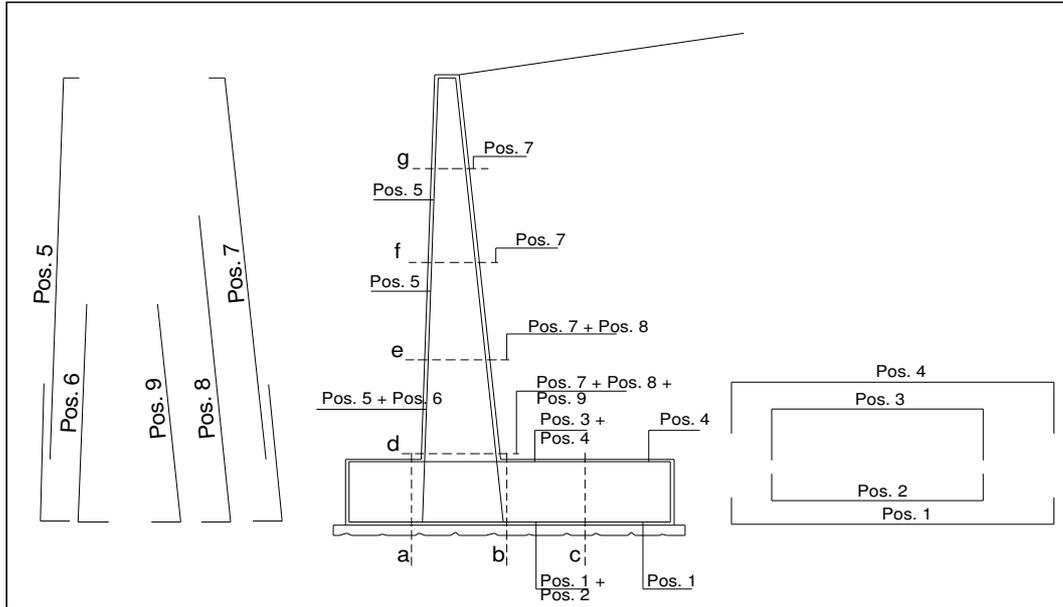
## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 94 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### SCHEMA DELLE ARMATURE

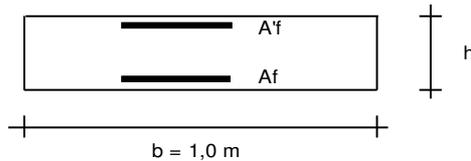


### ARMATURE

pos	n°/ml	φ	pos	n°/ml	φ
1	5.0	20	5	5.0	14
2	0.0	0	6	0.0	0
3	5.0	16	7	5.0	20
4	5.0	20	8	5.0	16
			9	0.0	0

Calcola

### VERIFICHE



a-a pos 1-2-3-4  
 b-b pos 1-2-3-4  
 c-c pos 1-4  
 d-d pos 5-6-7-8-9  
 e-e pos 5-7-8  
 f-f pos 5-7  
 g-g pos 5-7

### Condizione Statica

Sez.	M	N	h	Af	Af'	σ <sup>c</sup>	σ <sup>f</sup>	wk	w <sub>amm</sub>
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)
a - a	62.96	0.00	1.00	15.71	25.76	0.66	45.51	0.060	0.200
b - b	-286.30	0.00	1.00	25.76	15.71	2.61	128.28	0.126	0.200
c - c	-123.23	0.00	1.00	15.71	15.71	1.36	89.24	0.118	0.200
d - d	353.42	180.40	1.05	25.76	7.70	3.22	119.48	0.117	0.200
e - e	164.79	116.42	0.89	25.76	7.70	2.02	64.65	0.063	0.200
f - f	58.13	65.03	0.73	15.71	7.70	1.20	41.50	0.045	0.200

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

**N.B.** La condizione statica si assume come azione di lunga durata o ripetuta ( $\beta_2=0.5$ ),

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

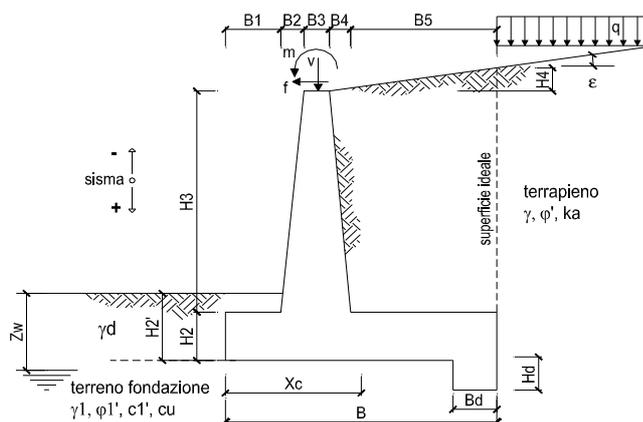
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	95 di 164

### 1.2 TABULATI MURO SEZIONE H= 5.50 M

Combinazione STATICA: A1+M1+R1



OPERA Hmuro = 5.50 m

DATI DI PROGETTO:

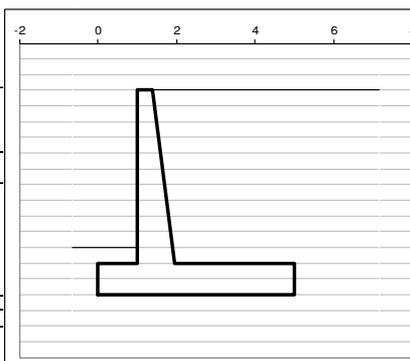
#### Geometria del Muro

Elevazione	H3 =	5.50	(m)
Aggetto Valle	B2 =	0.00	(m)
Spessore del Muro in Testa	B3 =	0.40	(m)
Aggetto monte	B4 =	0.55	(m)

#### Geometria della Fondazione

Larghezza Fondazione	B =	5.00	(m)
Spessore Fondazione	H2 =	1.00	(m)
Suola Lato Valle	B1 =	1.00	(m)
Suola Lato Monte	B5 =	3.05	(m)
Altezza dente	Hd =	0.00	(m)
Larghezza dente	Bd =	0.00	(m)
Mezzzeria Sezione	Xc =	2.50	(m)

Peso Specifico del Calcestruzzo	gamma_cis =	25.00	(kN/m <sup>3</sup> )
---------------------------------	-------------	-------	----------------------



#### Dati Geotecnici

Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	phi' =	35.00	(°)	
	Peso Unità di Volume del terrapieno	gamma =	20.00	(kN/m <sup>3</sup> )	
	Angolo di inclinazione Piano di Campagna	epsilon =	0.00	(°)	
	Angolo di attrito terreno-paramento	delta_muro =	17.50	(°)	
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	delta_sup_id =	17.50	(°)	
Dati Terreno Fondazione	Condizioni	<input checked="" type="radio"/> drenate	<input type="radio"/> Non Drenate		
	Coesione Terreno di Fondazione	c1' =	0.00	(kPa)	
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione (tan phi'_m = 0.85 * tan phi'_p)	phi'_m =	35.52	(°)	phi'_m = 40
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	gamma_t =	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )	
	Peso Unità di Volume del Rinterro di Fondazione	gamma_d =	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )	
	Profondità Piano di Posa della Fondazione	H2' =	1.50	(m)	
	Profondità Falda	Zw =	100.00	(m)	
	Profondità "Significativa" (n.b.: consigliata H = 2*B)	Hs =	10.00	(m)	
	Modulo di deformazione	E =	200000	(kN/m <sup>2</sup> )	
Dati Sismici	Accelerazione sismica	a_g/g =	0.2060	(-)	S = 1.388
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione	beta_m =	0.31	(-)	Coefficiente Categoria di:
	il muro è libero di ruotare al piede? (si/no)	<input checked="" type="radio"/> si	<input type="radio"/> no		
	il muro ammette spostamenti? (si/no)	<input checked="" type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	beta_m = Var.	
	coefficiente sismico orizzontale	kh =	0.0886	(-)	
	coefficiente sismico verticale	kv =	0.0443	(-)	
Coefficienti di Spinta	Coef. di Spinta Attiva sulla superficie ideale	ka =	0.25	(-)	0.246
	Coef. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale sisma +	kas+ =	0.30	(-)	0.296
	Coef. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale sisma -	kas- =	0.30	(-)	0.301
	Coef. Di Spinta Passiva in Fondazione	kp =	3.77	(-)	3.772
	Coef. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione sisma +	kps+ =	3.60	(-)	3.604
	Coef. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione sisma -	kps- =	3.59	(-)	3.588

#### Carichi Agenti

Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	q =	20.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni statiche	f =	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni statiche	v =	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni statiche	m =	0.00	(kNm/m)
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	qs =	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni sismiche	fs =	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni sismiche	vs =	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni sismiche	ms =	0.00	(kNm/m)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	96 di 164

coefficienti parziali										
SLU	●	caso	azioni		proprietà del terreno			$\gamma_R$		
			permanenti sfavorevoli	temporane e variabili sfavorevoli	tan $\phi'$	c'	c <sub>u</sub>	Cap.	Scorrimen	Res. Terreno
								portante	to	Valle
							$\gamma_R$	$\gamma_R$	$\gamma_R$	
		caso A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		caso A2+M2+R2	1.00	1.30	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00
SLD	○	--	1.00	1.00	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00
def.	○	--	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

### Dati Geotecnici (usati per verifiche di stabilità e SLU)

Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	$\phi'$	=	35.00	(°)		
	Peso Unità di Volume del terrapieno	$\gamma'$	=	26.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Angolo di Inclinazione Piano di Campagna	$\epsilon$	=	0.00	(°)		
	Angolo di attrito terreno-paramento	$\delta_{muro}$	=	17.50	(°)		
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	$\delta_{sup id}$	=	17.50	(°)		
Dati Terreno Fondazione	Coesione Terreno di Fondazione	c1'	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )		
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	$\phi_1'$	=	35.52	(°)		
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	$\gamma_1$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Peso Unità di Volume del Rinterrato della Fondazione	$\gamma_d$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Profondità Piano di Posizione della Fondazione	H2'	=	1.50	(m)		
	Profondità Falda	Zw	=	100.00	(m)		
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla superficie ideale	ka	=	0.25	(-)	0.246	Valori di Normativa
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas+	=	0.30	(-)	0.296	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas-	=	0.30	(-)	0.301	
	Coeff. Di Spinta Passiva in Fondazione	kp	=	3.77	(-)	3.772	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps+	=	3.60	(-)	3.604	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps-	=	3.59	(-)	3.588	

### Carichi Agenti (usati per verifiche di stabilità e allo SLU)

Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	q	=	30.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni statiche	f	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni statiche	v	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni statiche	m	=	0.00	(kNm/m)
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	qs	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni sismiche	fs	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni sismiche	vs	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni sismiche	ms	=	0.00	(kNm/m)

## VERIFICHE GEOTECNICHE

### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

Pm1 =	$(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	=	0.00	(kN/m)
Pm2 =	$(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	=	55.00	(kN/m)
Pm3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	=	37.81	(kN/m)
Pm4 =	$(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	=	125.00	(kN/m)
Pm5 =	$(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	=	0.00	(kN/m)
Pm =	Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5	=	217.81	(kN/m)

- Peso del terreno sulla scarpa di monte del muro (Pt)

Pt1 =	$(B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$	=	335.50	(kN/m)
Pt2 =	$(0,5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$	=	0.00	(kN/m)
Pt3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma) / 2$	=	30.25	(kN/m)
Pt =	Pt1 + Pt2 + Pt3	=	365.75	(kN/m)

### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

- Muro (Mm)

Mm1 =	$Pm1 \cdot (B1 + 2/3 B2)$	=	0.00	(kNm/m)
Mm2 =	$Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0,5 B3)$	=	66.00	(kNm/m)
Mm3 =	$Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 B4)$	=	59.87	(kNm/m)
Mm4 =	$Pm4 \cdot (B/2)$	=	312.50	(kNm/m)
Mm5 =	$Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	=	0.00	(kNm/m)
Mm =	Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5	=	438.37	(kNm/m)

- Terrapieno a tergo del muro

Mt1 =	$Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0,5 B5)$	=	1165.86	(kNm/m)
Mt2 =	$Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 (B4 + B5))$	=	0.00	(kNm/m)
Mt3 =	$Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 B4)$	=	53.44	(kNm/m)
Mt =	Mt1 + Mt2 + Mt3	=	1219.30	(kNm/m)

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	97 di 164

**CONDIZIONE STATICA (SLU) ( caso A1+M1+R1 )**
**SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

- Spinta totale condizione statica

$$St = 0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka = 179,98 \text{ (kN/m)}$$

$$Sq = q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka = 27,69 \text{ (kN/m)}$$

- Componente orizzontale condizione statica

$$Sth = St \cdot \cos \delta = 171,65 \text{ (kN/m)}$$

$$Sqh = Sq \cdot \cos \delta = 26,41 \text{ (kN/m)}$$

- Componente verticale condizione statica

$$Stv = St \cdot \sin \delta = 54,12 \text{ (kN/m)}$$

$$Sqv = Sq \cdot \sin \delta = 8,33 \text{ (kN/m)}$$

- Spinta passiva sul dente

$$Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot Hd^2 \cdot kp + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0,5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd = 0,00 \text{ (kN/m)}$$

**MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

- Condizione statica

$$MSt1 = Sth \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3 - Hd) = 429,12 \text{ (kNm)}$$

$$MSt2 = Stv \cdot B = 297,66 \text{ (kNm)}$$

$$MSq1 = Sqh \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd) = 99,03 \text{ (kNm)}$$

$$MSq2 = Sqv \cdot B = 45,79 \text{ (kNm)}$$

$$MSp = \gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kp / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0,5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2 = 0,00 \text{ (kNm)}$$

**MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE**

$$Mfext1 = m = 0,00 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mfext2 = f \cdot (H3 + H2) = 0,00 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mfext3 = v \cdot (B1 + B2 + B3/2) = 0,00 \text{ (kNm/m)}$$

**VERIFICA ALLO SCORRIMENTO ( caso A1+M1+R1 )**

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + v + Stv + Sqv = 808,51 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sth + Sqh + f = 198,05 \text{ (kN/m)}$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \tan \phi_1' = 0,71 \text{ (-)}$$

$$Fs = (N \cdot f + Sp) / T = 2,91 \text{ (-)} > 1$$

**VERIFICA AL RIBALTAMENTO ( caso A1+M1+R1 )**

Momento stabilizzante (Ms)

$$Ms = Mm + Mt + MSt2 + MSq2 + Mfext3 = 2655,51 \text{ (kNm/m)}$$

Momento ribaltante (Mr)

$$Mr = MSt1 + MSq1 + Mfext1 + Mfext2 + MSp = 528,15 \text{ (kNm/m)}$$

$$Fr = Ms / Mr = 5,03 \text{ (-)} > 1$$

**VERIFICA DELLA FONDAZIONE ( caso A1+M1+R1 )**

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + v + Stv + Sqv = 808,51 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sth + Sqh + f - Sp = 198,05 \text{ (kN/m)}$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = Ms - Mr = 2127,36 \text{ (kNm/m)}$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = Xc \cdot N - MM = 96,04 \text{ (kNm/m)}$$

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	98 di 164

### Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'Nc'ic + q_0Nq'iq + 0,5\gamma_1B^*N\gamma'i\gamma$$

$c1'$	coesione terreno di fondaz.	=	0.00	(kPa)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	=	40.00	(°)
$\gamma 1$	peso unità di volume terreno fondaz.	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d^*H2'$	sovraccarico stabilizzante	=	28.50	(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	=	0.12	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	=	5.26	(m)

I valori di  $Nc$ ,  $Nq$  e  $N\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$Nq = \tan^2(45 + \phi/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan(\phi))}$	(1 in cond. nd)	=	64.20	(-)
$Nc = (Nq - 1) / \tan(\phi)$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	=	75.31	(-)
$N\gamma = 2 \cdot (Nq + 1) \cdot \tan(\phi)$	(0 in cond. nd)	=	109.41	(-)

I valori di  $ic$ ,  $iq$  e  $i\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

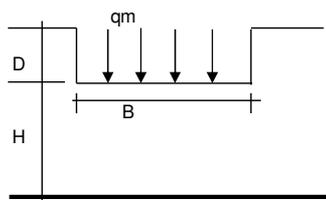
$iq = (1 - T / (N + B^*c' \cot(\phi)))^m$	(1 in cond. nd)	=	0.57	(-)
$ic = iq - (1 - iq) / (Nq - 1)$		=	0.56	(-)
$i\gamma = (1 - T / (N + B^*c' \cot(\phi)))^{m+1}$		=	0.43	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	=	3397.36	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	---	---------	----------------------

$$F = q_{lim} \cdot B^* / N = 22.11 \quad (-) \quad > \quad 1$$

### CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE



$$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot qm \cdot B^* / E \quad (\text{Christian e Carrier, 1976})$$

Profondità Piano di Posa della Fondazione	$D =$	1.50	(m)
	$D/B^* =$	0.29	(m)
	$H/B^* =$	2.09	(m)
Carico unitario medio (qm)	$qm = N / (B - 2^*e) = N / B^* =$	153.64	(kN/mq)
Coefficiente di forma $\mu_0 = f(D/B)$	$\mu_0 =$	0.948	(-)
Coefficiente di profondità $\mu_1 = f(H/B)$	$\mu_1 =$	0.68	(-)
Cedimento della fondazione	$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot qm \cdot B^* / E =$	2.61	(mm)

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 99 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	---------------------------

### CALCOLI STATICI - Verifica allo Stato Limite Ultimo

#### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

##### Calcestruzzo

Rck = **30** (MPa)  
 $\gamma_c = 2.1$   
 $f_{cd} = Rck / \gamma_{m,c} = 14.11$  (MPa)

##### Copriferro

c = **6.40** (cm)

##### Acciaio

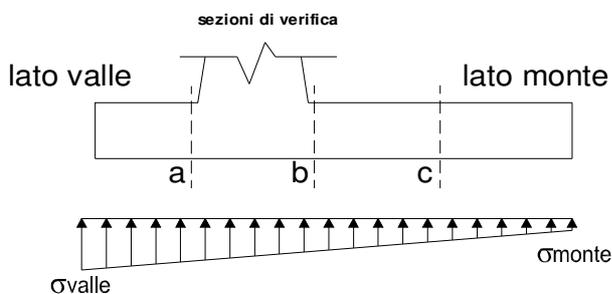
tipo di acciaio **B450C**  
 $f_{yk} = 450$  (MPa)  
 $\gamma_E = 1.00$   
 $\gamma_S = 1.15$   
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S / \gamma_E = 391.30$  (MPa)  
 $E_s = 210000$  (MPa)  
 $\epsilon_{ys} = 0.19\%$   
 $\epsilon_{uk} = 7.500\%$   
 $\epsilon_{ud} = 6.750\%$

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

##### Reazione del terreno

$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$   
 $\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$   
 $A = 1.0 \cdot B = 5.00$  (m<sup>2</sup>)  
 $W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 4.17$  (m<sup>3</sup>)

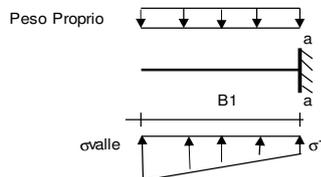
caso	N	M	$\sigma_{valle}$	$\sigma_{monte}$
	[kN]	[kNm]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
statico	638.64	91.63	149.72	105.74



##### Mensola Lato Valle

Peso Proprio. PP = **25.00** (kN/m)  
 $Ma = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$

caso	$\sigma_{valle}$	$\sigma_1$	Ma	Ta
	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]	[kN]
statico	149.72	140.92	60.89	120.32



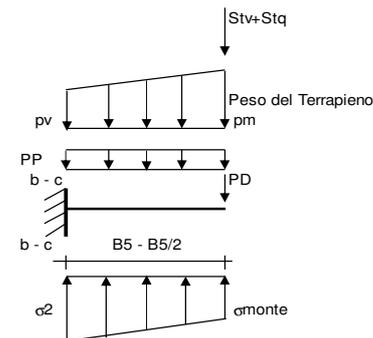
##### Mensola Lato Monte

PP = **25.00** (kN/m<sup>2</sup>)  
 PD = **0.00** (kN/m)  
 pm = **143.00** (kN/m<sup>2</sup>)  
 pvb = **143.00** (kN/m<sup>2</sup>)  
 pvc = **143.00** (kN/m<sup>2</sup>)

$$Mb = (\sigma_{monte} - (pvb + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{2b} - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (pm - pvb) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 + (Stv + Sqv) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B^2 - Bd^2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2 / 2) + Msp + Sp \cdot H2 / 2$$

$$Mc = (\sigma_{monte} - (pvc + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B5 / 2)^2 / 2 + (\sigma_{2c} - \sigma_{monte}) \cdot (B5 / 2)^2 / 6 - (pm - pvc) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B5 / 2)^2 / 3 + (Stv + Sqv) \cdot (B5 / 2) \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B5 / 2 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2 / 2) + Msp + Sp \cdot H2 / 2$$

caso	$\sigma_{monte}$	$\sigma_{2b}$	Mb	$\sigma_{2c}$	Mc	Tb
	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]	[kN]
statico	105.74	132.57	-416.00	119.15	-151.20	-204.07



## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

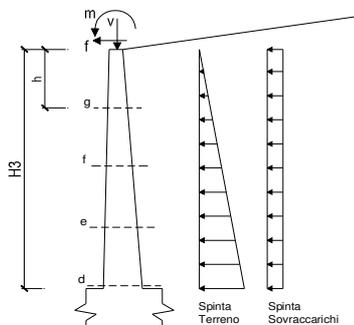
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 100 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

### CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO

Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo



Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_g/g$	=	0.21	(-)	S 1.39
	<b>Coefficiente di riduzione dell'accelerazione</b>	<b><math>\beta</math></b>	=	<b>0.31</b>	(-)	
Coefficienti di Spinta	il muro ammette spostamenti? (si/no)	<input checked="" type="radio"/> si		<input type="radio"/> no	bm = var	Categoria di suolo
	coefficiente sismico orizzontale	kh	=	0.0886	(-)	
	coefficiente sismico verticale	kv	=	0.0443	(-)	
	Coeff. di Spinta Attiva sulla parete	ka	=	0.29	(-)	0.287
	componente orizzontale	kah	=	0.264	(-)	0.340
	componente verticale	kav	=	0.11	(-)	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas+	=	0.34	(-)	
	componente orizzontale	kash+	=	0.31	(-)	0.345
	componente verticale	kasv+	=	0.13	(-)	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas-	=	0.35	(-)	
componente orizzontale	kash-	=	0.32	(-)	0.14	
componente verticale	kasv-	=	0.14	(-)		

$$M_t = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma^2 (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/3 \quad \text{o} \quad \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma^2 (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/2 \quad (\text{con sisma})$$

$$M_q = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot q \cdot h^2$$

$$M_{ext} = m \cdot f \cdot h$$

$$M_{inerzia} = \Sigma P m_i \cdot b_i \cdot kh \quad (\text{solo con sisma})$$

$$N_t = \frac{1}{2} K_{a_{vert.}} \cdot \gamma^2 (1 \pm kv) \cdot h^2$$

$$N_q = K_{a_{vert.}} \cdot q \cdot h$$

$$N_{ext} = v$$

$$N_{pp+inerzia} = \Sigma P m_i \cdot (1 \pm kv)$$

condizione statica

sezione	h	Tt	Tq	T <sub>ext</sub>	T <sub>tot</sub>
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	5.50	103.88	43.59	0.00	147.46
e-e	4.13	58.43	32.69	0.00	91.12
f-f	2.75	25.97	21.79	0.00	47.76
g-g	1.38	6.49	10.90	0.00	17.39

condizione statica

sezione	h	Mt	Mq	M <sub>ext</sub>	M <sub>tot</sub>	Nt	Nq	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	5.50	190.45	119.86	0.00	310.31	44.55	18.69	0.00	92.81	156.05
e-e	4.13	80.34	67.42	0.00	147.77	25.06	14.02	0.00	62.52	101.59
f-f	2.75	23.81	29.97	0.00	53.77	11.14	9.35	0.00	36.95	57.43
g-g	1.38	2.98	7.49	0.00	10.47	2.78	4.67	0.00	16.11	23.57

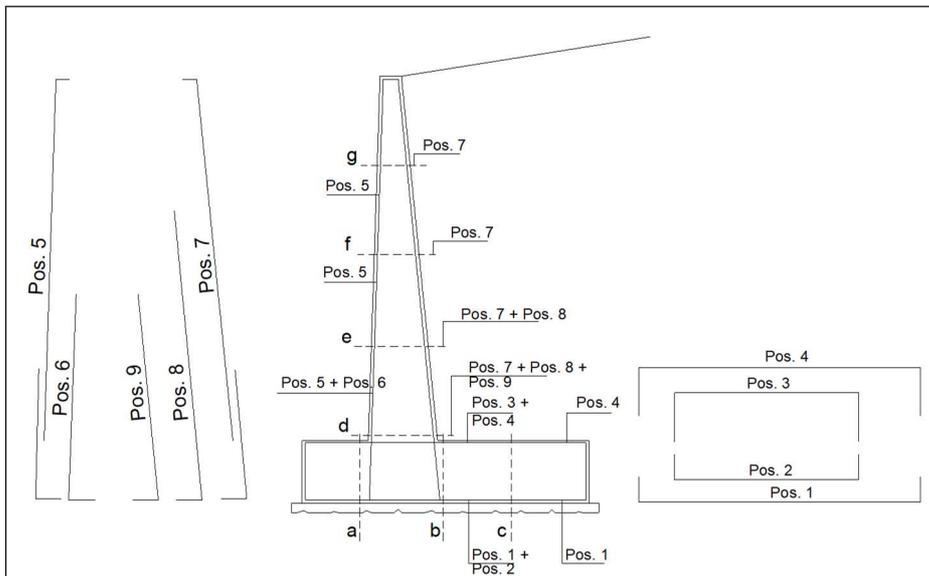
## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 101 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	---------------------------

### SCHEMA DELLE ARMATURE

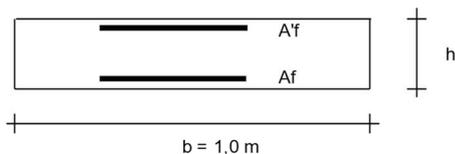


### ARMATURE

pos	n°/ml	φ	pos	n°/ml	φ
1	5.0	20	5	5.0	12
2	0.0	0	6	0.0	0
3	5.0	16	7	5.0	16
4	5.0	20	8	5.0	16
			9	0.0	0

Calcola

### VERIFICHE



a-a pos 1-2-3-4  
 b-b pos 1-2-3-4  
 c-c pos 1-4  
 d-d pos 5-6-7-8-9  
 e-e pos 5-7-8  
 f-f pos 5-7  
 g-g pos 5-7

Sez.	Msd (kNm)	Nsd (kN)	Tsd (kN)	h (m)	Af (cm <sup>2</sup> )	Af' (cm <sup>2</sup> )	MRd (kNm)	NRd (kN)	TRd (kN)
(-)									
a - a	69.37	0.00	137.59	1.00	15.71	25.76	562.73	0.00	278.49
b - b	-561.10	0.00	-249.09	1.00	25.76	15.71	906.87	0.00	328.42
c - c	-200.06	0.00	170.84	1.00	15.71	15.71	562.58	0.00	278.49
d - d	398.06	191.07	100.93	1.05	20.11	5.65	841.34	191.07	337.42
e - e	179.70	121.74	49.15	0.89	20.11	5.65	671.64	121.74	300.38
f - f	60.22	66.78	15.51	0.73	10.05	5.65	279.37	66.78	283.56

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	102 di 164

### Combinazione STATICA: ECC+M1+R1

SLU	caso	coefficienti parziali		proprietà del terreno			$\gamma_R (R_3)$			
		azioni		tan $\phi'$	c'	$c_u$	Cap. portante	Scorrimento	Res. Terreno Valle	Ribaltamento
		permanenti sfavorevoli	temporanee variabili sfavorevoli				$\gamma_R$	$\gamma_R$	$\gamma_R$	$\gamma_R$
○	caso A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
●	<b>caso ECC+M1+R1</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>
○	--	1.00	1.00	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00	1.00
○	--	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

#### Dati Geotecnici (usati per verifiche di stabilità e SLU)

Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	$\phi'$	=	35.00	(°)		
	Peso Unità di Volume del terrapieno	$\gamma'$	=	20.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Angolo di Inclinazione Piano di Campagna	$\epsilon$	=	0.00	(°)		
	Angolo di attrito terreno-paramento	$\delta_{nuro}$	=	17.50	(°)		
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	$\delta_{sup id}$	=	17.50	(°)		
Dati Terreno Fondazione	Coesione Terreno di Fondazione	$c_1'$	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )		
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione ( $\tan \phi'_R = 0.67 \cdot \tan \phi'_p$ )	$\phi_{R'}$	=	35.52	(°)		
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	$\gamma_1$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	$\gamma_d$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Profondità Piano di Posa della Fondazione	H2'	=	1.50	(m)		
	Profondità Falda	Zw	=	100.00	(m)		
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla superficie ideale	ka	=	0.25	(-)	0.246	Valori di Normativa
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas+	=	0.30	(-)	0.296	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas-	=	0.30	(-)	0.301	
	Coeff. Di Spinta Passiva in Fondazione	kp	=	3.77	(-)	3.772	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps+	=	3.60	(-)	3.604	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps-	=	3.59	(-)	3.588	

#### Carichi Agenti (usati per verifiche di stabilità e allo SLU)

Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	q	=	20.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni statiche	f	=	8.70	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni statiche	v	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni statiche	m	=	8.70	(kNm/m)
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	qs	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni sismiche	fs	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni sismiche	vs	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni sismiche	ms	=	0.00	(kNm/m)

### VERIFICHE GEOTECNICHE

#### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

Pm1 =	$(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	=	0.00	(kN/m)
Pm2 =	$(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	=	55.00	(kN/m)
Pm3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	=	37.81	(kN/m)
Pm4 =	$(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	=	125.00	(kN/m)
Pm5 =	$(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	=	0.00	(kN/m)
Pm =	Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5	=	217.81	(kN/m)

- Peso del terreno sulla scarpa di monte del muro (Pt)

Pt1 =	$(B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$	=	335.50	(kN/m)
Pt2 =	$(0,5 \cdot (B4+B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$	=	0.00	(kN/m)
Pt3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma)/2$	=	30.25	(kN/m)
Pt =	Pt1 + Pt2 + Pt3	=	365.75	(kN/m)

#### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

- Muro (Mm)

Mm1 =	$Pm1 \cdot (B1 + 2/3 B2)$	=	0.00	(kNm/m)
Mm2 =	$Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0,5 B3)$	=	66.00	(kNm/m)
Mm3 =	$Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 B4)$	=	59.87	(kNm/m)
Mm4 =	$Pm4 \cdot (B/2)$	=	312.50	(kNm/m)
Mm5 =	$Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	=	0.00	(kNm/m)
Mm =	Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5	=	438.37	(kNm/m)

- Terrapieno a tergo del muro

Mt1 =	$Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0,5 B5)$	=	1165.86	(kNm/m)
Mt2 =	$Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 (B4 + B5))$	=	0.00	(kNm/m)
Mt3 =	$Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 B4)$	=	53.44	(kNm/m)
Mt =	Mt1 + Mt2 + Mt3	=	1219.30	(kNm/m)

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	103 di 164

**CONDIZIONE STATICA (SLU) ( caso ECC+M1+R1 )**
**SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

- Spinta totale condizione statica

$$St = 0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka = 103.99 \text{ (kN/m)}$$

$$Sq = q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka = 32.00 \text{ (kN/m)}$$

- Componente orizzontale condizione statica

$$Sth = St \cdot \cos \delta = 99.17 \text{ (kN/m)}$$

$$Sqh = Sq \cdot \cos \delta = 30.52 \text{ (kN/m)}$$

- Componente verticale condizione statica

$$Stv = St \cdot \sin \delta = 31.27 \text{ (kN/m)}$$

$$Sqv = Sq \cdot \sin \delta = 9.62 \text{ (kN/m)}$$

- Spinta passiva sul terreno

$$Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot Hd^2 \cdot kp + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd = 0.00 \text{ (kN/m)}$$

**MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

- Condizione statica

$$MSt1 = Sth \cdot (H2+H3+H4+Hd) / 3 - Hd = 214.88 \text{ (kNm)}$$

$$MSt2 = Stv \cdot B = 156.35 \text{ (kNm)}$$

$$MSq1 = Sqh \cdot (H2+H3+H4+Hd) / 2 - Hd = 99.17 \text{ (kNm)}$$

$$MSq2 = Sqv \cdot B = 48.11 \text{ (kNm)}$$

$$MSp = \gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kp / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2 = 0.00 \text{ (kNm)}$$

**MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE**

$$Mfext1 = m = 8.70 \text{ (kNm)}$$

$$Mfext2 = f \cdot (H3 + H2) = 56.55 \text{ (kNm)}$$

$$Mfext3 = v \cdot (B1 + B2 + B3/2) = 0.00 \text{ (kNm)}$$

**VERIFICA ALLO SCORRIMENTO ( caso ECC+M1+R1 )**

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + v + Stv + Sqv = 624.45 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sth + Sqh + f = 138.39 \text{ (kN/m)}$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \tan \phi_1' = 0.71 \text{ (-)}$$

$$Fs = (N \cdot f + Sp) / T = 3.22 \text{ (-)} > 1$$

**VERIFICA AL RIBALTAMENTO ( caso ECC+M1+R1 )**

Momento stabilizzante (Ms)

$$Ms = Mm + Mt + MSt2 + MSq2 + Mfext3 = 1862.13 \text{ (kNm)}$$

Momento ribaltante (Mr)

$$Mr = MSt1 + MSq1 + Mfext1 + Mfext2 + MSp = 379.30 \text{ (kNm)}$$

$$Fr = Ms / Mr = 4.91 \text{ (-)} > 1$$

**VERIFICA DELLA FONDAZIONE ( caso ECC+M1+R1 )**

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + v + Stv + Sqv = 624.45 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sth + Sqh + f - Sp = 138.39 \text{ (kN/m)}$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = Ms - Mr = 1482.83 \text{ (kNm)}$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = Xc \cdot N - MM = 78.31 \text{ (kNm)}$$

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 104 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	---------------------------

### Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'Nc'ic + q_0Nq'iq + 0,5\gamma_1B'N\gamma'i\gamma$$

$c1'$	coesione terreno di fondaz.	=	0.00	(kPa)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	=	40.00	(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d^*H2'$	sovraccarico stabilizzante	=	28.50	(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	=	0.13	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	=	4.75	(m)

I valori di  $Nc$ ,  $Nq$  e  $N\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$Nq = tg^2(45 + \phi/2) * e^{(\pi * tg(\phi))}$	(1 in cond. nd)	=	64.20	(-)
$Nc = (Nq - 1) / tg(\phi)$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	=	75.31	(-)
$N\gamma = 2 * (Nq + 1) * tg(\phi)$	(0 in cond. nd)	=	109.41	(-)

I valori di  $ic$ ,  $iq$  e  $i\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

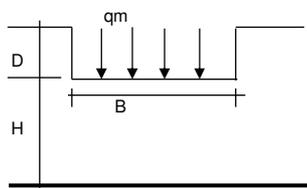
$iq = (1 - T / (N + B * c'cotg(\phi)))^m$	(1 in cond. nd)	=	0.61	(-)
$ic = iq - (1 - iq) / (Nq - 1)$		=	0.60	(-)
$i\gamma = (1 - T / (N + B * c'cotg(\phi)))^{m+1}$		=	0.47	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	=	3436.50	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	---	---------	----------------------

$$F = q_{lim} * B^* / N = 26.14 \quad (-) \quad > \quad 1$$

### CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE



$$\delta = \mu_0 * \mu_1 * qm * B^* / E \quad (\text{Christian e Carrier, 1976})$$

Profondità Piano di Posa della Fondazione	$D =$	1.50	(m)
	$D/B^* =$	0.32	(m)
	$H/B^* =$	2.11	(m)
Carico unitario medio ( $qm$ )	$qm = N / (B - 2 * e) = N / B^* =$	131.49	(kN/mq)
Coefficiente di forma $\mu_0 = f(D/B)$	$\mu_0 =$	0.947	(-)
Coefficiente di profondità $\mu_1 = f(H/B)$	$\mu_1 =$	0.68	(-)
Cedimento della fondazione	$\delta = \mu_0 * \mu_1 * qm * B^* / E =$	2.02	(mm)

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 105 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

### CALCOLI STATICI - Verifica allo Stato Limite Ultimo

#### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

##### Calcestruzzo

Rck = 30 (MPa)

$\gamma_c$  = 2.1

fcd = Rck /  $\gamma_{m,c}$  = 14.11 (MPa)

##### Copriferro

c = 6.40 (cm)

##### Acciaio

tipo di acciaio B450C

f<sub>yk</sub> = 450 (MPa)

$\gamma_E$  = 1.00

$\gamma_S$  = 1.15

f<sub>yd</sub> = f<sub>yk</sub> /  $\gamma_S$  /  $\gamma_E$  = 391.30 (MPa)

E<sub>s</sub> = 210000 (MPa)

$\epsilon_{ys}$  = 0.19%

$\epsilon_{uk}$  = 7.500%

$\epsilon_{ud}$  = 6.750%

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

##### Reazione del terreno

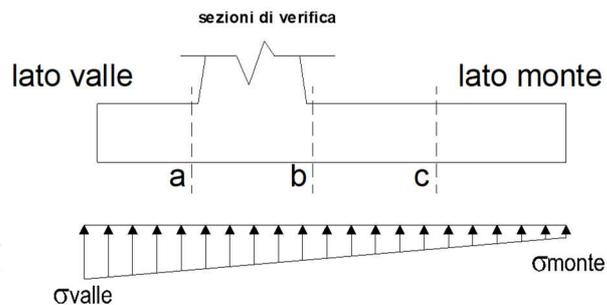
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 5.00 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 4.17 \text{ (m}^3\text{)}$$

caso	N [kN]	M [kNm]	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
statico	624.45	78.31	143.68	106.10

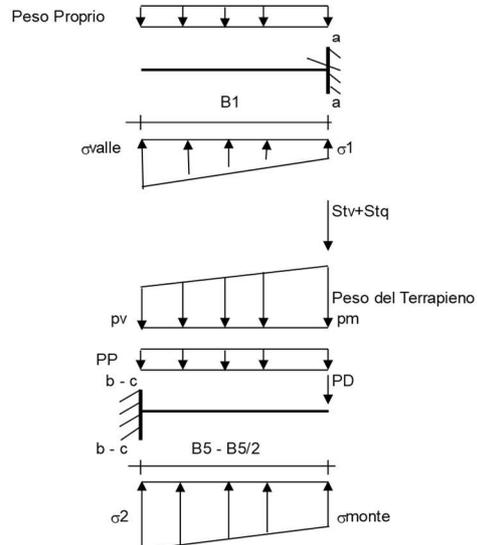


##### Mensola Lato Valle

Peso Proprio. PP = 25.00 (kN/m)

$$M_a = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$$

caso	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	M <sub>a</sub> [kNm]	T <sub>a</sub> [kN]
statico	143.68	136.17	58.09	114.93



##### Mensola Lato Monte

PP = 25.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
PD = 0.00 (kN/m)  
peso proprio soletta fondazione  
peso proprio dente

pm = 110.00 (kN/m<sup>2</sup>)

pvb = 110.00 (kN/m<sup>2</sup>)

pvc = 110.00 (kN/m<sup>2</sup>)

$$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{2b} - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 + (St_v + Sq_v) \cdot B^2 - PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B^2 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + (\sigma_{2c} - \sigma_{monte}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2)^2 / 3 + (St_v + Sq_v) \cdot (B_5 / 2) - PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$

caso	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{2b}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	M <sub>b</sub> [kNm]	$\sigma_{2c}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	M <sub>c</sub> [kNm]	T <sub>b</sub> [kN]
statico	106.10	129.03	-223.60	117.56	-91.52	-94.08

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

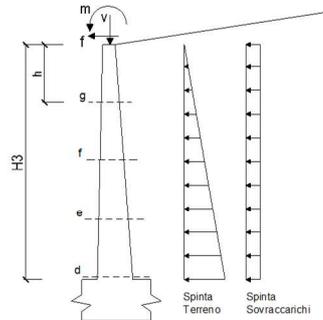
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 106 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	---------------------------

### CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO

#### Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo



Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_y/g$	=	0.21	(-)	S 1.39 (-)
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione	$\beta$	=	0.31	(-)	
	il muro ammette spostamenti? (si/no)			<input type="radio"/> si <input type="radio"/> no	bm = var.	
	coefficiente sismico orizzontale	kh	=	0.0886	(-)	
	coefficiente sismico verticale	kv	=	0.0443	(-)	
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla parete	ka	=	0.29	(-)	0.287
	componente orizzontale	kah	=	0.264	(-)	
	componente verticale	kav	=	0.11	(-)	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas+	=	0.34	(-)	0.340
	componente orizzontale	kash+	=	0.31	(-)	
	componente verticale	kasv+	=	0.13	(-)	
Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas-	=	0.35	(-)	0.345	
componente orizzontale	kash-	=	0.32	(-)		
componente verticale	kasv-	=	0.14	(-)		

$$M_t = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/3 \quad \text{o} \quad \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/2 \quad (\text{con sisma})$$

$$M_q = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot q \cdot h^2$$

$$M_{ext} = m \cdot f \cdot h$$

$$M_{inerzia} = \sum P_m \cdot b_i \cdot kh \quad (\text{solo con sisma})$$

$$N_t = \frac{1}{2} K_{a_{vert.}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2$$

$$N_q = K_{a_{vert.}} \cdot q \cdot h$$

$$N_{ext} = v$$

$$N_{pp+inerzia} = \sum P_m \cdot (1 \pm kv)$$

#### condizione statica

sezione	h [m]	Tt [kN/m]	Tq [kN/m]	T <sub>ext</sub> [kN/m]	T <sub>tot</sub> [kN/m]
d-d	5.50	79.91	29.06	8.70	117.66
e-e	4.13	44.95	21.79	8.70	75.44
f-f	2.75	19.98	14.53	8.70	43.21
g-g	1.38	4.99	7.26	8.70	20.96

#### condizione statica

sezione	h [m]	Mt [kNm/m]	Mq [kNm/m]	M <sub>ext</sub> [kNm/m]	M <sub>tot</sub> [kNm/m]	Nt [kN/m]	Nq [kN/m]	N <sub>ext</sub> [kN/m]	N <sub>pp</sub> [kN/m]	N <sub>tot</sub> [kN/m]
d-d	5.50	146.50	79.91	56.55	282.95	34.27	12.46	0.00	92.81	139.54
e-e	4.13	61.80	44.95	44.59	151.34	19.27	9.35	0.00	62.52	91.14
f-f	2.75	18.31	19.98	32.63	70.91	8.57	6.23	0.00	36.95	51.75
g-g	1.38	2.29	4.99	20.66	27.95	2.14	3.12	0.00	16.11	21.37

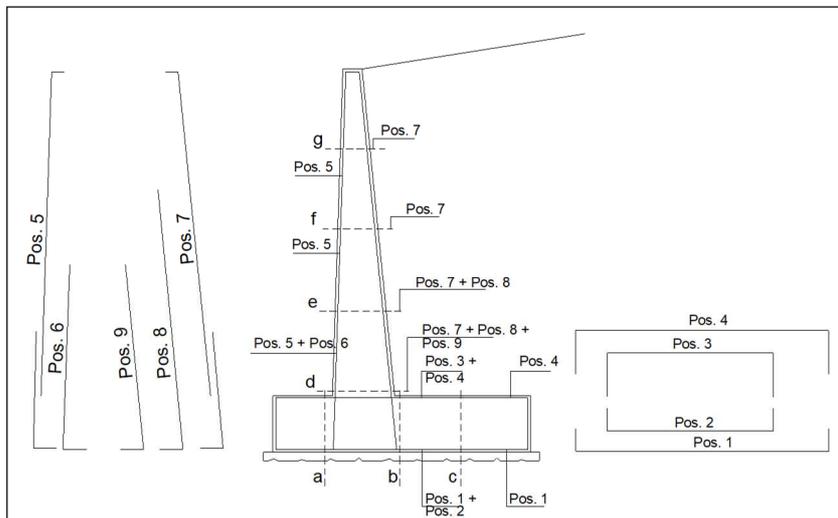
## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 107 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	---------------------------

### SCHEMA DELLE ARMATURE

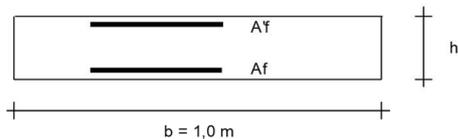


### ARMATURE

pos	n°/ml	φ	pos	n°/ml	φ
1	5.0	20	5	5.0	14
2	0.0	0	6	0.0	0
3	5.0	16	7	5.0	20
4	5.0	20	8	5.0	16
			9	0.0	0

Calcola

### VERIFICHE



a-a pos 1-2-3-4  
 b-b pos 1-2-3-4  
 c-c pos 1-4  
 d-d pos 5-6-7-8-9  
 e-e pos 5-7-8  
 f-f pos 5-7  
 g-g pos 5-7

Sez.	M	N	Tsd	h	Af	A'f	Mu	NRd	TRd
(-)	(kNm)	(kN)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kNm)	(kN)	(kN)
a - a	58.09	0.00	114.93	1.00	15.71	25.76	559.19	0.00	264.54
b - b	-223.60	0.00	-94.08	1.00	25.76	15.71	902.87	0.00	311.97
c - c	-91.52	0.00	117.66	1.00	15.71	15.71	559.18	0.00	264.54
d - d	282.95	139.54	75.44	0.95	25.76	7.70	908.07	139.54	303.53
e - e	151.34	91.14	43.21	0.81	25.76	7.70	743.86	91.14	278.93
f - f	70.91	51.75	20.96	0.68	15.71	7.70	373.83	51.75	278.93

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	108 di 164

### Combinazione STATICA: A2+M2+R2

SLU	Caso	coefficienti parziali								
		azioni		proprietà del terreno			$\gamma_B$			
		permanenti sfavorevoli	temporane e variabili sfavorevoli	$\tan \phi'$	$c'$	$c_u$	Cap. portante	Scorrimento	Res. Terreno o Valle	
	caso A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
	<b>caso A2+M2+R2</b>	<b>1.00</b>	<b>1.30</b>	<b>1.25</b>	<b>1.25</b>	<b>1.40</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	
SLD	--	1.00	1.00	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00	
def.	--	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	

#### Dati Geotecnici (usati per verifiche di stabilità e SLU)

Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	$\phi'$	=	29.26	(°)	
	Peso Unità di Volume del terrapieno	$\gamma'$	=	20.00	(kN/m <sup>3</sup> )	
	Angolo di Inclinazione Piano di Campagna	$\epsilon$	=	0.00	(°)	
	Angolo di attrito terreno-paramento	$\delta_{muro}$	=	14.63	(°)	
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	$\delta_{sup id}$	=	14.63	(°)	
Dati Terreno Fondazione	Coesione Terreno di Fondazione	$c_1'$	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )	
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	$\phi_1'$	=	29.72	(°)	
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	$\gamma_1$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )	
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	$\gamma_d$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )	
	Profondità Piano di Posa della Fondazione	$H_2'$	=	1.50	(m)	
	Profondità Falda	$Z_w$	=	100.00	(m)	
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla superficie ideale	$ka$	=	0.31	(-)	0.310
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	$kas+$	=	0.37	(-)	0.367
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	$kas-$	=	0.37	(-)	0.373
	Coeff. Di Spinta Passiva in Fondazione	$kp$	=	2.97	(-)	2.967
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	$kps+$	=	2.82	(-)	2.817
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	$kps-$	=	2.80	(-)	2.802

#### Carichi Agenti (usati per verifiche di stabilità e allo SLU)

Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	$q$	=	26.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni statiche	$f$	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni statiche	$v$	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni statiche	$m$	=	0.00	(kNm/m)
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	$qs$	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni sismiche	$fs$	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni sismiche	$vs$	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni sismiche	$ms$	=	0.00	(kNm/m)

### VERIFICHE GEOTECNICHE

#### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

$Pm1 = (B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	=	0.00	(kN/m)
$Pm2 = (B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	=	55.00	(kN/m)
$Pm3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	=	37.81	(kN/m)
$Pm4 = (B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	=	125.00	(kN/m)
$Pm5 = (Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	=	0.00	(kN/m)
$Pm = Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5$	=	217.81	(kN/m)

- Peso del terreno sulla scarpa di monte del muro (Pt)

$Pt1 = (B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$	=	335.50	(kN/m)
$Pt2 = (0,5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$	=	0.00	(kN/m)
$Pt3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma) / 2$	=	30.25	(kN/m)
$Pt = Pt1 + Pt2 + Pt3$	=	365.75	(kN/m)

#### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

- Muro (Mm)

$Mm1 = Pm1 \cdot (B1 + 2/3 \cdot B2)$	=	0.00	(kNm/m)
$Mm2 = Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0,5 \cdot B3)$	=	66.00	(kNm/m)
$Mm3 = Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 \cdot B4)$	=	59.87	(kNm/m)
$Mm4 = Pm4 \cdot (B/2)$	=	312.50	(kNm/m)
$Mm5 = Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	=	0.00	(kNm/m)
$Mm = Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5$	=	438.37	(kNm/m)

- Terrapieno a tergo del muro

$Mt1 = Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0,5 \cdot B5)$	=	1165.86	(kNm/m)
$Mt2 = Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot (B4 + B5))$	=	0.00	(kNm/m)
$Mt3 = Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4)$	=	53.44	(kNm/m)
$Mt = Mt1 + Mt2 + Mt3$	=	1219.30	(kNm/m)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	109 di 164

### CONDIZIONE STATICA (SLU) ( caso A2+M2+R2 )

#### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione statica

$$St = 0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka = 131.18 \text{ (kN/m)}$$

$$Sq = q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka = 52.47 \text{ (kN/m)}$$

- Componente orizzontale condizione statica

$$Sth = St \cdot \cos \delta = 126.93 \text{ (kN/m)}$$

$$Sqh = Sq \cdot \cos \delta = 50.77 \text{ (kN/m)}$$

- Componente verticale condizione statica

$$Stv = St \cdot \sin \delta = 33.13 \text{ (kN/m)}$$

$$Sqv = Sq \cdot \sin \delta = 13.25 \text{ (kN/m)}$$

- Spinta passiva sul dente

$$Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot Hd^2 \cdot kp + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd = 0.00 \text{ (kN/m)}$$

#### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Condizione statica

$$MSt1 = Sth \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3 - Hd) = 275.02 \text{ (kNm)}$$

$$MSt2 = Stv \cdot B = 165.65 \text{ (kNm)}$$

$$MSq1 = Sqh \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd) = 165.01 \text{ (kNm)}$$

$$MSq2 = Sqv \cdot B = 66.26 \text{ (kNm)}$$

$$MSp = \gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kp / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2 = 0.00 \text{ (kNm)}$$

#### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

$$Mfext1 = m = 0.00 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mfext2 = f \cdot (H3 + H2) = 0.00 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mfext3 = v \cdot (B1 + B2 + B3/2) = 0.00 \text{ (kNm/m)}$$

### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO ( caso A2+M2+R2 )

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + v + Stv + Sqv = 629.94 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sth + Sqh + f = 177.71 \text{ (kN/m)}$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \tan \phi_1' = 0.57 \text{ (-)}$$

$$Fs = (N \cdot f + Sp) / T = 2.02 \text{ (-)} > 1$$

### VERIFICA AL RIBALTAMENTO ( caso A2+M2+R2 )

Momento stabilizzante (Ms)

$$Ms = Mm + Mt + MSt2 + MSq2 + Mfext3 = 1889.58 \text{ (kNm/m)}$$

Momento ribaltante (Mr)

$$Mr = MSt1 + MSq1 + Mfext1 + Mfext2 + MSp = 440.03 \text{ (kNm/m)}$$

$$Fr = Ms / Mr = 4.29 \text{ (-)} > 1$$

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE ( caso A2+M2+R2 )

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + v + Stv + Sqv = 629.94 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sth + Sqh + f - Sp = 177.71 \text{ (kN/m)}$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = Ms - Mr = 1449.55 \text{ (kNm/m)}$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = Xc \cdot N - MM = 125.31 \text{ (kNm/m)}$$

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	110 di 164

**Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)**

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'N_c \cdot i_c + q_0 \cdot N_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma$$

$c1'$	coesione terreno di fondaz.	=	0.00	(kPa)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	=	32.02	(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d \cdot H_2'$	sovraccarico stabilizzante	=	28.50	(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	=	0.20	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	=	4.60	(m)

 I valori di  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$N_q = \text{tg}^2(45 + \phi/2) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg}(\phi))}$	(1 in cond. nd)	=	23.22	(-)
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\phi)$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	=	35.54	(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg}(\phi)$	(0 in cond. nd)	=	30.29	(-)

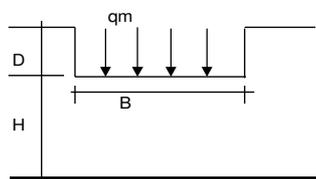
 I valori di  $i_c$ ,  $i_q$  e  $i_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$i_q = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \text{cotg}(\phi)))^m$	(1 in cond. nd)	=	0.52	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		=	0.49	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \text{cotg}(\phi)))^{m+1}$		=	0.37	(-)

 (fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	=	831.05	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	---	--------	----------------------

$$F = q_{lim} \cdot B^* / N = 6.07 \quad (-) \quad > \quad 1$$

**CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE**


$$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_m \cdot B^* / E \quad (\text{Christian e Carrier, 1976})$$

Profondità Piano di Posa della Fondazione	$D =$	1.50	(m)
	$D/B^* =$	0.33	(m)
	$H/B^* =$	2.17	(m)
Carico unitario medio ( $q_m$ )	$q_m = N / (B - 2 \cdot e) = N / B^* =$	136.88	(kN/mq)
Coefficiente di forma $\mu_0 = f(D/B)$	$\mu_0 =$	0.946	(-)
Coefficiente di profondità $\mu_1 = f(H/B)$	$\mu_1 =$	0.70	(-)
Cedimento della fondazione	$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_m \cdot B^* / E =$	2.08	(mm)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 111 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

### CALCOLI STATICI - Verifica allo Stato Limite Ultimo

#### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

##### Calcestruzzo

Rck = 30 (MPa)  
 $\gamma_c = 2.1$   
 $f_{cd} = Rck / \gamma_{m,c} = 14.11$  (MPa)

##### Copriferro

c = 6.40 (cm)

##### Acciaio

tipo di acciaio B450C  
 $f_{yk} = 450$  (MPa)  
 $\gamma_E = 1.00$   
 $\gamma_S = 1.15$   
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S / \gamma_E = 391.30$  (MPa)  
 $E_s = 210000$  (MPa)  
 $\epsilon_{ys} = 0.19\%$   
 $\epsilon_{uk} = 7.500\%$   
 $\epsilon_{ud} = 6.750\%$

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

##### Reazione del terreno

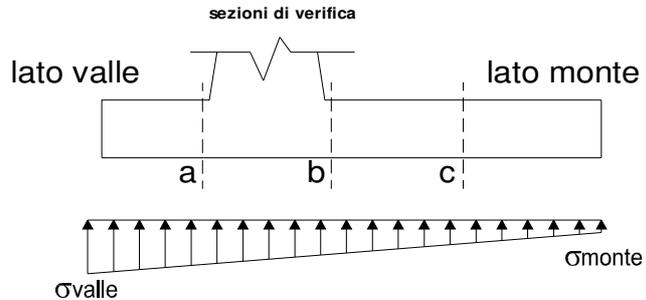
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 5.00 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 4.17 \text{ (m}^3\text{)}$$

caso	N [kN]	M [kNm]	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
statico	629.94	125.31	156.06	95.91

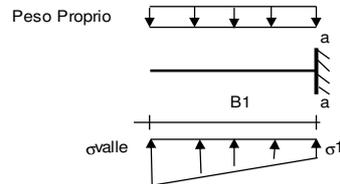


##### Mensola Lato Valle

Peso Proprio, PP = 25.00 (kN/m)

$$M_a = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm k_v)$$

caso	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$M_a$ [kNm]	$T_a$ [kN]
statico	156.06	144.03	63.53	125.05



##### Mensola Lato Monte

PP = 25.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
 PD = 0.00 (kN/m) peso proprio soletta fondazione  
 peso proprio dente

$p_m = 110.00$  (kN/m<sup>2</sup>)  
 $p_{vb} = 110.00$  (kN/m<sup>2</sup>)  
 $p_{vc} = 110.00$  (kN/m<sup>2</sup>)

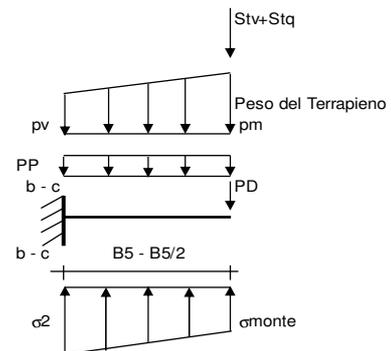
$$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm k_v)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{2b} - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm k_v) \cdot B^2 / 3 +$$

$$-(Stv + Sqv) \cdot B^5 \cdot PD \cdot (1 \pm k_v) \cdot (B^5 - Bd^2) / 2 - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H2 / 2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm k_v)) \cdot (B5/2)^2 / 2 + (\sigma_{2c} - \sigma_{monte}) \cdot (B5/2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm k_v) \cdot (B5/2)^2 / 3 +$$

$$-(Stv + Sqv) \cdot (B5/2) \cdot PD \cdot (1 \pm k_v) \cdot (B5/2 - Bd/2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H2 / 2$$

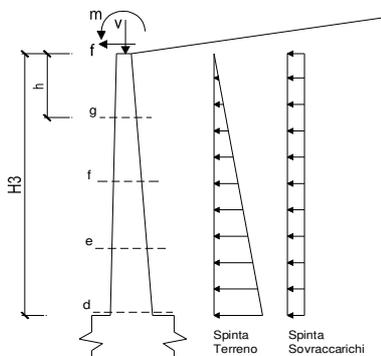
caso	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{2b}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$M_b$ [kNm]	$\sigma_{2c}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$M_c$ [kNm]	$T_b$ [kN]
statico	95.91	132.61	-266.37	114.26	-109.07	-109.64



Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 112 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

### CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO

#### Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo



Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_g/g$	=	0.21	(-)	S <span style="float: right;">1.39</span> Categoria di suolo	
	<b>Coefficiente di riduzione dell'accelerazione</b>	$\beta$	m	=	0.31		(-)
	il muro ammette spostamenti? (si/no)		<input checked="" type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	bm = var		
Coefficienti di Spinta	coefficiente sismico orizzontale	kh	=	0.0886	(-)	0.352	
	coefficiente sismico verticale	kv	=	0.0443	(-)		
	Coeff. di Spinta Attiva sulla parete	ka	=	0.35	(-)		
	componente orizzontale	kah	=	0.331	(-)		
	componente verticale	kav	=	0.12	(-)		
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas+	=	0.41	(-)		0.411
	componente orizzontale	kash+	=	0.39	(-)		
	componente verticale	kasv+	=	0.14	(-)		
Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas-	=	0.42	(-)	0.417		
componente orizzontale	kash-	=	0.39	(-)			
componente verticale	kasv-	=	0.14	(-)			

$$M_t = \frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot \gamma^2 (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/3 \quad \text{o} \quad \frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot \gamma^2 (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/2 \quad (\text{con sisma})$$

$$M_q = \frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot q \cdot h^2$$

$$M_{ext} = m \cdot f \cdot h$$

$$M_{inerzia} = \sum P_m \cdot b_i \cdot kh \quad (\text{solo con sisma})$$

$$N_t = \frac{1}{2} K_{a_{vert}} \cdot \gamma^2 (1 \pm kv) \cdot h^2$$

$$N_q = K_{a_{vert}} \cdot q \cdot h$$

$$N_{ext} = v$$

$$N_{pp+inerzia} = \sum P_m \cdot (1 \pm kv)$$

#### condizione statica

sezione	h	T <sub>t</sub>	T <sub>q</sub>	T <sub>ext</sub>	T <sub>tot</sub>
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	5.50	99.98	47.26	0.00	147.24
e-e	4.13	56.24	35.45	0.00	91.68
f-f	2.75	24.99	23.63	0.00	48.63
g-g	1.38	6.25	11.82	0.00	18.06

#### condizione statica

sezione	h	M <sub>t</sub>	M <sub>q</sub>	M <sub>ext</sub>	M <sub>tot</sub>	N <sub>t</sub>	N <sub>q</sub>	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	5.50	183.29	129.97	0.00	313.26	37.06	17.52	0.00	92.81	147.39
e-e	4.13	77.33	73.11	0.00	150.43	20.85	13.14	0.00	62.52	96.50
f-f	2.75	22.91	32.49	0.00	55.40	9.26	8.76	0.00	36.95	54.98
g-g	1.38	2.86	8.12	0.00	10.99	2.32	4.38	0.00	16.11	22.81

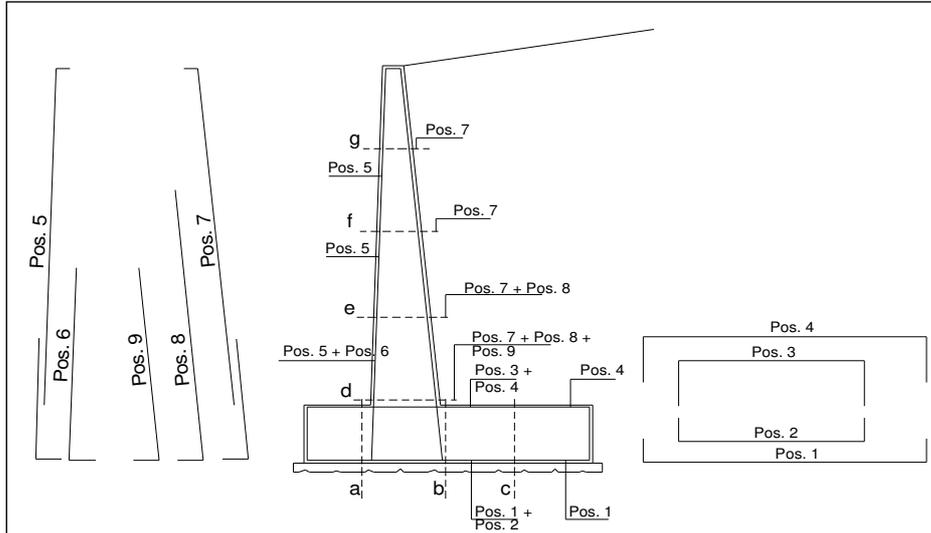
## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 113 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	---------------------------

### SCHEMA DELLE ARMATURE

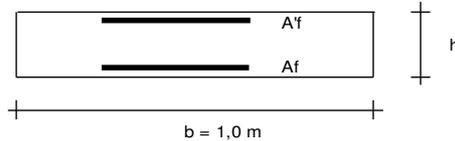


### ARMATURE

pos	n°/ml	φ	pos	n°/ml	φ
1	5.0	20	5	5.0	14
2	0.0	0	6	0.0	0
3	5.0	16	7	5.0	20
4	5.0	20	8	5.0	16
			9	0.0	0

Calcola

### VERIFICHE



a-a pos 1-2-3-4  
 b-b pos 1-2-3-4  
 c-c pos 1-4  
 d-d pos 5-6-7-8-9  
 e-e pos 5-7-8  
 f-f pos 5-7  
 g-g pos 5-7

Sez.	Msd	Nsd	Tsd	h	Af	Af'	MRd	NRd	TRd
(-)	(kNm)	(kN)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kNm)	(kN)	(kN)
a - a	63.53	0.00	125.05	1.00	15.71	25.76	559.19	0.00	264.54
b - b	-266.37	0.00	-109.64	1.00	25.76	15.71	902.87	0.00	311.97
c - c	-109.07	0.00	147.24	1.00	15.71	15.71	559.18	0.00	264.54
d - d	313.26	147.39	91.68	0.95	25.76	7.70	911.20	147.39	303.53
e - e	150.43	96.50	48.63	0.81	25.76	7.70	745.64	96.50	278.93
f - f	55.40	54.98	18.06	0.68	15.71	7.70	374.73	54.98	278.93

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	114 di 164

### Combinazione STATICA: A2+M2+R2

SLU	Caso	coefficienti parziali								
		azioni		proprietà del terreno			$\gamma_R (R_2)$			
		permanenti sfavorevoli	temporane e variabili sfavorevoli	$\tan \phi'$	$c'$	$c_u$	Cap. portante $\gamma_R$	Scorrimen to $\gamma_R$	Res.Terren o Valle $\gamma_R$	Ribaltament o $\gamma_R$
○	caso A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
⊗	<b>EQU+M2+R2</b>	<b>1.10</b>	<b>1.50</b>	<b>1.25</b>	<b>1.25</b>	<b>1.40</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.40</b>	<b>1.00</b>
SLD	--	1.00	1.00	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00	1.00
def.	--	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

#### Dati Geotecnici (usati per verifiche di stabilità e SLU)

Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	$\phi'$	=	29.26	(°)		
	Peso Unità di Volume del terrapieno	$\gamma'$	=	22.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Angolo di Inclinazione Piano di Campagna	$\epsilon$	=	0.00	(°)		
	Angolo di attrito terreno-paramento	$\delta_{muro}$	=	14.63	(°)		
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	$\delta_{sup id}$	=	14.63	(°)		
Dati Terreno Fondazione	Coesione Terreno di Fondazione	$c1'$	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )		
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	$\phi_i'$	=	29.72	(°)		
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	$\gamma_d$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	$\gamma_d$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Profondità Piano di Posa della Fondazione	H2'	=	1.50	(m)		
	Profondità Falda	Zw	=	100.00	(m)		
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla superficie ideale	ka	=	0.31	(-)	0.310	Valori di Normativa
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas+	=	0.37	(-)	0.367	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas-	=	0.37	(-)	0.373	
	Coeff. Di Spinta Passiva in Fondazione	kp	=	2.97	(-)	2.967	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps+	=	2.82	(-)	2.817	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps-	=	2.80	(-)	2.802	

#### Carichi Agenti (usati per verifiche di stabilità e allo SLU)

Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	q	=	30.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni statiche	f	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni statiche	v	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni statiche	m	=	0.00	(kNm/m)
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	qs	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni sismiche	fs	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni sismiche	vs	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni sismiche	ms	=	0.00	(kNm/m)

### VERIFICHE GEOTECNICHE

#### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

$$\begin{aligned}
 Pm1 &= (B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2 &= & 0.00 \quad (\text{kN/m}) \\
 Pm2 &= (B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) &= & 55.00 \quad (\text{kN/m}) \\
 Pm3 &= (B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2 &= & 37.81 \quad (\text{kN/m}) \\
 Pm4 &= (B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls}) &= & 125.00 \quad (\text{kN/m}) \\
 Pm5 &= (Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls}) &= & 0.00 \quad (\text{kN/m}) \\
 Pm &= Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5 &= & 217.81 \quad (\text{kN/m})
 \end{aligned}$$

- Peso del terreno sulla scarpa di monte del muro (Pt)

$$\begin{aligned}
 Pt1 &= (B5 \cdot H3 \cdot \gamma) &= & 335.50 \quad (\text{kN/m}) \\
 Pt2 &= (0.5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma) &= & 0.00 \quad (\text{kN/m}) \\
 Pt3 &= (B4 \cdot H3 \cdot \gamma) / 2 &= & 30.25 \quad (\text{kN/m}) \\
 Pt &= Pt1 + Pt2 + Pt3 &= & 365.75 \quad (\text{kN/m})
 \end{aligned}$$

#### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

- Muro (Mm)

$$\begin{aligned}
 Mm1 &= Pm1 \cdot (B1 + 2/3 B2) &= & 0.00 \quad (\text{kNm/m}) \\
 Mm2 &= Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0.5 B3) &= & 66.00 \quad (\text{kNm/m}) \\
 Mm3 &= Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 B4) &= & 59.87 \quad (\text{kNm/m}) \\
 Mm4 &= Pm4 \cdot (B/2) &= & 312.50 \quad (\text{kNm/m}) \\
 Mm5 &= Pm5 \cdot (B - Bd/2) &= & 0.00 \quad (\text{kNm/m}) \\
 Mm &= Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5 &= & 438.37 \quad (\text{kNm/m})
 \end{aligned}$$

- Terrapieno a tergo del muro

$$\begin{aligned}
 Mt1 &= Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0.5 B5) &= & 1165.86 \quad (\text{kNm/m}) \\
 Mt2 &= Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 (B4 + B5)) &= & 0.00 \quad (\text{kNm/m}) \\
 Mt3 &= Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 B4) &= & 53.44 \quad (\text{kNm/m}) \\
 Mt &= Mt1 + Mt2 + Mt3 &= & 1219.30 \quad (\text{kNm/m})
 \end{aligned}$$

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	115 di 164

### CONDIZIONE STATICA (SLU) ( EQU+M2+R2 )

#### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione statica

$$St = 0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka = 144.30 \text{ (kN/m)}$$

$$Sq = q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka = 60.55 \text{ (kN/m)}$$

- Componente orizzontale condizione statica

$$St_h = St \cdot \cos \delta = 139.63 \text{ (kN/m)}$$

$$Sq_h = Sq \cdot \cos \delta = 58.58 \text{ (kN/m)}$$

- Componente verticale condizione statica

$$St_v = St \cdot \sin \delta = 36.44 \text{ (kN/m)}$$

$$Sq_v = Sq \cdot \sin \delta = 15.29 \text{ (kN/m)}$$

- Spinta passiva sul dente

$$Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot Hd^2 \cdot kp + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd = 0.00 \text{ (kN/m)}$$

#### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Condizione statica

$$MSt1 = St_h \cdot (H2+H3+H4+Hd) / 3 - Hd = 302.52 \text{ (kNm)}$$

$$MSt2 = St_v \cdot B = 182.21 \text{ (kNm)}$$

$$MSq1 = Sq_h \cdot ((H2+H3+H4+Hd) / 2 - Hd) = 190.40 \text{ (kNm)}$$

$$MSq2 = Sq_v \cdot B = 76.45 \text{ (kNm)}$$

$$MSp = \gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kp / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2 = 0.00 \text{ (kNm)}$$

#### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

$$Mfext1 = m = 0.00 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mfext2 = f \cdot (H3 + H2) = 0.00 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mfext3 = v \cdot (B1 + B2 + B3 / 2) = 0.00 \text{ (kNm/m)}$$

### VERIFICA AL RIBALTAMENTO ( EQU+M2+R2 )

Momento stabilizzante (Ms)

$$Ms = Mm + Mt + MSt2 + MSq2 + Mfext3 = 1750.57 \text{ (kNm/m)}$$

Momento ribaltante (Mr)

$$Mr = MSt1 + MSq1 + Mfext1 + Mfext2 + MSp = 492.92 \text{ (kNm/m)}$$

$$Fr = Ms / Mr = 3.55 \quad (-) \quad > \quad 1$$

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	116 di 164

### Combinazione SISMICA

		coefficienti parziali									
		caso	azioni		proprietà del terreno			$\gamma_R (R_d)$			
			permanenti sfavorevoli	temporane e variabili sfavorevoli	tan $\varphi'$	c'	c <sub>u</sub>	Cap.	Scorrimen	Res.Terren	Ribaltamento
								portante	to	o Valle	
							$\gamma_R$	$\gamma_R$	$\gamma_R$	$\gamma_R$	
SLU	○	caso A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	○	caso A2+M2+R2	1.00	1.30	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00	1.00
SLD	⊗	<b>Sismica</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.25</b>	<b>1.25</b>	<b>1.40</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>
def.	○	--	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

#### Dati Geotecnici (usati per verifiche di stabilità e SLU)

Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	$\varphi'$	=	29.26	(°)		
	Peso Unità di Volume del terrapieno	$\gamma$	=	20.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Angolo di Inclinazione Piano di Campagna	$\epsilon$	=	0.00	(°)		
	Angolo di attrito terreno-paramento	$\delta_{muro}$	=	14.63	(°)		
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	$\delta_{sup id}$	=	14.63	(°)		
Dati Terreno Fondazione	Coesione Terreno di Fondazione	c1'	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )		
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	$\varphi_i'$	=	29.72	(°)		
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	$\gamma_t$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	$\gamma_d$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Profondità Piano di Posa della Fondazione	H2'	=	1.50	(m)		
	Profondità Falda	Zw	=	100.00	(m)		
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla superficie ideale	ka	=	0.31	(-)	0.310	Valori di Normativa
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas+	=	0.37	(-)	0.367	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas-	=	0.37	(-)	0.373	
	Coeff. Di Spinta Passiva in Fondazione	kp	=	2.97	(-)	2.967	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps+	=	2.82	(-)	2.817	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps-	=	2.80	(-)	2.802	

#### Carichi Agenti (usati per verifiche di stabilità e allo SLU)

Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	qs	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni sismiche	fs	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni sismiche	vs	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni sismiche	ms	=	0.00	(kNm/m)

### VERIFICHE GEOTECNICHE

#### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

Pm1 =	$(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	=	0.00	(kN/m)
Pm2 =	$(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	=	55.00	(kN/m)
Pm3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	=	37.81	(kN/m)
Pm4 =	$(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	=	125.00	(kN/m)
Pm5 =	$(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	=	0.00	(kN/m)
Pm =	Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5	=	217.81	(kN/m)

- Peso del terreno sulla scarpa di monte del muro (Pt)

Pt1 =	$(B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$	=	335.50	(kN/m)
Pt2 =	$(0,5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$	=	0.00	(kN/m)
Pt3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma) / 2$	=	30.25	(kN/m)
Pt =	Pt1 + Pt2 + Pt3	=	365.75	(kN/m)

#### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

- Muro (Mm)

Mm1 =	$Pm1 \cdot (B1 + 2/3 B2)$	=	0.00	(kNm/m)
Mm2 =	$Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0,5 \cdot B3)$	=	66.00	(kNm/m)
Mm3 =	$Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 B4)$	=	59.87	(kNm/m)
Mm4 =	$Pm4 \cdot (B/2)$	=	312.50	(kNm/m)
Mm5 =	$Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	=	0.00	(kNm/m)
Mm =	Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5	=	438.37	(kNm/m)

- Terrapieno a tergo del muro

Mt1 =	$Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0,5 \cdot B5)$	=	1165.86	(kNm/m)
Mt2 =	$Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot (B4 + B5))$	=	0.00	(kNm/m)
Mt3 =	$Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4)$	=	53.44	(kNm/m)
Mt =	Mt1 + Mt2 + Mt3	=	1219.30	(kNm/m)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	117 di 164

### CONDIZIONE SISMICA +

#### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione sismica +

$$\begin{aligned} Sst1 &= 0,5 \cdot \gamma' \cdot (1 + kv) \cdot (H2 + H3 + H4 + Hd)^2 \cdot kas^+ &= & 161.88 \text{ (kN/m)} \\ Ssq1 &= qs \cdot (H2 + H3 + H4 + Hd) \cdot kas^+ &= & 0.00 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

- Componente orizzontale condizione sismica +

$$\begin{aligned} Sst1h &= Sst1 \cdot \cos \delta &= & 156.63 \text{ (kN/m)} \\ Ssq1h &= Ssq1 \cdot \cos \delta &= & 0.00 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

- Componente verticale condizione sismica +

$$\begin{aligned} Sst1v &= Sst1 \cdot \sin \delta &= & 40.88 \text{ (kN/m)} \\ Ssq1v &= Ssq1 \cdot \sin \delta &= & 0.00 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

- Spinta passiva sul dente

$$Sp = -\frac{1}{2} \cdot \gamma_1' \cdot (1 + kv) \cdot Hd^2 \cdot kps^+ + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot (1 + kv) \cdot kps^+ \cdot H2) \cdot Hd = 0.00 \text{ (kN/m)}$$

#### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Condizione sismica +

$$\begin{aligned} MSst1 &= Sst1h \cdot ((H2 + H3 + H4 + Hd) / 3 - Hd) &= & 339.37 \text{ (kN/m)} \\ MSst2 &= Sst1v \cdot B &= & 204.41 \text{ (kN/m)} \\ MSsq1 &= Ssq1h \cdot ((H2 + H3 + H4 + Hd) / 2 - Hd) &= & 0.00 \text{ (kN/m)} \\ MSsq2 &= Ssq1v \cdot B &= & 0.00 \text{ (kN/m)} \\ MSP &= \gamma_1' \cdot Hd^3 \cdot kps^+ / 3 + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot kps^+ \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2 &= & 0.00 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

#### INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO

- Inerzia del muro (Ps)

$$Ps = Pm \cdot kh = 19.31 \text{ (kN/m)}$$

- Inerzia orizzontale e verticale del terrapieno a tergo del muro (Pts)

$$\begin{aligned} Ptsh &= Pt \cdot kh &= & 32.42 \text{ (kN/m)} \\ Ptsv &= Pt \cdot kv &= & 16.21 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

- Incremento di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs)

$$\begin{aligned} MPs1 &= kh \cdot Pm1 \cdot (H2 + H3 / 3) &= & 0.00 \text{ (kNm/m)} \\ MPs2 &= kh \cdot Pm2 \cdot (H2 + H3 / 2) &= & 18.28 \text{ (kNm/m)} \\ MPs3 &= kh \cdot Pm3 \cdot (H2 + H3 / 3) &= & 9.50 \text{ (kNm/m)} \\ MPs4 &= kh \cdot Pm4 \cdot (H2 / 2) &= & 5.54 \text{ (kNm/m)} \\ MPs5 &= -kh \cdot Pm5 \cdot (Hd / 2) &= & 0.00 \text{ (kNm/m)} \\ MPs &= MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5 &= & 33.32 \text{ (kNm/m)} \end{aligned}$$

- Incremento di momento dovuto all'inerzia del terrapieno (MPts)

$$\begin{aligned} MPts1 &= kh \cdot Pt1 \cdot ((H2 + H3 / 2) - (B - B5 / 2) \cdot 0.5) &= & 59.85 \text{ (kNm/m)} \\ MPts2 &= kh \cdot Pt2 \cdot ((H2 + H3 + H4 / 3) - (B - B5 / 3) \cdot 0.5) &= & 0.00 \text{ (kNm/m)} \\ MPts3 &= kh \cdot Pt3 \cdot ((H2 + H3 \cdot 2 / 3) - (B1 + B2 + B3 + 2 / 3 \cdot B4) \cdot 0.5) &= & 9.53 \text{ (kNm/m)} \\ MPts &= MPts1 + MPts2 + MPts3 &= & 69.38 \text{ (kNm/m)} \end{aligned}$$

#### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

$$\begin{aligned} Mfext1 &= ms &= & 0.00 \text{ (kNm/m)} \\ Mfext2 &= fs \cdot (H3 + H2) &= & 0.00 \text{ (kNm/m)} \\ Mfext3 &= vs \cdot (B1 + B2 + B3 / 2) &= & 0.00 \text{ (kNm/m)} \end{aligned}$$

### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + vs + Sst1v + Ssq1v + Ptsv = 640.65 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sst1h + Ssq1h + fs + Ps + Ptsh = 208.36 \text{ (kN/m)}$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = tg \phi_1' = 0.57 \text{ (-)}$$

$$Fs = (N \cdot f + Sp) / T = 1.76 \text{ (-)} > 1$$

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + vs + Sst1v + Ssq1v + Ptsv = 640.65 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sst1h + Ssq1h + fs + Ps + Ptsh - Sp = 208.36 \text{ (kN/m)}$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = Ms - Mr = 1420.02 \text{ (kNm/m)}$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = Xc \cdot N - MM = 181.62 \text{ (kNm/m)}$$

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	118 di 164

### Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'Nc'ic + q_0Nq'iq + 0,5\gamma_1B'N\gamma'i\gamma$$

$c'1'$	coesione terreno di fondaz.	=	0.00	(kN/mq)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	=	32.02	(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d'H2'$	sovraccarico stabilizzante	=	28.50	(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	=	0.28	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	=	4.43	(m)

I valori di  $Nc$ ,  $Nq$  e  $N\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$Nq = \tan^2(45 + \phi/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan(\phi))}$	(1 in cond. nd)	=	23.22	(-)
$Nc = (Nq - 1) / \tan(\phi)$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	=	35.54	(-)
$N\gamma = 2 \cdot (Nq + 1) \cdot \tan(\phi)$	(0 in cond. nd)	=	30.29	(-)

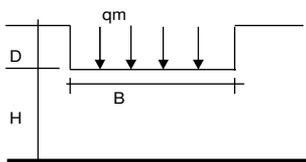
I valori di  $iq$ ,  $iq$  e  $i\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$iq = (1 - T / (N + B^*c'cotg\phi))^m$	(1 in cond. nd)	=	0.46	(-)
$ic = iq - (1 - iq) / (Nq - 1)$		=	0.43	(-)
$i\gamma = (1 - T / (N + B^*c'cotg\phi))^{m+1}$		=	0.31	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	=	693.23	(kN/m <sup>2</sup> )
$F = q_{lim} \cdot B^* / N$		=	4.80	(-) > 1

### CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE



$$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_m \cdot B^* / E$$

(Christian e Carrier, 1976)

Profondità Piano di Posa della Fondazione	D	1.50	(m)
	D/B*	0.34	(m)
	H/B*	2.26	(m)
Carico unitario medio (qm)	$q_m = N / (B - 2e) = N / B^*$	144.52	(kN/mq)
Coefficiente di forma $\mu_0 = f(D/B)$	$\mu_0 =$	0.946	(-)
Coefficiente di profondità $\mu_1 = f(H/B)$	$\mu_1 =$	0.72	(-)
Cedimento della fondazione	$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_m \cdot B^* / E =$	2.17	(mm)

### CONDIZIONE SISMICA -

#### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione sismica -

$Sst2 = 0,5\gamma_1(1-kv)(H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas'$	=	150.48	(kN/m)
$Ssq2 = qs(H2+H3+H4+Hd) \cdot kas'$	=	0.00	(kN/m)

- Componente orizzontale condizione sismica -

$Sst2h = Sst2 \cdot \cos\delta$	=	145.60	(kN/m)
$Ssq2h = Ssq2 \cdot \cos\delta$	=	0.00	(kN/m)

- Componente verticale condizione sismica -

$Sst2v = Sst2 \cdot \sin\delta$	=	38.00	(kN/m)
$Ssq2v = Ssq2 \cdot \sin\delta$	=	0.00	(kN/m)

- Spinta passiva sul dente

$Sp = \frac{1}{2} \gamma_1' (1-kv) Hd^2 \cdot kps + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{0.5} + \gamma_1' (1-kv) kps \cdot H2) \cdot Hd =$		0.00	(kN/m)
--	--	------	--------

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	119 di 164

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Condizione sismica -

MSst1 = Sst2h * ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)	=	315.47	(kN/m)
MSst2 = Sst2v * B	=	190.01	(kN/m)
MSsq1 = Ssq2h * ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)	=	0.00	(kN/m)
MSsq2 = Ssq2v * B	=	0.00	(kN/m)
MSp = $\gamma_1 * Hd^3 * kps / 3 + (2 * c1 * kps^{-0.5} + \gamma_1 * kps * H2) * Hd^2 / 2$	=	0.00	(kN/m)

### INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO

- Inerzia del muro (Ps)

Ps = Pm*kh	=	19.31	(kN/m)
------------	---	-------	--------

- Inerzia orizzontale e verticale del terrapieno a tergo del muro (Pts)

Ptsh = Pt*kh	=	32.42	(kN/m)
Ptsv = Pt*kv	=	-16.21	(kN/m)

- Incremento di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs)

MPs1 = kh*Pm1*(H2+H3/3)	=	0.00	(kNm/m)
MPs2 = kh*Pm2*(H2 + H3/2)	=	18.28	(kNm/m)
MPs3 = kh*Pm3*(H2+H3/3)	=	9.50	(kNm/m)
MPs4 = kh*Pm4*(H2/2)	=	5.54	(kNm/m)
MPs5 = -kh*Pm5*(Hd/2)	=	0.00	(kNm/m)
MPs = MPs1+MPs2+MPs3+MPs4+MPs5	=	33.32	(kNm/m)

- Incremento di momento dovuto all'inerzia del terrapieno (MPts)

MPts1 = kh*Pt1*((H2 + H3/2) + (B - B5/2)*0.5)	=	163.19	(kNm/m)
MPts2 = kh*Pt2*((H2 + H3 + H4/3) + (B - B5/3)*0.5)	=	0.00	(kNm/m)
MPts3 = kh*Pt3*((H2+H3*2/3)+(B1+B2+B3+2/3*B4)*0.5)=	=	15.50	(kNm/m)
MPts = MPts1 + MPts2 + MPts3	=	178.68	(kNm/m)

### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

Mfext1 = ms	=	0.00	(kNm/m)
Mfext2 = fs*(H3 + H2)	=	0.00	(kNm/m)
Mfext3 = vs*(B1 + B2 + B3/2)	=	0.00	(kNm/m)

### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

N = Pm+ Pt + vs + Sst1v + Ssq1v + Ptsv	=	605.36	(kN/m)
--	---	--------	--------

Risultante forze orizzontali (T)

T = Sst1h + Ssq1h + fs+Ps + Ptsh	=	197.33	(kN/m)
----------------------------------	---	--------	--------

Coefficiente di attrito alla base (f)

f = tgφ'	=	0.57	(-)
----------	---	------	-----

Fs = (N*f + Sp) / T	=	1.75	(-)	>	1
---------------------	---	------	-----	---	---

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

N = Pm+ Pt + vs + Sst1v + Ssq1v + Ptsv	=	605.36	(kN/m)
--	---	--------	--------

Risultante forze orizzontali (T)

T = Sst1h + Ssq1h + fs+Ps + Ptsh - Sp	=	197.33	(kN/m)
---------------------------------------	---	--------	--------

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

MM = Ms - Mr	=	1320.21	(kNm/m)
--------------	---	---------	---------

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

M = Xc*N - MM	=	193.18	(kNm/m)
---------------	---	--------	---------

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	120 di 164

### Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'N_c'ic + q_0'N_q'iq + 0,5'\gamma_1'B'N_\gamma'i_\gamma$$

$c'1'$	coesione terreno di fondaz.	=	0.00	(kN/mq)
$\phi'1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	=	32.02	(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	=	19.00	(kN/m³)
$q_0 = \gamma d'H_2'$	sovraccarico stabilizzante	=	28.50	(kN/m²)
$e = M / N$	eccentricità	=	0.32	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	=	4.36	(m)

I valori di  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$N_q = tg^2(45 + \phi/2) \cdot e^{(\pi \cdot tg(\phi))}$	(1 in cond. nd)	=	23.22	(-)
$N_c = (N_q - 1)/tg(\phi)$	(2+π in cond. nd)	=	35.54	(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot tg(\phi)$	(0 in cond. nd)	=	30.29	(-)

I valori di  $i_c$ ,  $i_q$  e  $i_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

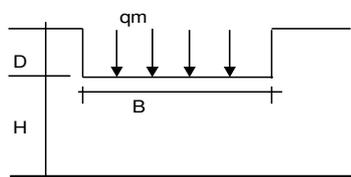
$i_q = (1 - T/(N + B \cdot c' \cotg(\phi)))^m$	(1 in cond. nd)	=	0.45	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_q - 1)$		=	0.43	(-)
$i_\gamma = (1 - T/(N + B \cdot c' \cotg(\phi)))^{m+1}$		=	0.31	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	=	685.00	(kN/m²)
-----------	--------------------------	---	--------	---------

$$F = q_{lim} \cdot B^* / N = 4.94 \quad (-) \quad > \quad 1$$

### CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE



$$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_m \cdot B^* / E \quad (\text{Christian e Carrier, 1976})$$

Profondità Piano di Posa della Fondazione

$D =$	1.50	(m)
$D/B^* =$	0.34	(m)
$H/B^* =$	2.29	(m)

Carico unitario medio ( $q_m$ )  $q_m = N / (B - 2 \cdot e) = N / B^* = 138.79$  (kN/mq)

Coefficiente di forma  $\mu_0 = f(D/B)$   $\mu_0 = 0.945$  (-)

Coefficiente di profondità  $\mu_1 = f(H/B)$   $\mu_1 = 0.72$  (-)

Cedimento della fondazione  $\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_m \cdot B^* / E = 2.07$  (mm)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc REL	N.prog 01	Rev. B	Pag.di Pag. 121 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	--------------	-----------	---------------------------

### CALCOLI STATICI - Verifica allo Stato Limite Ultimo

#### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

##### Calcestruzzo

Rck = 30 (MPa)  
 $\gamma_c = 2.1$   
 $f_{cd} = Rck / \gamma_{m,c} = 14.11$  (MPa)

##### Copriferro

c = 6.40 (cm)

##### Acciaio

tipo di acciaio B450C  
 $f_{yk} = 450$  (MPa)  
 $\gamma_E = 1.00$   
 $\gamma_S = 1.15$   
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S / \gamma_E = 391.30$  (MPa)  
 $E_s = 210000$  (MPa)  
 $\epsilon_{ys} = 0.19\%$   
 $\epsilon_{uk} = 7.500\%$   
 $\epsilon_{ud} = 6.750\%$

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

##### Reazione del terreno

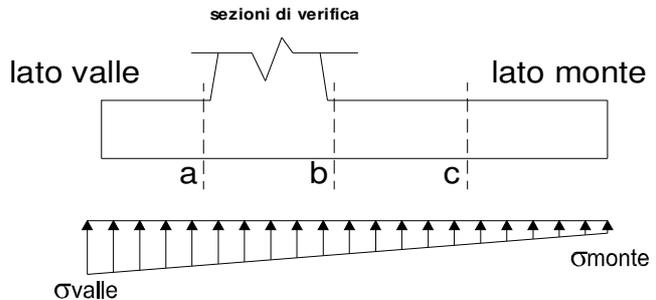
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 5.00 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 4.17 \text{ (m}^3\text{)}$$

caso	N [kN]	M [kNm]	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
sisma+	640.65	181.62	171.72	84.54
sisma-	605.36	193.18	167.43	74.71

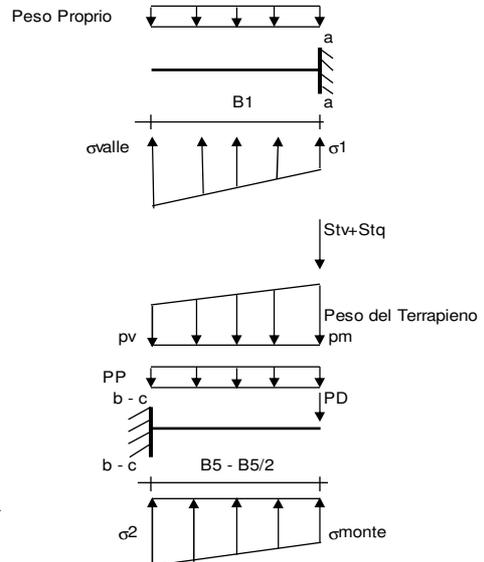


##### Mensola Lato Valle

Peso Proprio. PP = 25.00 (kN/m)

$$M_a = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$$

caso	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$M_a$ [kNm]	$T_a$ [kN]
sisma+	171.72	154.28	69.90	136.89
sisma-	167.43	148.89	68.68	131.18



##### Mensola Lato Monte

PP = 25.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
 PD = 0.00 (kN/m) peso proprio soletta fondazione  
 peso proprio dente

pm = 110.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
 pvb = 110.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
 pvc = 110.00 (kN/m<sup>2</sup>)

$$M_b = (\sigma_{monte} - (pvb + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (pm - pvb) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 - (Stv + Sqv) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B^2 - Bd^2) / 2 - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2/2) + Msp + Sp \cdot H2 / 2$$

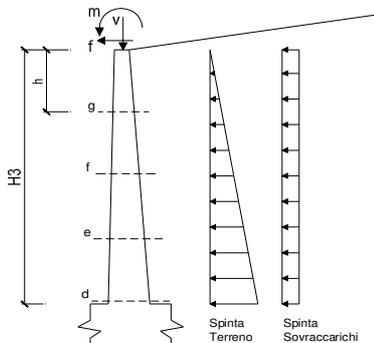
$$M_c = (\sigma_{monte} - (pvc + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B^2 / 2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B^2 / 2)^2 / 6 - (pm - pvc) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B^2 / 2)^2 / 3 - (Stv + Sqv) \cdot (B^2 / 2) \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B^2 / 2 - Bd^2) / 2 - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2/2) + Msp + Sp \cdot H2 / 2$$

caso	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$M_b$ [kNm]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$M_c$ [kNm]	$T_b$ [kN]
sisma+	84.54	137.72	-304.76	111.13	-117.67	-131.93
sisma-	74.71	131.27	-280.81	102.99	-110.14	-117.39

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	122 di 164

### CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO

#### Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo



Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_g/g$	=	0.21	(-)	S <b>1.39</b>
	<b>Coefficiente di riduzione dell'accelerazione</b>	$\beta$	=	<b>0.31</b>	(-)	
	il muro ammette spostamenti? (si/no)		<input checked="" type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	bm = var.	
	coefficiente sismico orizzontale	kh	=	0.0886	(-)	
	coefficiente sismico verticale	kv	=	0.0443	(-)	
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla parete	ka	=	<b>0.35</b>	(-)	0.352
	componente orizzontale	kah	=	0.331	(-)	
	componente verticale	kav	=	0.12	(-)	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas+	=	<b>0.41</b>	(-)	0.411
	componente orizzontale	kash+	=	0.39	(-)	
	componente verticale	kasv+	=	0.14	(-)	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas-	=	<b>0.42</b>	(-)	0.417
	componente orizzontale	kash-	=	0.39	(-)	
	componente verticale	kasv-	=	0.14	(-)	

$$M_t = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma' (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/3 \quad \text{o} \quad \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma' (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/2 \quad (\text{con sisma})$$

$$M_q = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot q \cdot h^2$$

$$M_{ext} = m \cdot f \cdot h$$

$$M_{inerzia} = \Sigma P_m \cdot b \cdot kh \quad (\text{solo con sisma})$$

$$N_t = \frac{1}{2} K_{a_{vert.}} \cdot \gamma' (1 \pm kv) \cdot h^2$$

$$N_q = K_{a_{vert.}} \cdot q \cdot h$$

$$N_{ext} = v$$

$$N_{pp+inerzia} = \Sigma P_m \cdot (1 \pm kv)$$

#### condizione sismica +

sezione	h	Tt	Tq	T <sub>ext</sub>	T <sub>inerzia</sub>	T <sub>tot</sub>
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	5.50	121.71	0.00	0.00	8.23	129.94
e-e	4.13	68.46	0.00	0.00	5.54	74.00
f-f	2.75	30.43	0.00	0.00	3.28	33.70
g-g	1.38	7.61	0.00	0.00	1.43	9.04

#### condizione sismica +

sezione	h	Mt	Mq	M <sub>ext</sub>	M <sub>inerzia</sub>	M <sub>tot</sub>	Nt	Nq	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp+inerzia</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	5.50	334.71	0.00	0.00	19.55	354.26	45.12	0.00	0.00	96.93	142.04
e-e	4.13	141.20	0.00	0.00	10.13	151.34	25.38	0.00	0.00	65.29	90.67
f-f	2.75	41.84	0.00	0.00	4.12	45.96	11.28	0.00	0.00	38.59	49.87
g-g	1.38	5.23	0.00	0.00	0.93	6.16	2.82	0.00	0.00	16.83	19.65

#### condizione sismica -

sezione	h	Mt	Mq	M <sub>ext</sub>	M <sub>inerzia</sub>	M <sub>tot</sub>	Nt	Nq	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp+inerzia</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	5.50	310.79	0.00	0.00	19.55	330.34	41.89	0.00	0.00	88.70	130.59
e-e	4.13	131.11	0.00	0.00	10.13	141.25	23.56	0.00	0.00	59.75	83.31
f-f	2.75	38.85	0.00	0.00	4.12	42.97	10.47	0.00	0.00	35.32	45.79
g-g	1.38	4.86	0.00	0.00	0.93	5.79	2.62	0.00	0.00	15.40	18.02

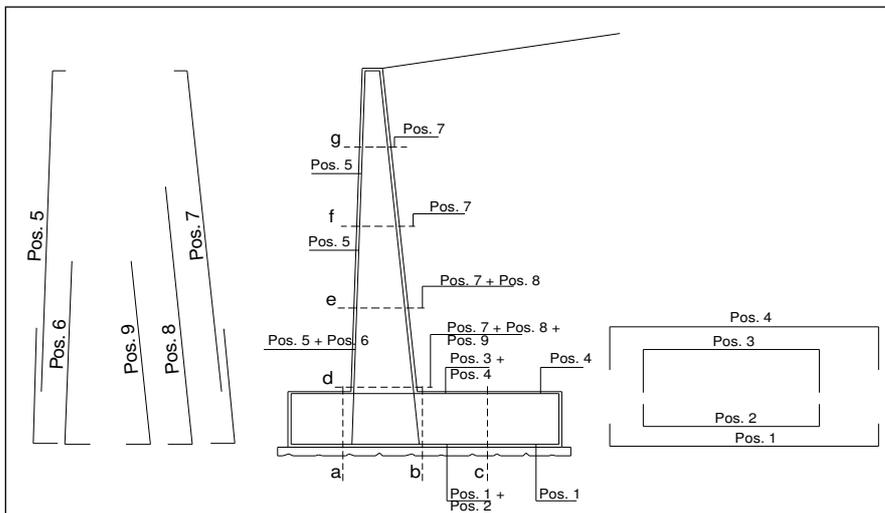
## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 123 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	---------------------------

### SCHEMA DELLE ARMATURE

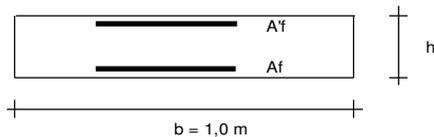


### ARMATURE

pos	n°/ml	φ	pos	n°/ml	φ
1	5.0	20	5	5.0	14
2	0.0	0	6	0.0	0
3	5.0	16	7	5.0	20
4	5.0	20	8	5.0	16
			9	0.0	0

Calcola

### VERIFICHE



a-a	pos 1-2-3-4
b-b	pos 1-2-3-4
c-c	pos 1-4
d-d	pos 5-6-7-8-9
e-e	pos 5-7-8
f-f	pos 5-7
g-g	pos 5-7

Sez.	Msd (kNm)	Nsd (kN)	Tsd (kN)	h (m)	Af (cm <sup>2</sup> )	A'f (cm <sup>2</sup> )	MRd (kNm)	NRd (kN)	TRd (kN)
(-)									
a - a	69.90	0.00	118.59	1.00	15.71	25.76	559.19	0.00	264.54
b - b	-304.76	0.00	-99.76	1.00	25.76	15.71	902.87	0.00	311.97
c - c	-117.67	0.00	8.23	1.00	15.71	15.71	559.18	0.00	264.54
d - d	354.26	142.04	5.54	0.95	25.76	7.70	909.07	142.04	303.53
e - e	151.34	90.67	3.28	0.81	25.76	7.70	743.70	90.67	278.93
f - f	45.96	49.87	1.43	0.68	15.71	7.70	373.31	49.87	278.93

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	124 di 164

### Combinazione SLE e a Fessurazione

		caso	coefficienti parziali		proprietà del terreno			$\gamma_R$		
			azioni		tan $\phi'$	c'	$c_u$	Cap. portante	Scorrimento	Res.Terreno Valle
			permanenti sfavorevoli	temporane e variabili sfavorevoli						
SLU	○	caso A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	○	EQU+M2	1.10	1.50	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00
SLD	○	--	1.00	1.00	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00
def.	⊗	<b>SLE</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>

#### Dati Geotecnici (usati per verifiche di stabilità e SLU)

Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	$\phi'$	=	35.00	(°)		
	Peso Unità di Volume del terrapieno	$\gamma'$	=	20.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Angolo di Inclinazione Piano di Campagna	$\epsilon$	=	0.00	(°)		
	Angolo di attrito terreno-paramento	$\delta_{muro}$	=	17.50	(°)		
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	$\delta_{sup id}$	=	17.50	(°)		
Dati Terreno Fondazione	Coesione Terreno di Fondazione	$c_1'$	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )		
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	$\phi_i'$	=	35.52	(°)		
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	$\gamma_i$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	$\gamma_d$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Profondità Piano di Posa della Fondazione	H2'	=	1.50	(m)		
	Profondità Falda	Zw	=	100.00	(m)		
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla superficie ideale	ka	=	0.25	(-)	0.246	Valori di Normativa
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas+	=	0.30	(-)	0.296	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas-	=	0.30	(-)	0.301	
	Coeff. Di Spinta Passiva in Fondazione	kp	=	3.77	(-)	3.772	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps+	=	3.60	(-)	3.604	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps-	=	3.59	(-)	3.588	

#### Carichi Agenti (usati per verifiche di stabilità e allo SLU)

Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	q	=	20.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni statiche	f	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni statiche	v	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni statiche	m	=	0.00	(kNm/m)
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	qs	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni sismiche	fs	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni sismiche	vs	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni sismiche	ms	=	0.00	(kNm/m)

### VERIFICHE GEOTECNICHE

#### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

$Pm1 = (B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	=	0.00	(kN/m)
$Pm2 = (B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	=	55.00	(kN/m)
$Pm3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	=	37.81	(kN/m)
$Pm4 = (B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	=	125.00	(kN/m)
$Pm5 = (Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	=	0.00	(kN/m)
$Pm = Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5$	=	217.81	(kN/m)

- Peso del terreno sulla scarpa di monte del muro (Pt)

$Pt1 = (B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$	=	335.50	(kN/m)
$Pt2 = (0.5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$	=	0.00	(kN/m)
$Pt3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma)/2$	=	30.25	(kN/m)
$Pt = Pt1 + Pt2 + Pt3$	=	365.75	(kN/m)

#### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

- Muro (Mm)

$Mm1 = Pm1 \cdot (B1 + 2/3 B2)$	=	0.00	(kNm/m)
$Mm2 = Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0.5 B3)$	=	66.00	(kNm/m)
$Mm3 = Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 B4)$	=	59.87	(kNm/m)
$Mm4 = Pm4 \cdot (B/2)$	=	312.50	(kNm/m)
$Mm5 = Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	=	0.00	(kNm/m)
$Mm = Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5$	=	438.37	(kNm/m)

- Terrapieno a tergo del muro

$Mt1 = Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0.5 B5)$	=	1165.86	(kNm/m)
$Mt2 = Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 (B4 + B5))$	=	0.00	(kNm/m)
$Mt3 = Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 B4)$	=	53.44	(kNm/m)
$Mt = Mt1 + Mt2 + Mt3$	=	1219.30	(kNm/m)

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	125 di 164

## **VERIFICA A FESSURAZIONE - CALCOLO SOLLECITAZIONI**

### **FORZE VERTICALI**

- Peso del Muro (Pm)

$$\begin{aligned}
 Pm1 &= (B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2 &= & 0.00 & \text{(kN/m)} \\
 Pm2 &= (B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) &= & 55.00 & \text{(kN/m)} \\
 Pm3 &= (B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2 &= & 37.81 & \text{(kN/m)} \\
 Pm4 &= (B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls}) &= & 125.00 & \text{(kN/m)} \\
 Pm5 &= (Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls}) &= & 0.00 & \text{(kN/m)} \\
 Pm &= Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5 &= & 217.81 & \text{(kN/m)}
 \end{aligned}$$

- Peso del terreno sulla scarpa di monte del muro (Pt)

$$\begin{aligned}
 Pt1 &= (B5 \cdot H3 \cdot \gamma) &= & 335.50 & \text{(kN/m)} \\
 Pt2 &= (0,5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma) &= & 0.00 & \text{(kN/m)} \\
 Pt3 &= (B4 \cdot H3 \cdot \gamma) / 2 &= & 30.25 & \text{(kN/m)} \\
 Pt &= Pt1 + Pt2 + Pt3 &= & 365.75 & \text{(kN/m)}
 \end{aligned}$$

### **MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO**

- Muro (Mm)

$$\begin{aligned}
 Mm1 &= Pm1 \cdot (B1 + 2/3 \cdot B2) &= & 0.00 & \text{(kNm/m)} \\
 Mm2 &= Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0,5 \cdot B3) &= & 66.00 & \text{(kNm/m)} \\
 Mm3 &= Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 \cdot B4) &= & 59.87 & \text{(kNm/m)} \\
 Mm4 &= Pm4 \cdot (B/2) &= & 312.50 & \text{(kNm/m)} \\
 Mm5 &= Pm5 \cdot (B - Bd/2) &= & 0.00 & \text{(kNm/m)} \\
 Mm &= Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5 &= & 438.37 & \text{(kNm/m)}
 \end{aligned}$$

- Terrapieno a tergo del muro

$$\begin{aligned}
 Mt1 &= Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0,5 \cdot B5) &= & 1165.86 & \text{(kNm/m)} \\
 Mt2 &= Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot (B4 + B5)) &= & 0.00 & \text{(kNm/m)} \\
 Mt3 &= Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4) &= & 53.44 & \text{(kNm/m)} \\
 Mt &= Mt1 + Mt2 + Mt3 &= & 1219.30 & \text{(kNm/m)}
 \end{aligned}$$

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	126 di 164

### CONDIZIONE STATICA (SLE e FESSURAZIONE)

#### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

Spinta totale condizione statica

$$St = 0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka = 103.99 \quad (\text{kN/m})$$

$$Sq = q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka = 32.00 \quad (\text{kN/m})$$

componente orizzontale condizione statica

$$Sth = St \cdot \cos \delta = 99.17 \quad (\text{kN/m})$$

$$Sqh = Sq \cdot \cos \delta = 30.52 \quad (\text{kN/m})$$

componente verticale condizione statica

$$Stv = St \cdot \sin \delta = 31.27 \quad (\text{kN/m})$$

$$Sqv = Sq \cdot \sin \delta = 9.62 \quad (\text{kN/m})$$

Spinta passiva sul dente

$$Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot Hd^2 \cdot kp + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd = 0.00 \quad (\text{kN/m})$$

#### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

condizione statica

$$MSt1 = Sth \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3 - Hd) = 214.88 \quad (\text{kN/m})$$

$$MSt2 = Stv \cdot B = 156.35 \quad (\text{kN/m})$$

$$MSq1 = Sqh \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd) = 99.17 \quad (\text{kN/m})$$

$$MSq2 = Sqv \cdot B = 48.11 \quad (\text{kN/m})$$

$$MSp = \gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kp / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2 = 0.00 \quad (\text{kN/m})$$

#### FORZE ESTERNE

Momento dovuto alle Forze Esterne (Mfext)

$$Mfext1 = m = 0.00 \quad (\text{kNm/m})$$

$$Mfext2 = f \cdot (H3 + H2) = 0.00 \quad (\text{kNm/m})$$

$$Mfext3 = v \cdot (B1 + B2 + B3/2) = 0.00 \quad (\text{kNm/m})$$

#### AZIONI TOTALI SULLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + v + Stv + Sqv = 624.45 \quad (\text{kN/m})$$

Momento stabilizzante (Ms)

$$Ms = Mm + Mt + MSt2 + MSq2 + Mfext3 = 1862.13 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$Mr = MSt1 + MSq1 + Mfext1 + Mfext2 + MSp = 314.05 \quad (\text{kNm/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = Ms - Mr = 1548.08 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = Xc \cdot N - MM = 13.06 \quad (\text{kNm/m})$$

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc REL	N.prog 01	Rev. B	Pag.di Pag. 127 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	--------------	-----------	---------------------------

### CALCOLI STATICI

#### DATI DI PROGETTO:

##### Caratteristiche dei Materiali

##### Calcestruzzo

Rck = 30 (MPa)

fctm = 0.30\*(0.83\*Rck)<sup>2</sup> = 2.56 (MPa)

coefficiente omogeneizzazione acciaio n = 15

##### Copriferro (distanza asse armatura-bordo)

c = 6.20 (cm)

##### Copriferro minimo di normativa (ricoprimento armatura)

c<sub>min</sub> = 2.00 (cm)

##### Valore limite di apertura delle fessure

w1 = 0.2

##### Acciaio

tipo di acciaio B450C

f<sub>yk</sub> = 450 (MPa)

E<sub>s</sub> = 210000 (MPa)

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

##### Reazione del terreno

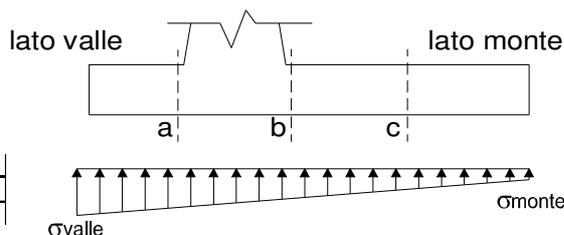
σ<sub>valle</sub> = N / A + M / W<sub>gg</sub>

σ<sub>monte</sub> = N / A - M / W<sub>gg</sub>

A = b\*h = 5.00 (m<sup>2</sup>)

W<sub>gg</sub> = b\*h<sup>2</sup>/6 = 4.17 (m<sup>3</sup>)

caso	N [kN]	M [kNm]	σ <sub>valle</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	σ <sub>monte</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
statico	624.45	13.06	128.02	121.76

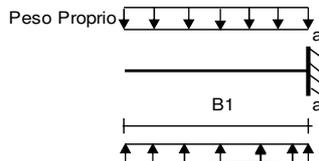


##### Mensola Lato Valle - Schema Statico

PP = 25.00 (kN/m) peso proprio soletta fondazione

Ma = σ<sub>1</sub>\*B<sup>1</sup>/2 + (σ<sub>valle</sub> - σ<sub>1</sub>)\*B<sup>1</sup><sup>2</sup>/3 - PP\*B<sup>1</sup>/2\*(1±kv)

caso	σ <sub>valle</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	σ <sub>1</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Ma [kNm]
statico	128.02	126.77	51.30



##### Mensola Lato Monte - Schema Statico

PP = 25.00 (kN/m<sup>2</sup>) peso proprio soletta fondazione

PD = 0.00 (kN/m) peso proprio dente

pm = 110.00 (kN/m<sup>2</sup>)

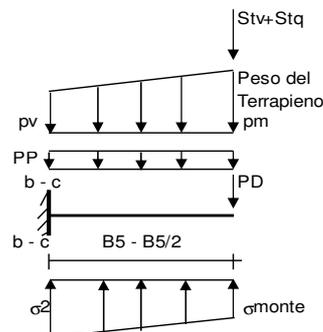
pvb = 110.00 (kN/m<sup>2</sup>)

pvc = 110.00 (kN/m<sup>2</sup>)

M<sub>b</sub> = (σ<sub>monte</sub> - (p<sub>vb</sub> + PP) \* (1 ± kv)) \* B<sup>5</sup>/2 + (σ<sub>2b</sub> - σ<sub>monte</sub>) \* B<sup>5</sup>/6 - (p<sub>m</sub> - p<sub>vb</sub>) \* (1 ± kv) \* B<sup>5</sup>/3 + (Stv + Sqv) \* B<sup>5</sup> - PD \* (1 ± kv) \* (B<sup>5</sup> - B<sub>d</sub>/2) - PD \* kh \* (H<sub>d</sub> + H<sub>2</sub>/2) + M<sub>sp</sub> + Sp \* H<sub>2</sub>/2

M<sub>c</sub> = (σ<sub>monte</sub> - (p<sub>vc</sub> + PP) \* (1 ± kv)) \* (B<sub>5</sub>/2)<sup>2</sup> + (σ<sub>2c</sub> - σ<sub>monte</sub>) \* (B<sub>5</sub>/2)<sup>2</sup>/6 - (p<sub>m</sub> - p<sub>vc</sub>) \* (1 ± kv) \* (B<sub>5</sub>/2)<sup>2</sup>/3 + (Stv + Sqv) \* (B<sub>5</sub>/2) - PD \* (1 ± kv) \* (B<sub>5</sub>/2 - B<sub>d</sub>/2) - PD \* kh \* (H<sub>d</sub> + H<sub>2</sub>/2) + M<sub>sp</sub> + Sp \* H<sub>2</sub>/2

caso	σ <sub>monte</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	σ <sub>2b</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	M <sub>b</sub> [kNm]	σ <sub>2c</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	M <sub>c</sub> [kNm]
statico	121.76	125.58	-180.39	123.67	-77.02



## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

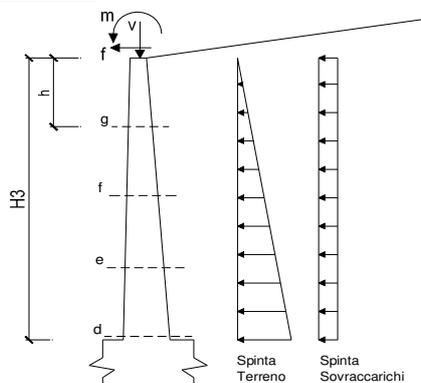
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	128 di 164

### CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO

#### Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo



Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_g/g$	=	0.21	(-)	S	=	1.39
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione	$\beta$	=	0.31	(-)			
	il muro ammette spostamenti? (si/no)	<input checked="" type="radio"/> si <input type="radio"/> no						bm = var.
	coefficiente sismico orizzontale	kh	=	0.0886	(-)			
	coefficiente sismico verticale	kv	=	0.0443	(-)			
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla parete	ka	=	0.29	(-)			0.287
	componente orizzontale	kah	=	0.26	(-)			
	componente verticale	kav	=	0.11	(-)			
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas+	=	0.34	(-)			0.340
	componente orizzontale	kash+	=	0.31	(-)			
	componente verticale	kasv+	=	0.13	(-)			
Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas-	=	0.35	(-)			0.345	
componente orizzontale	kash-	=	0.32	(-)				
componente verticale	kasv-	=	0.14	(-)				

#### condizione statica

sezione	h	Mt	Mq	M <sub>ext</sub>	M <sub>tot</sub>	Nt	Nq	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	5.50	146.50	79.91	0.00	226.40	34.27	12.46	0.00	92.81	139.54
e-e	4.13	61.80	44.95	0.00	106.75	19.27	9.35	0.00	62.52	91.14
f-f	2.75	18.31	19.98	0.00	38.29	8.57	6.23	0.00	36.95	51.75
g-g	1.38	2.29	4.99	0.00	7.28	2.14	3.12	0.00	16.11	21.37

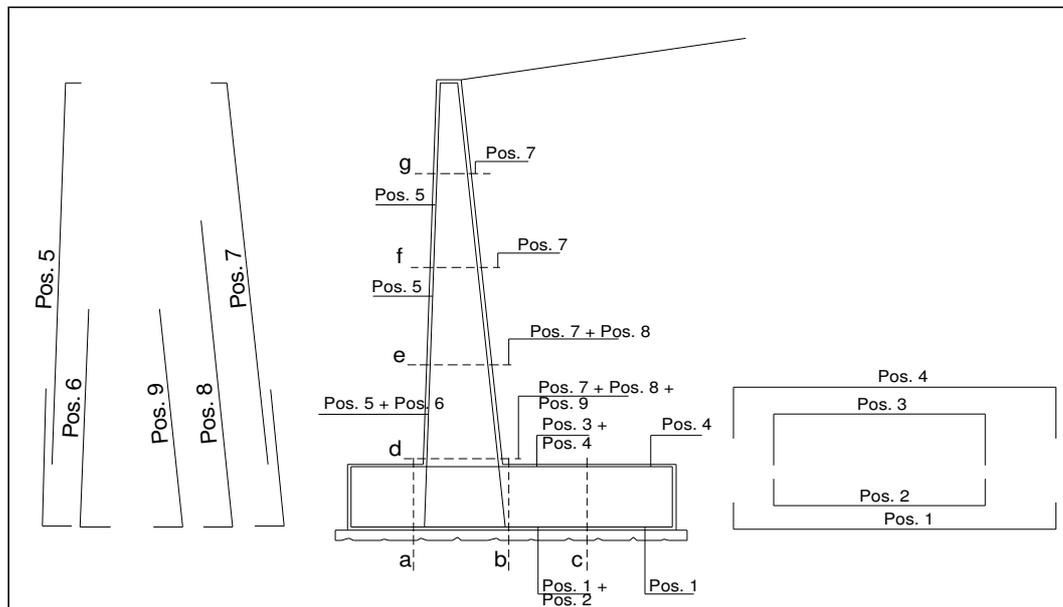
## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 129 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	---------------------------

### SCHEMA DELLE ARMATURE

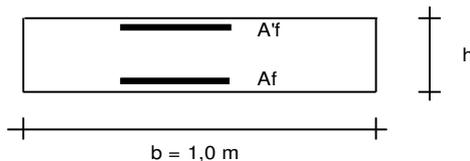


### ARMATURE

pos	n°/ml	φ	pos	n°/ml	φ
1	5.0	20	5	5.0	14
2	0.0	0	6	0.0	0
3	5.0	16	7	5.0	20
4	5.0	20	8	5.0	16
			9	0.0	0

Calcola

### VERIFICHE



a-a pos 1-2-3-4  
 b-b pos 1-2-3-4  
 c-c pos 1-4  
 d-d pos 5-6-7-8-9  
 e-e pos 5-7-8  
 f-f pos 5-7  
 g-g pos 5-7

### Condizione Statica

Sez.	M	N	h	Af	Af'	σ <sup>c</sup>	σ <sup>f</sup>	wk	w <sub>amm</sub>
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)
a - a	51.30	0.00	1.00	15.71	25.76	0.54	37.08	0.049	0.200
b - b	-180.39	0.00	1.00	25.76	15.71	1.64	80.82	0.079	0.200
c - c	-77.02	0.00	1.00	15.71	15.71	0.85	55.77	0.074	0.200
d - d	226.40	139.54	0.95	25.76	7.70	2.46	83.78	0.082	0.200
e - e	106.75	91.14	0.81	25.76	7.70	1.53	44.95	0.042	0.200
f - f	38.29	51.75	0.68	15.71	7.70	0.90	28.18	0.029	0.200

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

**N.B.** La condizione statica si assume come azione di lunga durata o ripetuta ( $\beta_2=0.5$ ),

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

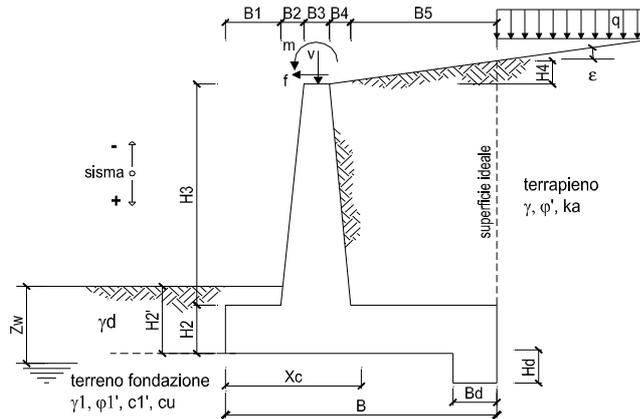
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	130 di 164

### 1.3 TABULATI MURO SEZIONE H= 3.90 M

Combinazione STATICA: A1+M1+R1



OPERA Hmuro = 3.90 m

DATI DI PROGETTO:

#### Geometria del Muro

Elevazione	H3 =	3.90	(m)
Aggetto Valle	B2 =	0.00	(m)
Spessore del Muro in Testa	B3 =	0.40	(m)
Aggetto monte	B4 =	0.39	(m)

#### Geometria della Fondazione

Larghezza Fondazione	B =	3.60	(m)
Spessore Fondazione	H2 =	0.80	(m)
Suola Lato Valle	B1 =	0.80	(m)
Suola Lato Monte	B5 =	2.01	(m)
Altezza dente	Hd =	0.00	(m)
Larghezza dente	Bd =	0.00	(m)
Mezzzeria Sezione	Xc =	1.80	(m)

Peso Specifico del Calcestruzzo  $\gamma_{cls}$  = 25.00 (kN/m<sup>3</sup>)



#### Dati Geotecnici

Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	$\phi' = 35.00$ (°)	
	Peso Unità di Volume del terrapieno	$\gamma = 20.00$ (kN/m <sup>3</sup> )	
	Angolo di inclinazione Piano di Campagna	$\epsilon = 0.00$ (°)	
	Angolo di attrito terreno-paramento	$\delta_{muro} = 17.50$ (°)	
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	$\delta_{sup id} = 17.50$ (°)	
Dati Terreno Fondazione	Condizioni	<input checked="" type="radio"/> drenate <input type="radio"/> Non Drenate	
	Coesione Terreno di Fondazione	$c' = 0.00$ (kPa)	
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione ( $\tan \phi_{m} = 0.85 \cdot \tan \phi_p$ )	$\phi_{m} = 35.52$ (°)	$\phi_p = 40$
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	$\gamma_t = 19.00$ (kN/m <sup>3</sup> )	
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	$\gamma_d = 19.00$ (kN/m <sup>3</sup> )	
	Profondità Piano di Posa della Fondazione	$H2' = 1.30$ (m)	
	Profondità Falda	$Zw = 100.00$ (m)	
	Profondità "Significativa" (n.b.: consigliata H = 2*B)	$Hs = 7.20$ (m)	
	Modulo di deformazione	$E = 200000$ (kN/m <sup>2</sup> )	
Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_g/g = 0.2060$ (-)	$S = 1.388$
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione	$\beta_m = 0.31$ (-)	Coefficiente Categoria di:
	il muro è libero di ruotare al piede? (si/no)	<input checked="" type="radio"/> si <input type="radio"/> no	
	il muro ammette spostamenti? (si/no)	<input checked="" type="radio"/> si <input type="radio"/> no	
	coefficiente sismico orizzontale	$kh = 0.0886$ (-)	
	coefficiente sismico verticale	$k_v = 0.0443$ (-)	
Coefficienti di Spinta	Coef. di Spinta Attiva sulla superficie ideale	$ka = 0.25$ (-)	0.246
	Coef. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale sisma +	$kas+ = 0.30$ (-)	0.296
	Coef. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale sisma -	$kas- = 0.30$ (-)	0.301
	Coef. Di Spinta Passiva in Fondazione	$kp = 3.77$ (-)	3.772
	Coef. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione sisma +	$kps+ = 3.60$ (-)	3.604
	Coef. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione sisma -	$kps- = 3.59$ (-)	3.588

#### Carichi Agenti

Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	q =	20.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni statiche	f =	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni statiche	v =	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni statiche	m =	0.00	(kNm/m)
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	qs =	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni sismiche	fs =	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni sismiche	vs =	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni sismiche	ms =	0.00	(kNm/m)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	131 di 164

coefficienti parziali										
SLU	☉	caso	azioni		proprietà del terreno			$\gamma_R$		
			permanenti sfavorevoli	temporane e variabili sfavorevoli	tan $\phi'$	c'	$c_u$	Cap.	Scorrimen	Res.Terreno
								portante	to	Valle
							$\gamma_R$	$\gamma_R$	$\gamma_R$	
		caso A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		caso A2+M2+R2	1.00	1.30	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00
SLD	☉	--	1.00	1.00	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00
def.	☉	--	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

### Dati Geotecnici (usati per verifiche di stabilità e SLU)

Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	$\phi'$	=	35.00	(°)		
	Peso Unità di Volume del terrapieno	$\gamma'$	=	26.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Angolo di Inclinazione Piano di Campagna	$\epsilon$	=	0.00	(°)		
	Angolo di attrito terreno-paramento	$\delta_{muro}$	=	17.50	(°)		
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	$\delta_{sup id}$	=	17.50	(°)		
Dati Terreno Fondazione	Coesione Terreno di Fondazione	$c_1'$	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )		
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	$\phi_1'$	=	35.52	(°)		
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	$\gamma_1$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Peso Unità di Volume del Rinterrato della Fondazione	$\gamma_d$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Profondità Piano di Posizione della Fondazione	H2'	=	1.30	(m)		
	Profondità Falda	Zw	=	100.00	(m)		
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla superficie ideale	ka	=	0.25	(-)	0.246	Valori di Normativa
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas+	=	0.30	(-)	0.296	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas-	=	0.30	(-)	0.301	
	Coeff. Di Spinta Passiva in Fondazione	kp	=	3.77	(-)	3.772	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps+	=	3.60	(-)	3.604	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps-	=	3.59	(-)	3.588	

### Carichi Agenti (usati per verifiche di stabilità e allo SLU)

Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	q	=	30.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni statiche	f	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni statiche	v	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni statiche	m	=	0.00	(kNm/m)
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	qs	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni sismiche	fs	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni sismiche	vs	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni sismiche	ms	=	0.00	(kNm/m)

## VERIFICHE GEOTECNICHE

### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

$Pm1 = (B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	=	0.00	(kN/m)
$Pm2 = (B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	=	39.00	(kN/m)
$Pm3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	=	19.01	(kN/m)
$Pm4 = (B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	=	72.00	(kN/m)
$Pm5 = (Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	=	0.00	(kN/m)
$Pm = Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5$	=	130.01	(kN/m)

- Peso del terreno sulla scarpa di monte del muro (Pt)

$Pt1 = (B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$	=	156.78	(kN/m)
$Pt2 = (0,5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$	=	0.00	(kN/m)
$Pt3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma) / 2$	=	15.21	(kN/m)
$Pt = Pt1 + Pt2 + Pt3$	=	171.99	(kN/m)

### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

- Muro (Mm)

$Mm1 = Pm1 \cdot (B1 + 2/3 B2)$	=	0.00	(kNm/m)
$Mm2 = Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0,5 B3)$	=	39.00	(kNm/m)
$Mm3 = Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 B4)$	=	25.29	(kNm/m)
$Mm4 = Pm4 \cdot (B/2)$	=	129.60	(kNm/m)
$Mm5 = Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	=	0.00	(kNm/m)
$Mm = Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5$	=	193.89	(kNm/m)

- Terrapieno a tergo del muro

$Mt1 = Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0,5 B5)$	=	406.84	(kNm/m)
$Mt2 = Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot (B4 + B5))$	=	0.00	(kNm/m)
$Mt3 = Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4)$	=	22.21	(kNm/m)
$Mt = Mt1 + Mt2 + Mt3$	=	429.05	(kNm/m)

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	132 di 164

**CONDIZIONE STATICA (SLU) ( caso A1+M1+R1 )**
**SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

- Spinta totale condizione statica

$$St = 0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka = 179,98 \text{ (kN/m)}$$

$$Sq = q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka = 27,69 \text{ (kN/m)}$$

- Componente orizzontale condizione statica

$$Sth = St \cdot \cos \delta = 171,65 \text{ (kN/m)}$$

$$Sqh = Sq \cdot \cos \delta = 26,41 \text{ (kN/m)}$$

- Componente verticale condizione statica

$$Stv = St \cdot \sin \delta = 54,12 \text{ (kN/m)}$$

$$Sqv = Sq \cdot \sin \delta = 8,33 \text{ (kN/m)}$$

- Spinta passiva sul dente

$$Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot Hd^2 \cdot kp + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0,5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd = 0,00 \text{ (kN/m)}$$

**MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

- Condizione statica

$$MSt1 = Sth \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3 - Hd) = 429,12 \text{ (kNm)}$$

$$MSt2 = Stv \cdot B = 297,66 \text{ (kNm)}$$

$$MSq1 = Sqh \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd) = 99,03 \text{ (kNm)}$$

$$MSq2 = Sqv \cdot B = 45,79 \text{ (kNm)}$$

$$MSp = \gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kp / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0,5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2 = 0,00 \text{ (kNm)}$$

**MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE**

$$Mfext1 = m = 0,00 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mfext2 = f \cdot (H3 + H2) = 0,00 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mfext3 = v \cdot (B1 + B2 + B3/2) = 0,00 \text{ (kNm/m)}$$

**VERIFICA ALLO SCORRIMENTO ( caso A1+M1+R1 )**

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + v + Stv + Sqv = 808,51 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sth + Sqh + f = 198,05 \text{ (kN/m)}$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \tan \phi_1' = 0,71 \text{ (-)}$$

$$Fs = (N \cdot f + Sp) / T = 2,91 \text{ (-)} > 1$$

**VERIFICA AL RIBALTAMENTO ( caso A1+M1+R1 )**

Momento stabilizzante (Ms)

$$Ms = Mm + Mt + MSt2 + MSq2 + Mfext3 = 2655,51 \text{ (kNm/m)}$$

Momento ribaltante (Mr)

$$Mr = MSt1 + MSq1 + Mfext1 + Mfext2 + MSp = 528,15 \text{ (kNm/m)}$$

$$Fr = Ms / Mr = 5,03 \text{ (-)} > 1$$

**VERIFICA DELLA FONDAZIONE ( caso A1+M1+R1 )**

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + v + Stv + Sqv = 808,51 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sth + Sqh + f - Sp = 198,05 \text{ (kN/m)}$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = Ms - Mr = 2127,36 \text{ (kNm/m)}$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = Xc \cdot N - MM = 96,04 \text{ (kNm/m)}$$

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	133 di 164

**Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)**

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'Nc'ic + q_0 \cdot Nq \cdot iq + 0,5 \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N\gamma \cdot i\gamma$$

$c1'$	coesione terreno di fondaz.	=	0.00	(kPa)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	=	40.00	(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d \cdot H_2'$	sovraccarico stabilizzante	=	28.50	(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	=	0.12	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	=	5.26	(m)

 I valori di  $Nc$ ,  $Nq$  e  $N\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$Nq = \tan^2(45 + \phi/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan(\phi))}$	(1 in cond. nd)	=	64.20	(-)
$Nc = (Nq - 1) / \tan(\phi)$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	=	75.31	(-)
$N\gamma = 2 \cdot (Nq + 1) \cdot \tan(\phi)$	(0 in cond. nd)	=	109.41	(-)

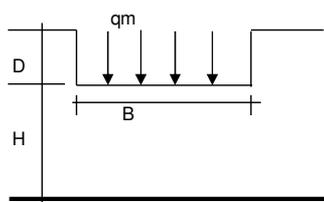
 I valori di  $ic$ ,  $iq$  e  $i\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$iq = (1 - T / (N + B \cdot c' \cot(\phi)))^m$	(1 in cond. nd)	=	0.57	(-)
$ic = iq - (1 - iq) / (Nq - 1)$		=	0.56	(-)
$i\gamma = (1 - T / (N + B \cdot c' \cot(\phi)))^{m+1}$		=	0.43	(-)

 (fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	=	3397.36	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	---	---------	----------------------

$$F = q_{lim} \cdot B^* / N = 22.11 \quad (-) \quad > \quad 1$$

**CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE**


$$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot qm \cdot B^* / E \quad (\text{Christian e Carrier, 1976})$$

Profondità Piano di Posa della Fondazione	$D =$	1.50	(m)
	$D/B^* =$	0.29	(m)
	$H/B^* =$	2.09	(m)
Carico unitario medio (qm)	$qm = N / (B - 2 \cdot e) = N / B^* =$	153.64	(kN/mq)
Coefficiente di forma $\mu_0 = f(D/B)$	$\mu_0 =$	0.948	(-)
Coefficiente di profondità $\mu_1 = f(H/B)$	$\mu_1 =$	0.68	(-)
Cedimento della fondazione	$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot qm \cdot B^* / E =$	2.61	(mm)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 134 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

### CALCOLI STATICI - Verifica allo Stato Limite Ultimo

#### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

##### Calcestruzzo

Rck = 30 (MPa)  
 $\gamma_c = 2.1$   
 $f_{cd} = Rck / \gamma_{m,c} = 14.11$  (MPa)

##### Copriferro

c = 6.20 (cm)

##### Acciaio

tipo di acciaio: B450C  
 $f_{yk} = 450$  (MPa)  
 $\gamma_E = 1.00$   
 $\gamma_S = 1.15$   
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S / \gamma_E = 391.30$  (MPa)  
 $E_s = 210000$  (MPa)  
 $\epsilon_{ys} = 0.19\%$   
 $\epsilon_{uk} = 7.500\%$   
 $\epsilon_{ud} = 6.750\%$

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

##### Reazione del terreno

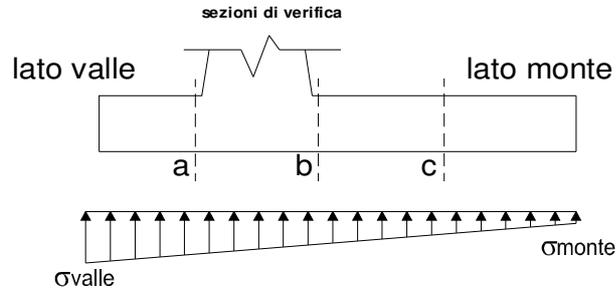
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 3.60 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 2.16 \text{ (m}^3\text{)}$$

caso	N [kN]	M [kNm]	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
statico	333.69	47.01	114.46	70.93

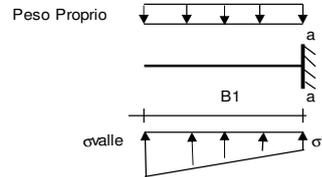


##### Mensola Lato Valle

Peso Proprio. PP = 20.00 (kN/m)

$$M_a = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm k_v)$$

caso	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$M_a$ [kNm]	$T_a$ [kN]
statico	114.46	104.78	29.19	71.70



##### Mensola Lato Monte

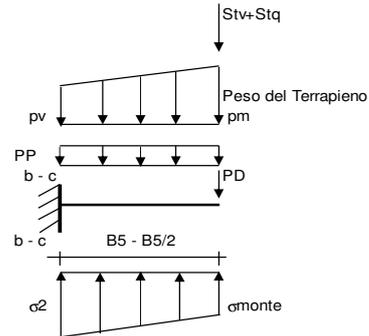
PP = 20.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
 PD = 0.00 (kN/m)  
 peso proprio soletta fondazione  
 peso proprio dente

pm = 101.40 (kN/m<sup>2</sup>)  
 pvb = 101.40 (kN/m<sup>2</sup>)  
 pvc = 101.40 (kN/m<sup>2</sup>)

$$M_b = (\sigma_{monte} - (pvb + PP) \cdot (1 \pm k_v)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{2b} - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (pm - pvb) \cdot (1 \pm k_v) \cdot B^2 / 3 + (Stv + Sqv) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (1 \pm k_v) \cdot (B^2 - Bd^2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2/2) + Msp + Sp \cdot H2/2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (pvc + PP) \cdot (1 \pm k_v)) \cdot (B5/2)^2 / 2 + (\sigma_{2c} - \sigma_{monte}) \cdot (B5/2)^2 / 6 - (pm - pvc) \cdot (1 \pm k_v) \cdot (B5/2)^2 / 3 + (Stv + Sqv) \cdot (B5/2) - PD \cdot (1 \pm k_v) \cdot (B5/2 - Bd/2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2/2) + Msp + Sp \cdot H2/2$$

caso	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{2b}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$M_b$ [kNm]	$\sigma_{2c}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$M_c$ [kNm]	$T_b$ [kN]
statico	70.93	95.23	-149.29	83.08	-55.29	-108.71



## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

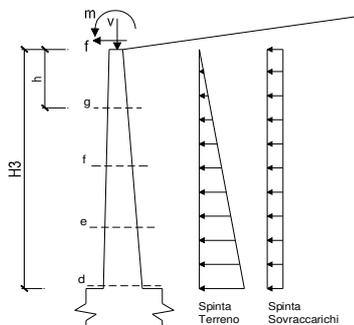
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc REL	N.prog 01	Rev. B	Pag.di Pag. 135 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	--------------	-----------	---------------------------

### CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO

Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo



Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_g/g$	=	0.21	(-)	S 1.39
	<b>Coefficiente di riduzione dell'accelerazione</b>	<b><math>\beta</math></b>	=	<b>0.31</b>	(-)	
Coefficienti di Spinta	il muro ammette spostamenti? (si/no)	<input checked="" type="radio"/> si		<input type="radio"/> no	bm = var	Categoria di suolo
	coefficiente sismico orizzontale	kh	=	0.0886	(-)	
	coefficiente sismico verticale	kv	=	0.0443	(-)	
	Coeff. di Spinta Attiva sulla parete	ka	=	0.29	(-)	0.287
	componente orizzontale	kah	=	0.264	(-)	0.340
	componente verticale	kav	=	0.11	(-)	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas+	=	0.34	(-)	
	componente orizzontale	kash+	=	0.31	(-)	0.345
	componente verticale	kasv+	=	0.13	(-)	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas-	=	0.35	(-)	
componente orizzontale	kash-	=	0.32	(-)	0.14	
componente verticale	kasv-	=	0.14	(-)		

$$M_t = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma' (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/3 \quad \text{o} \quad \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma' (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/2 \quad (\text{con sisma})$$

$$M_q = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot q \cdot h^2$$

$$M_{ext} = m + f \cdot h$$

$$M_{inerzia} = \Sigma P m_i \cdot b_i \cdot kh \quad (\text{solo con sisma})$$

$$N_t = \frac{1}{2} K_{a_{vert.}} \cdot \gamma' (1 \pm kv) \cdot h^2$$

$$N_q = K_{a_{vert.}} \cdot q \cdot h$$

$$N_{ext} = v$$

$$N_{pp+inerzia} = \Sigma P m_i \cdot (1 \pm kv)$$

condizione statica

sezione	h	Tt	Tq	T <sub>ext</sub>	T <sub>tot</sub>
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	3.90	52.23	30.91	0.00	83.14
e-e	2.93	29.38	23.18	0.00	52.56
f-f	1.95	13.06	15.45	0.00	28.51
g-g	0.98	3.26	7.73	0.00	10.99

condizione statica

sezione	h	Mt	Mq	M <sub>ext</sub>	M <sub>tot</sub>	Nt	Nq	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	3.90	67.90	60.27	0.00	128.17	22.40	13.25	0.00	58.01	93.66
e-e	2.93	28.65	33.90	0.00	62.55	12.60	9.94	0.00	39.94	62.48
f-f	1.95	8.49	15.07	0.00	23.55	5.60	6.63	0.00	24.25	36.48
g-g	0.98	1.06	3.77	0.00	4.83	1.40	3.31	0.00	10.94	15.65

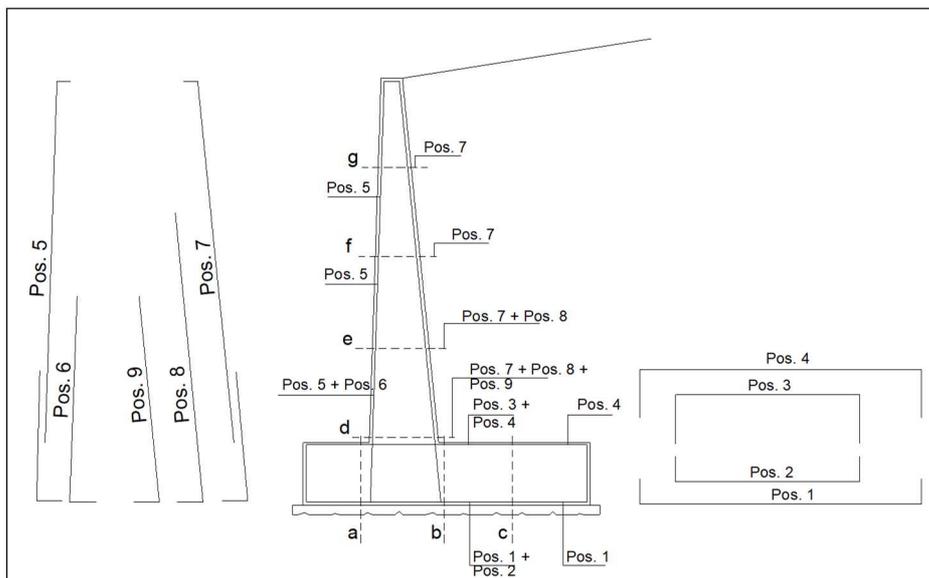
## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 136 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	---------------------------

### SCHEMA DELLE ARMATURE

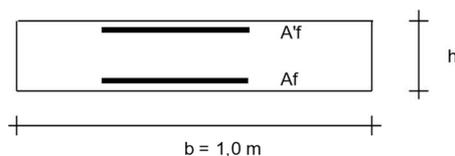


### ARMATURE

pos	n°/ml	φ	pos	n°/ml	φ
1	5.0	20	5	5.0	12
2	0.0	0	6	0.0	0
3	5.0	16	7	5.0	16
4	5.0	20	8	5.0	16
			9	0.0	0

Calcola

### VERIFICHE



- a-a pos 1-2-3-4
- b-b pos 1-2-3-4
- c-c pos 1-4
- d-d pos 5-6-7-8-9
- e-e pos 5-7-8
- f-f pos 5-7
- g-g pos 5-7

Sez.	Msd (kNm)	Nsd (kN)	Tsd (kN)	h (m)	Af (cm <sup>2</sup> )	Af' (cm <sup>2</sup> )	MRd (kNm)	NRd (kN)	TRd (kN)
(-)									
a - a	69.37	0.00	137.59	1.00	15.71	25.76	562.73	0.00	278.49
b - b	-561.10	0.00	-249.09	1.00	25.76	15.71	906.87	0.00	328.42
c - c	-200.06	0.00	170.84	1.00	15.71	15.71	562.58	0.00	278.49
d - d	398.06	191.07	100.93	1.05	20.11	5.65	841.34	191.07	337.42
e - e	179.70	121.74	49.15	0.89	20.11	5.65	671.64	121.74	300.38
f - f	60.22	66.78	15.51	0.73	10.05	5.65	279.37	66.78	283.56

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	137 di 164

### Combinazione STATICA: ECC+M1+R1

SLU	caso	coefficienti parziali		proprietà del terreno			$\gamma_R (R_3)$			
		azioni		tan $\phi'$	c'	$c_u$	Cap. portante	Scorrimento	Res. Terreno Valle	Ribaltamento
		permanenti sfavorevoli	temporanee variabili sfavorevoli				$\gamma_R$	$\gamma_R$	$\gamma_R$	$\gamma_R$
○	caso A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
●	<b>caso ECC+M1+R1</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>
○	--	1.00	1.00	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00	1.00
○	--	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

#### Dati Geotecnici (usati per verifiche di stabilità e SLU)

Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	$\phi'$	=	35.00	(°)		
	Peso Unità di Volume del terrapieno	$\gamma'$	=	20.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Angolo di Inclinazione Piano di Campagna	$\epsilon$	=	0.00	(°)		
	Angolo di attrito terreno-paramento	$\delta_{muro}$	=	17.50	(°)		
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	$\delta_{sup id}$	=	17.50	(°)		
Dati Terreno Fondazione	Coesione Terreno di Fondazione	$c1'$	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )		
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione ( $\tan \phi'_R = 0.67 \cdot \tan \phi'_p$ )	$\phi'_R$	=	35.52	(°)		
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	$\gamma_1$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	$\gamma_d$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Profondità Piano di Posa della Fondazione	H2'	=	1.30	(m)		
	Profondità Falda	Zw	=	100.00	(m)		
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla superficie ideale	ka	=	0.25	(-)	0.246	Valori di Normativa
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas+	=	0.30	(-)	0.296	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas-	=	0.30	(-)	0.301	
	Coeff. Di Spinta Passiva in Fondazione	kp	=	3.77	(-)	3.772	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps+	=	3.60	(-)	3.604	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps-	=	3.59	(-)	3.588	

#### Carichi Agenti (usati per verifiche di stabilità e allo SLU)

Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	q	=	20.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni statiche	f	=	12.05	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni statiche	v	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni statiche	m	=	12.05	(kNm/m)
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	qs	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni sismiche	fs	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni sismiche	vs	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni sismiche	ms	=	0.00	(kNm/m)

### VERIFICHE GEOTECNICHE

#### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

$Pm1 = (B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	=	0.00	(kN/m)
$Pm2 = (B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	=	39.00	(kN/m)
$Pm3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	=	19.01	(kN/m)
$Pm4 = (B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	=	72.00	(kN/m)
$Pm5 = (Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	=	0.00	(kN/m)
$Pm = Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5$	=	130.01	(kN/m)

- Peso del terreno sulla scarpa di monte del muro (Pt)

$Pt1 = (B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$	=	156.78	(kN/m)
$Pt2 = (0,5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$	=	0.00	(kN/m)
$Pt3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma) / 2$	=	15.21	(kN/m)
$Pt = Pt1 + Pt2 + Pt3$	=	171.99	(kN/m)

#### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

- Muro (Mm)

$Mm1 = Pm1 \cdot (B1 + 2/3 \cdot B2)$	=	0.00	(kNm/m)
$Mm2 = Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0,5 \cdot B3)$	=	39.00	(kNm/m)
$Mm3 = Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 \cdot B4)$	=	25.29	(kNm/m)
$Mm4 = Pm4 \cdot (B/2)$	=	129.60	(kNm/m)
$Mm5 = Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	=	0.00	(kNm/m)
$Mm = Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5$	=	193.89	(kNm/m)

- Terrapieno a tergo del muro

$Mt1 = Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0,5 \cdot B5)$	=	406.84	(kNm/m)
$Mt2 = Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot (B4 + B5))$	=	0.00	(kNm/m)
$Mt3 = Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4)$	=	22.21	(kNm/m)
$Mt = Mt1 + Mt2 + Mt3$	=	429.05	(kNm/m)

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	138 di 164

**CONDIZIONE STATICA (SLU) ( caso ECC+M1+R1 )**
**SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

- Spinta totale condizione statica

$$St = 0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka = 54.37 \text{ (kN/m)}$$

$$Sq = q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka = 23.14 \text{ (kN/m)}$$

- Componente orizzontale condizione statica

$$Sth = St \cdot \cos \delta = 51.85 \text{ (kN/m)}$$

$$Sqh = Sq \cdot \cos \delta = 22.06 \text{ (kN/m)}$$

- Componente verticale condizione statica

$$Stv = St \cdot \sin \delta = 16.35 \text{ (kN/m)}$$

$$Sqv = Sq \cdot \sin \delta = 6.96 \text{ (kN/m)}$$

- Spinta passiva sul terreno

$$Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot Hd^2 \cdot kp + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd = 0.00 \text{ (kN/m)}$$

**MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

- Condizione statica

$$MSt1 = Sth \cdot (H2+H3+H4+Hd) / 3 - Hd = 81.24 \text{ (kNm)}$$

$$MSt2 = Stv \cdot B = 58.86 \text{ (kNm)}$$

$$MSq1 = Sqh \cdot (H2+H3+H4+Hd) / 2 - Hd = 51.85 \text{ (kNm)}$$

$$MSq2 = Sqv \cdot B = 25.05 \text{ (kNm)}$$

$$MSp = \gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kp / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2 = 0.00 \text{ (kNm)}$$

**MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE**

$$Mfext1 = m = 12.05 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mfext2 = f \cdot (H3 + H2) = 56.64 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mfext3 = v \cdot (B1 + B2 + B3/2) = 0.00 \text{ (kNm/m)}$$

**VERIFICA ALLO SCORRIMENTO ( caso ECC+M1+R1 )**

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + v + Stv + Sqv = 325.31 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sth + Sqh + f = 85.97 \text{ (kN/m)}$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \tan \phi_1' = 0.71 \text{ (-)}$$

$$Fs = (N \cdot f + Sp) / T = 2.70 \text{ (-)} > 1$$

**VERIFICA AL RIBALTAMENTO ( caso ECC+M1+R1 )**

Momento stabilizzante (Ms)

$$Ms = Mm + Mt + MSt2 + MSq2 + Mfext3 = 706.84 \text{ (kNm/m)}$$

Momento ribaltante (Mr)

$$Mr = MSt1 + MSq1 + Mfext1 + Mfext2 + MSp = 201.77 \text{ (kNm/m)}$$

$$Fr = Ms / Mr = 3.50 \text{ (-)} > 1$$

**VERIFICA DELLA FONDAZIONE ( caso ECC+M1+R1 )**

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + v + Stv + Sqv = 325.31 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sth + Sqh + f - Sp = 85.97 \text{ (kN/m)}$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = Ms - Mr = 505.07 \text{ (kNm/m)}$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = Xc \cdot N - MM = 80.49 \text{ (kNm/m)}$$

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 139 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	---------------------------

### Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'Nc'ic + q_0Nq'iq + 0,5\gamma_1B'N\gamma'i\gamma$$

$c1'$	coesione terreno di fondaz.	=	0.00	(kPa)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	=	40.00	(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d^*H2'$	sovraccarico stabilizzante	=	24.70	(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	=	0.25	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	=	3.11	(m)

I valori di  $Nc$ ,  $Nq$  e  $N\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$Nq = tg^2(45 + \phi/2) * e^{(\pi * tg(\phi))}$	(1 in cond. nd)	=	64.20	(-)
$Nc = (Nq - 1)/tg(\phi)$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	=	75.31	(-)
$N\gamma = 2 * (Nq + 1) * tg(\phi)$	(0 in cond. nd)	=	109.41	(-)

I valori di  $ic$ ,  $iq$  e  $i\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

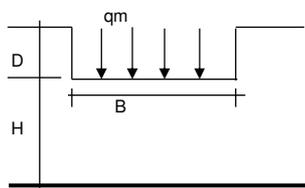
$iq = (1 - T/(N + B * c'cotg(\phi)))^m$	(1 in cond. nd)	=	0.54	(-)
$ic = iq - (1 - iq)/(Nq - 1)$		=	0.53	(-)
$i\gamma = (1 - T/(N + B * c'cotg(\phi)))^{m+1}$		=	0.40	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	=	2143.70	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	---	---------	----------------------

$$F = q_{lim} * B^* / N = 20.46 \quad (-) \quad > \quad 1$$

### CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE



$$\delta = \mu_0 * \mu_1 * qm * B^* / E \quad (\text{Christian e Carrier, 1976})$$

Profondità Piano di Posa della Fondazione	$D =$	1.30	(m)
	$D/B^* =$	0.42	(m)
	$H/B^* =$	2.32	(m)
Carico unitario medio ( $qm$ )	$qm = N / (B - 2 * e) = N / B^* =$	104.76	(kN/mq)
Coefficiente di forma $\mu_0 = f(D/B)$	$\mu_0 =$	0.942	(-)
Coefficiente di profondità $\mu_1 = f(H/B)$	$\mu_1 =$	0.73	(-)
Cedimento della fondazione	$\delta = \mu_0 * \mu_1 * qm * B^* / E =$	1.12	(mm)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 140 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

### CALCOLI STATICI - Verifica allo Stato Limite Ultimo

#### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

##### Calcestruzzo

Rck = 30 (MPa)

$\gamma_c = 2.1$

fcd = Rck /  $\gamma_{m,c}$  = 14.11 (MPa)

##### Copriferro

c = 6.20 (cm)

##### Acciaio

tipo di acciaio B450C

f<sub>yk</sub> = 450 (MPa)

$\gamma_E = 1.00$

$\gamma_S = 1.15$

f<sub>yd</sub> = f<sub>yk</sub> /  $\gamma_S$  /  $\gamma_E$  = 391.30 (MPa)

E<sub>s</sub> = 210000 (MPa)

$\epsilon_{ys} = 0.19\%$

$\epsilon_{uk} = 7.500\%$

$\epsilon_{ud} = 6.750\%$

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

##### Reazione del terreno

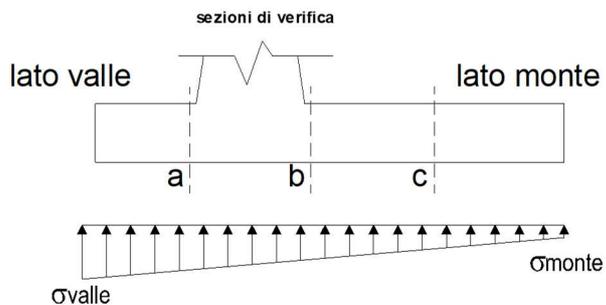
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 3.60 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 2.16 \text{ (m}^3\text{)}$$

caso	N [kN]	M [kNm]	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
statico	325.31	80.49	127.63	53.10

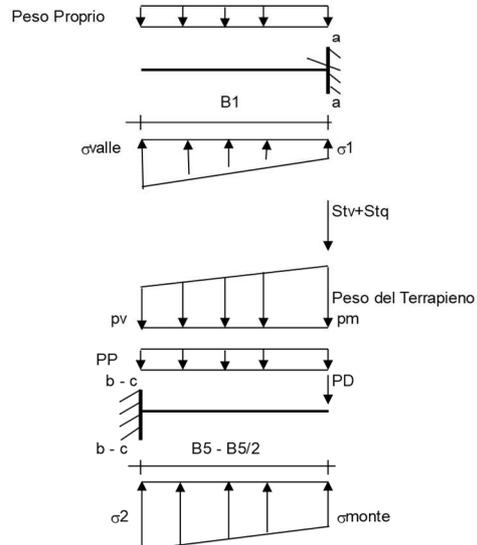


##### Mensola Lato Valle

Peso Proprio. PP = 20.00 (kN/m)

$$M_a = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$$

caso	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	M <sub>a</sub> [kNm]	T <sub>a</sub> [kN]
statico	127.63	111.07	32.67	79.48



##### Mensola Lato Monte

PP = 20.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
PD = 0.00 (kN/m)  
peso proprio soletta fondazione  
peso proprio dente

pm = 78.00 (kN/m<sup>2</sup>)

pvb = 78.00 (kN/m<sup>2</sup>)

pvc = 78.00 (kN/m<sup>2</sup>)

$$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{2b} - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 + (St_v + Sq_v) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B^2 - Bd / 2) - PD \cdot k \cdot h \cdot (H_d + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + (\sigma_{2c} - \sigma_{monte}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2)^2 / 3 + (St_v + Sq_v) \cdot (B_5 / 2) \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2 - Bd / 2) - PD \cdot k \cdot h \cdot (H_d + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$

caso	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{2b}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	M <sub>b</sub> [kNm]	$\sigma_{2c}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	M <sub>c</sub> [kNm]	T <sub>b</sub> [kN]
statico	53.10	94.71	-109.53	73.91	-42.60	-71.74

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

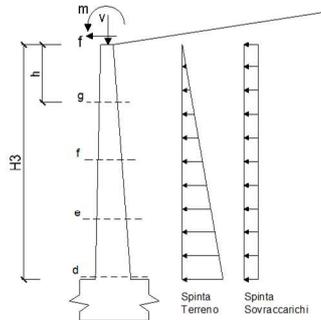
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 141 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	---------------------------

### CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO

#### Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo



Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_y/g$	=	0.21	(-)	S 1.39 (-)
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione	$\beta$	=	0.31	(-)	
	il muro ammette spostamenti? (si/no)			<input type="radio"/> si <input type="radio"/> no	bm = var.	
	coefficiente sismico orizzontale	kh	=	0.0886	(-)	
	coefficiente sismico verticale	kv	=	0.0443	(-)	
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla parete	ka	=	0.29	(-)	0.287
	componente orizzontale	kah	=	0.264	(-)	
	componente verticale	kav	=	0.11	(-)	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas+	=	0.34	(-)	0.340
	componente orizzontale	kash+	=	0.31	(-)	
	componente verticale	kasv+	=	0.13	(-)	
Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas-	=	0.35	(-)	0.345	
componente orizzontale	kash-	=	0.32	(-)		
componente verticale	kasv-	=	0.14	(-)		

$$M_t = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/3 \quad \text{o} \quad \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/2 \quad (\text{con sisma})$$

$$M_q = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot q \cdot h^2$$

$$M_{ext} = m \cdot f \cdot h$$

$$M_{inerzia} = \Sigma P_m \cdot b_i \cdot kh \quad (\text{solo con sisma})$$

$$N_t = \frac{1}{2} K_{a_{vert.}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2$$

$$N_q = K_{a_{vert.}} \cdot q \cdot h$$

$$N_{ext} = v$$

$$N_{pp+inerzia} = \Sigma P_m \cdot (1 \pm kv)$$

#### condizione statica

sezione	h [m]	Tt [kN/m]	Tq [kN/m]	T <sub>ext</sub> [kN/m]	T <sub>tot</sub> [kN/m]
d-d	3.90	40.18	20.60	12.05	72.83
e-e	2.93	22.60	15.45	12.05	50.10
f-f	1.95	10.04	10.30	12.05	32.40
g-g	0.98	2.51	5.15	12.05	19.71

#### condizione statica

sezione	h [m]	Mt [kNm/m]	Mq [kNm/m]	M <sub>ext</sub> [kNm/m]	M <sub>tot</sub> [kNm/m]	Nt [kN/m]	Nq [kN/m]	N <sub>ext</sub> [kN/m]	N <sub>pp</sub> [kN/m]	N <sub>tot</sub> [kN/m]
d-d	3.90	52.23	40.18	59.05	151.45	17.23	8.84	0.00	58.01	84.08
e-e	2.93	22.04	22.60	47.30	91.93	9.69	6.63	0.00	39.94	56.26
f-f	1.95	6.53	10.04	35.55	52.12	4.31	4.42	0.00	24.25	32.98
g-g	0.98	0.82	2.51	23.80	27.13	1.08	2.21	0.00	10.94	14.22

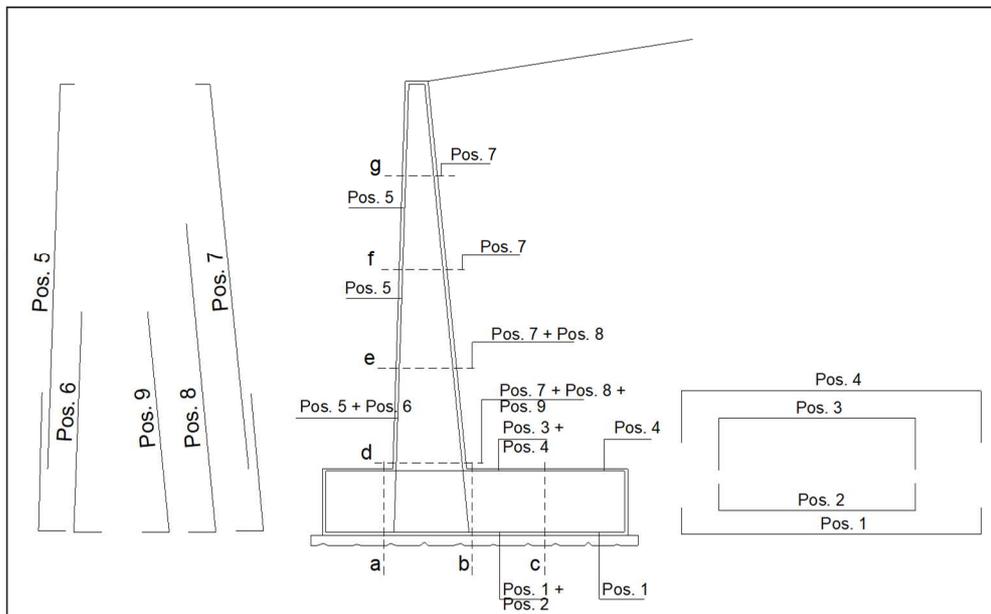
## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 142 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	---------------------------

### SCHEMA DELLE ARMATURE

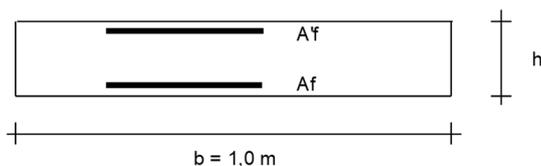


### ARMATURE

pos	n°/ml	φ	pos	n°/ml	φ
1	5.0	16	5	5.0	12
2	0.0	0	6	0.0	0
3	0.0	0	7	5.0	16
4	5.0	16	8	0.0	0
			9	0.0	0

Calcola

### VERIFICHE



a-a	pos 1-2-3-4
b-b	pos 1-2-3-4
c-c	pos 1-4
d-d	pos 5-6-7-8-9
e-e	pos 5-7-8
f-f	pos 5-7
g-g	pos 5-7

Sez.	M	N	Tsd	h	Af	A'f	Mu	NRd	TRd
(-)	(kNm)	(kN)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kNm)	(kN)	(kN)
a - a	32.67	0.00	79.48	0.80	10.05	10.05	286.51	0.00	202.33
b - b	-109.53	0.00	-71.74	0.80	10.05	10.05	286.51	0.00	202.33
c - c	-42.60	0.00	72.83	0.80	10.05	10.05	286.51	0.00	202.33
d - d	151.45	84.08	50.10	0.79	10.05	5.65	314.12	84.08	201.08
e - e	91.93	56.26	32.40	0.69	10.05	5.65	262.07	56.26	187.37
f - f	52.12	32.98	19.71	0.60	10.05	5.65	214.30	32.98	187.37

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	143 di 164

### Combinazione STATICA: A2+M2+R2

		coefficienti parziali								
		caso	azioni		proprietà del terreno			$\gamma_R$		
			permanenti sfavorevoli	temporane e variabili sfavorevoli	tan $\phi'$	c'	$c_u$	Cap. portante	Scorrimen to	Res.Terren o Valle
SLU	○	caso A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	⊗	<b>caso A2+M2+R2</b>	<b>1.00</b>	<b>1.30</b>	<b>1.25</b>	<b>1.25</b>	<b>1.40</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>
SLD	○	--	1.00	1.00	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00
def.	○	--	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

#### Dati Geotecnici (usati per verifiche di stabilità e SLU)

Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	$\phi'$	=	29.26	(°)	
	Peso Unità di Volume del terrapieno	$\gamma$	=	20.00	(kN/m <sup>3</sup> )	
	Angolo di Inclinazione Piano di Campagna	$\epsilon$	=	0.00	(°)	
	Angolo di attrito terreno-paramento	$\delta_{muro}$	=	14.63	(°)	
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	$\delta_{sup id}$	=	14.63	(°)	
Dati Terreno Fondazione	Coesione Terreno di Fondazione	$c1'$	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )	
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	$\phi_1'$	=	29.72	(°)	
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	$\gamma_1$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )	
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	$\gamma_d$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )	
	Profondità Piano di Posizione della Fondazione	H2'	=	1.30	(m)	
	Profondità Falda	Zw	=	100.00	(m)	
Coefficienti di Spinta	Coef. di Spinta Attiva sulla superficie ideale	ka	=	0.31	(-)	0.310
	Coef. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas+	=	0.37	(-)	0.367
	Coef. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas-	=	0.37	(-)	0.373
	Coef. Di Spinta Passiva in Fondazione	kp	=	2.97	(-)	2.967
	Coef. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps+	=	2.82	(-)	2.817
	Coef. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps-	=	2.80	(-)	2.802

#### Carichi Agenti (usati per verifiche di stabilità e allo SLU)

Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	q	=	26.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni statiche	f	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni statiche	v	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni statiche	m	=	0.00	(kNm/m)
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	qs	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni sismiche	fs	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni sismiche	vs	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni sismiche	ms	=	0.00	(kNm/m)

### VERIFICHE GEOTECNICHE

#### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

$$Pm1 = (B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2 = 0.00 \text{ (kN/m)}$$

$$Pm2 = (b3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) = 39.00 \text{ (kN/m)}$$

$$Pm3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2 = 19.01 \text{ (kN/m)}$$

$$Pm4 = (B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls}) = 72.00 \text{ (kN/m)}$$

$$Pm5 = (Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls}) = 0.00 \text{ (kN/m)}$$

$$Pm = Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5 = 130.01 \text{ (kN/m)}$$

- Peso del terreno sulla scarpa di monte del muro (Pt)

$$Pt1 = (B5 \cdot H3 \cdot \gamma) = 156.78 \text{ (kN/m)}$$

$$Pt2 = (0.5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma) = 0.00 \text{ (kN/m)}$$

$$Pt3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma) / 2 = 15.21 \text{ (kN/m)}$$

$$Pt = Pt1 + Pt2 + Pt3 = 171.99 \text{ (kN/m)}$$

#### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

- Muro (Mm)

$$Mm1 = Pm1 \cdot (B1 + 2/3 \cdot B2) = 0.00 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mm2 = Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0.5 \cdot B3) = 39.00 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mm3 = Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 \cdot B4) = 25.29 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mm4 = Pm4 \cdot (B/2) = 129.60 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mm5 = Pm5 \cdot (B - Bd/2) = 0.00 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mm = Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5 = 193.89 \text{ (kNm/m)}$$

- Terrapieno a tergo del muro

$$Mt1 = Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0.5 \cdot B5) = 406.84 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mt2 = Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot (B4 + B5)) = 0.00 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mt3 = Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4) = 22.21 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mt = Mt1 + Mt2 + Mt3 = 429.05 \text{ (kNm/m)}$$

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	144 di 164

### CONDIZIONE STATICA (SLU) ( caso A2+M2+R2 )

#### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione statica

$$St = 0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka = 68.59 \text{ (kN/m)}$$

$$Sq = q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka = 37.94 \text{ (kN/m)}$$

- Componente orizzontale condizione statica

$$Sth = St \cdot \cos \delta = 66.37 \text{ (kN/m)}$$

$$Sqh = Sq \cdot \cos \delta = 36.71 \text{ (kN/m)}$$

- Componente verticale condizione statica

$$Stv = St \cdot \sin \delta = 17.32 \text{ (kN/m)}$$

$$Sqv = Sq \cdot \sin \delta = 9.58 \text{ (kN/m)}$$

- Spinta passiva sul dente

$$Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot Hd^2 \cdot kp + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd = 0.00 \text{ (kN/m)}$$

#### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Condizione statica

$$MSt1 = Sth \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3 - Hd) = 103.97 \text{ (kNm)}$$

$$MSt2 = Stv \cdot B = 62.36 \text{ (kNm)}$$

$$MSq1 = Sqh \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd) = 86.27 \text{ (kNm)}$$

$$MSq2 = Sqv \cdot B = 34.50 \text{ (kNm)}$$

$$MSp = \gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kp / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2 = 0.00 \text{ (kNm)}$$

#### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

$$Mfext1 = m = 0.00 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mfext2 = f \cdot (H3 + H2) = 0.00 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mfext3 = v \cdot (B1 + B2 + B3/2) = 0.00 \text{ (kNm/m)}$$

### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO ( caso A2+M2+R2 )

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + v + Stv + Sqv = 328.91 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sth + Sqh + f = 103.08 \text{ (kN/m)}$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \tan \phi_1' = 0.57 \text{ (-)}$$

$$Fs = (N \cdot f + Sp) / T = 1.82 \text{ (-)} > 1$$

### VERIFICA AL RIBALTAMENTO ( caso A2+M2+R2 )

Momento stabilizzante (Ms)

$$Ms = Mm + Mt + MSt2 + MSq2 + Mfext3 = 719.79 \text{ (kNm/m)}$$

Momento ribaltante (Mr)

$$Mr = MSt1 + MSq1 + Mfext1 + Mfext2 + MSp = 190.25 \text{ (kNm/m)}$$

$$Fr = Ms / Mr = 3.78 \text{ (-)} > 1$$

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE ( caso A2+M2+R2 )

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + v + Stv + Sqv = 328.91 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sth + Sqh + f - Sp = 103.08 \text{ (kN/m)}$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = Ms - Mr = 529.54 \text{ (kNm/m)}$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = Xc \cdot N - MM = 62.49 \text{ (kNm/m)}$$

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	145 di 164

### Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'N_c \cdot i_c + q_0 \cdot N_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma$$

$c_1'$	coesione terreno di fondaz.	=	0.00	(kPa)
$\phi_1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	=	32.02	(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma_d \cdot H_2'$	sovraccarico stabilizzante	=	24.70	(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	=	0.19	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	=	3.22	(m)

I valori di  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$N_q = \text{tg}^2(45 + \phi/2) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg}(\phi))}$	(1 in cond. nd)	=	23.22	(-)
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\phi)$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	=	35.54	(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg}(\phi)$	(0 in cond. nd)	=	30.29	(-)

I valori di  $i_c$ ,  $i_q$  e  $i_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

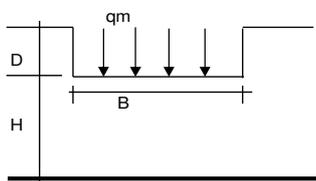
$i_q = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \text{cotg}(\phi)))^m$	(1 in cond. nd)	=	0.47	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		=	0.45	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \text{cotg}(\phi)))^{m+1}$		=	0.32	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	=	570.30	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	---	--------	----------------------

$$F = q_{lim} \cdot B^* \cdot N = 5.58 \quad (-) \quad > \quad 1$$

### CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE



$$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_m \cdot B^* / E \quad (\text{Christian e Carrier, 1976})$$

Profondità Piano di Posa della Fondazione	$D =$	1.30	(m)
	$D/B^* =$	0.40	(m)
	$H/B^* =$	2.24	(m)
Carico unitario medio ( $q_m$ )	$q_m = N / (B - 2 \cdot e) = N / B^* =$	102.14	(kN/mq)
Coefficiente di forma $\mu_0 = f(D/B)$	$\mu_0 =$	0.943	(-)
Coefficiente di profondità $\mu_1 = f(H/B)$	$\mu_1 =$	0.71	(-)
Cedimento della fondazione	$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_m \cdot B^* / E =$	1.10	(mm)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 146 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

### CALCOLI STATICI - Verifica allo Stato Limite Ultimo

#### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

##### Calcestruzzo

Rck = 30 (MPa)  
 $\gamma_c = 2.1$   
 $f_{cd} = Rck / \gamma_{m,c} = 14.11$  (MPa)

##### Copriferro

c = 6.20 (cm)

##### Acciaio

tipo di acciaio B450C  
 $f_{yk} = 450$  (MPa)  
 $\gamma_E = 1.00$   
 $\gamma_S = 1.15$   
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S / \gamma_E = 391.30$  (MPa)  
 $E_s = 210000$  (MPa)  
 $\epsilon_{ys} = 0.19\%$   
 $\epsilon_{uk} = 7.500\%$   
 $\epsilon_{ud} = 6.750\%$

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

##### Reazione del terreno

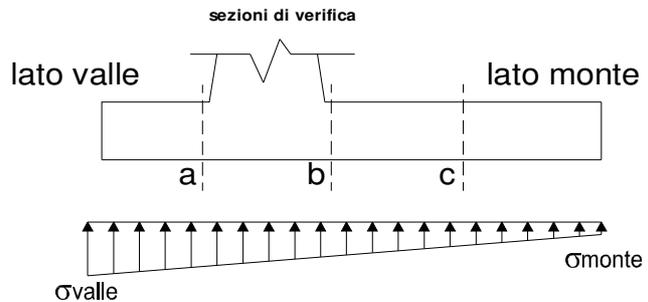
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 3.60 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 2.16 \text{ (m}^3\text{)}$$

caso	N [kN]	M [kNm]	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
statico	328.91	62.49	120.29	62.43

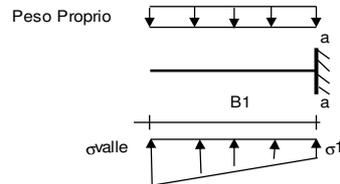


##### Mensola Lato Valle

Peso Proprio, PP = 20.00 (kN/m)

$$M_a = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$$

caso	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$M_a$ [kNm]	$T_a$ [kN]
statico	120.29	107.43	30.72	75.09



##### Mensola Lato Monte

PP = 20.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
 PD = 0.00 (kN/m) peso proprio soletta fondazione  
 peso proprio dente

pm = 78.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
 pvb = 78.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
 pvc = 78.00 (kN/m<sup>2</sup>)

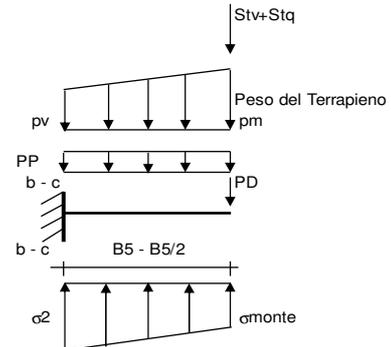
$$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{2b} - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 +$$

$$-(Stv + Sqv) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H2 / 2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + (\sigma_{2c} - \sigma_{monte}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2)^2 / 3 +$$

$$-(Stv + Sqv) \cdot (B_5 / 2) \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H2 / 2$$

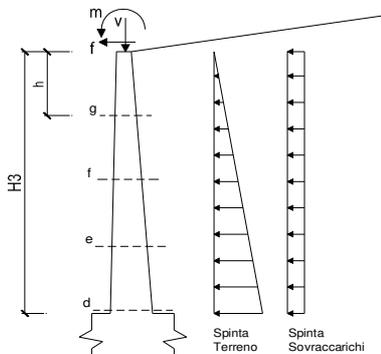
caso	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{2b}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$M_b$ [kNm]	$\sigma_{2c}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$M_c$ [kNm]	$T_b$ [kN]
statico	62.43	94.74	-104.17	78.59	-42.28	-65.93



Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 147 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

### CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO

#### Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo



Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_g/g$	=	0.21	(-)	S <span style="float: right;">1.39</span> Categoria di suolo	
	<b>Coefficiente di riduzione dell'accelerazione</b>	$\beta$	m	=	0.31		(-)
	il muro ammette spostamenti? (si/no)		<input checked="" type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	bm = var		
Coefficienti di Spinta	coefficiente sismico orizzontale	kh	=	0.0886	(-)	0.352	
	coefficiente sismico verticale	kv	=	0.0443	(-)		
	Coeff. di Spinta Attiva sulla parete	ka	=	0.35	(-)		
	componente orizzontale	kah	=	0.331	(-)		
	componente verticale	kav	=	0.12	(-)		
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas+	=	0.41	(-)		
	componente orizzontale	kash+	=	0.39	(-)		
	componente verticale	kasv+	=	0.14	(-)		
Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas-	=	0.42	(-)	0.417		
componente orizzontale	kash-	=	0.39	(-)			
componente verticale	kasv-	=	0.14	(-)			

$$M_t = \frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot \gamma^*(1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/3 \quad \text{o} \quad \frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot \gamma^*(1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/2 \quad (\text{con sisma})$$

$$M_q = \frac{1}{2} K_{a_{orizz}} \cdot q \cdot h^2$$

$$M_{ext} = m \cdot f \cdot h$$

$$M_{inerzia} = \sum P m_i \cdot b_i \cdot kh \quad (\text{solo con sisma})$$

$$N_t = \frac{1}{2} K_{a_{vert}} \cdot \gamma^*(1 \pm kv) \cdot h^2$$

$$N_q = K_{a_{vert}} \cdot q \cdot h$$

$$N_{ext} = v$$

$$N_{pp+inerzia} = \sum P m_i \cdot (1 \pm kv)$$

#### condizione statica

sezione	h	T <sub>t</sub>	T <sub>q</sub>	T <sub>ext</sub>	T <sub>tot</sub>
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	3.90	50.27	33.51	0.00	83.78
e-e	2.93	28.28	25.13	0.00	53.41
f-f	1.95	12.57	16.76	0.00	29.32
g-g	0.98	3.14	8.38	0.00	11.52

#### condizione statica

sezione	h	M <sub>t</sub>	M <sub>q</sub>	M <sub>ext</sub>	M <sub>tot</sub>	N <sub>t</sub>	N <sub>q</sub>	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	3.90	65.35	65.35	0.00	130.70	18.63	12.42	0.00	58.01	89.07
e-e	2.93	27.57	36.76	0.00	64.33	10.48	9.32	0.00	39.94	59.74
f-f	1.95	8.17	16.34	0.00	24.51	4.66	6.21	0.00	24.25	35.12
g-g	0.98	1.02	4.08	0.00	5.11	1.16	3.11	0.00	10.94	15.21

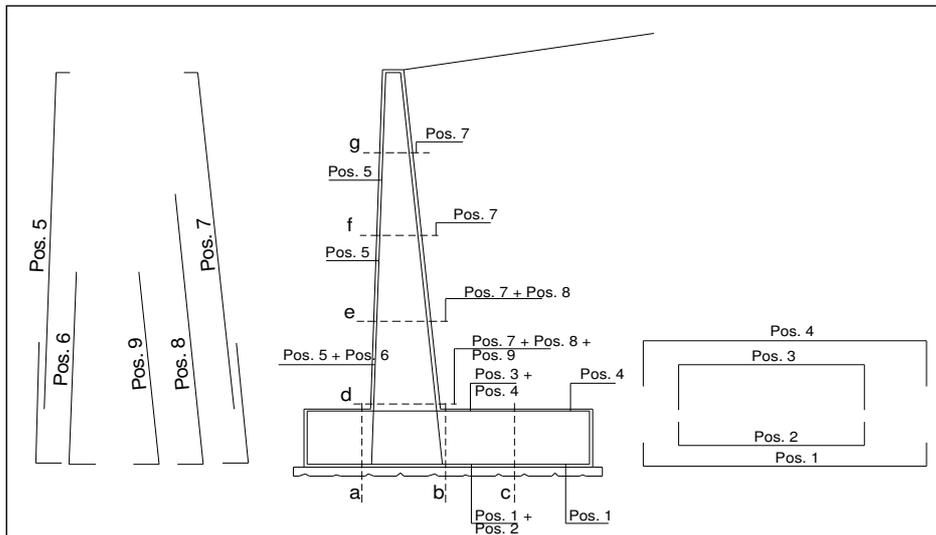
## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 148 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	---------------------------

### SCHEMA DELLE ARMATURE

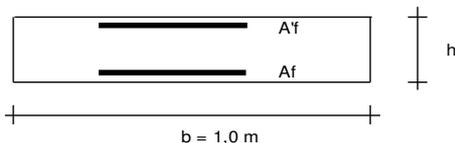


### ARMATURE

pos	n°/ml	φ	pos	n°/ml	φ
1	5.0	16	5	5.0	12
2	0.0	0	6	0.0	0
3	0.0	0	7	5.0	16
4	5.0	16	8	0.0	0
			9	0.0	0

Calcola

### VERIFICHE



a-a pos 1-2-3-4  
 b-b pos 1-2-3-4  
 c-c pos 1-4  
 d-d pos 5-6-7-8-9  
 e-e pos 5-7-8  
 f-f pos 5-7  
 g-g pos 5-7

Sez.	Msd	Nsd	Tsd	h	Af	A'f	MRd	NRd	TRd
(-)	(kNm)	(kN)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kNm)	(kN)	(kN)
a - a	30.72	0.00	75.09	0.80	10.05	10.05	286.51	0.00	202.33
b - b	-104.17	0.00	-65.93	0.80	10.05	10.05	286.51	0.00	202.33
c - c	-42.28	0.00	83.78	0.80	10.05	10.05	286.51	0.00	202.33
d - d	130.70	89.07	53.41	0.79	10.05	5.65	312.55	89.07	201.08
e - e	64.33	59.74	29.32	0.69	10.05	5.65	261.26	59.74	187.37
f - f	24.51	35.12	11.52	0.60	10.05	5.65	213.97	35.12	187.37

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	149 di 164

### Combinazione STATICA: A2+M2+R2

SLU	Caso	coefficienti parziali								
		azioni		proprietà del terreno			$\gamma_R (R_2)$			
		permanenti sfavorevoli	temporane e variabili sfavorevoli	$\tan \phi'$	$c'$	$c_u$	Cap. portante	Scorrimento	Res. Terreno o Valle	Ribaltamento
	caso A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	<b>EQU+M2+R2</b>	<b>1.10</b>	<b>1.50</b>	<b>1.25</b>	<b>1.25</b>	<b>1.40</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.40</b>	<b>1.00</b>
SLD	--	1.00	1.00	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00	1.00
def.	--	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

#### Dati Geotecnici (usati per verifiche di stabilità e SLU)

Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	$\phi'$	=	29.26	(°)		
	Peso Unità di Volume del terrapieno	$\gamma'$	=	22.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Angolo di Inclinazione Piano di Campagna	$\epsilon$	=	0.00	(°)		
	Angolo di attrito terreno-paramento	$\delta_{muro}$	=	14.63	(°)		
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	$\delta_{sup id}$	=	14.63	(°)		
Dati Terreno Fondazione	Coesione Terreno di Fondazione	$c1'$	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )		
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	$\phi_i'$	=	29.72	(°)		
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	$\gamma_d$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	$\gamma_d$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Profondità Piano di Posa della Fondazione	H2'	=	1.30	(m)		
	Profondità Falda	Zw	=	100.00	(m)		
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla superficie ideale	ka	=	0.31	(-)	0.310	Valori di Normativa
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas+	=	0.37	(-)	0.367	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas-	=	0.37	(-)	0.373	
	Coeff. Di Spinta Passiva in Fondazione	kp	=	2.97	(-)	2.967	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps+	=	2.82	(-)	2.817	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps-	=	2.80	(-)	2.802	

#### Carichi Agenti (usati per verifiche di stabilità e allo SLU)

Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	q	=	30.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni statiche	f	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni statiche	v	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni statiche	m	=	0.00	(kNm/m)
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	qs	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni sismiche	fs	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni sismiche	vs	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni sismiche	ms	=	0.00	(kNm/m)

### VERIFICHE GEOTECNICHE

#### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

$Pm1 = (B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	=	0.00	(kN/m)
$Pm2 = (B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	=	39.00	(kN/m)
$Pm3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	=	19.01	(kN/m)
$Pm4 = (B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	=	72.00	(kN/m)
$Pm5 = (Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	=	0.00	(kN/m)
$Pm = Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5$	=	130.01	(kN/m)

- Peso del terreno sulla scarpa di monte del muro (Pt)

$Pt1 = (B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$	=	156.78	(kN/m)
$Pt2 = (0.5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$	=	0.00	(kN/m)
$Pt3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma) / 2$	=	15.21	(kN/m)
$Pt = Pt1 + Pt2 + Pt3$	=	171.99	(kN/m)

#### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

- Muro (Mm)

$Mm1 = Pm1 \cdot (B1 + 2/3 B2)$	=	0.00	(kNm/m)
$Mm2 = Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0.5 B3)$	=	39.00	(kNm/m)
$Mm3 = Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 B4)$	=	25.29	(kNm/m)
$Mm4 = Pm4 \cdot (B/2)$	=	129.60	(kNm/m)
$Mm5 = Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	=	0.00	(kNm/m)
$Mm = Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5$	=	193.89	(kNm/m)

- Terrapieno a tergo del muro

$Mt1 = Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0.5 B5)$	=	406.84	(kNm/m)
$Mt2 = Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 (B4 + B5))$	=	0.00	(kNm/m)
$Mt3 = Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 B4)$	=	22.21	(kNm/m)
$Mt = Mt1 + Mt2 + Mt3$	=	429.05	(kNm/m)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	150 di 164

### CONDIZIONE STATICA (SLU) ( EQU+M2+R2 )

#### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione statica

$$St = 0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka = 75.45 \text{ (kN/m)}$$

$$Sq = q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka = 43.78 \text{ (kN/m)}$$

- Componente orizzontale condizione statica

$$Sth = St \cdot \cos \delta = 73.00 \text{ (kN/m)}$$

$$Sqh = Sq \cdot \cos \delta = 42.36 \text{ (kN/m)}$$

- Componente verticale condizione statica

$$Stv = St \cdot \sin \delta = 19.05 \text{ (kN/m)}$$

$$Sqv = Sq \cdot \sin \delta = 11.06 \text{ (kN/m)}$$

- Spinta passiva sul dente

$$Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot Hd^2 \cdot kp + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd = 0.00 \text{ (kN/m)}$$

#### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Condizione statica

$$MSt1 = Sth \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3 - Hd) = 114.37 \text{ (kNm)}$$

$$MSt2 = Stv \cdot B = 68.59 \text{ (kNm)}$$

$$MSq1 = Sqh \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd) = 99.55 \text{ (kNm)}$$

$$MSq2 = Sqv \cdot B = 39.80 \text{ (kNm)}$$

$$MSp = \gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kp / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2 = 0.00 \text{ (kNm)}$$

#### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

$$Mfext1 = m = 0.00 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mfext2 = f \cdot (H3 + H2) = 0.00 \text{ (kNm/m)}$$

$$Mfext3 = v \cdot (B1 + B2 + B3/2) = 0.00 \text{ (kNm/m)}$$

### VERIFICA AL RIBALTAMENTO ( EQU+M2+R2 )

Momento stabilizzante (Ms)

$$Ms = Mm + Mt + MSt2 + MSq2 + Mfext3 = 669.04 \text{ (kNm/m)}$$

Momento ribaltante (Mr)

$$Mr = MSt1 + MSq1 + Mfext1 + Mfext2 + MSp = 213.92 \text{ (kNm/m)}$$

$$Fr = Ms / Mr = 3.13 \quad (-) \quad > \quad 1$$

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	151 di 164

### Combinazione SISMICA

		coefficienti parziali									
		caso	azioni		proprietà del terreno			$\gamma_R (R_d)$			
			permanenti sfavorevoli	temporane e variabili sfavorevoli	tan $\phi'$	c'	$c_u$	Cap.	Scorrimen	Res.Terren	Ribaltamento
								portante	to	o Valle	
							$\gamma_R$	$\gamma_R$	$\gamma_R$	$\gamma_R$	
SLU	○	caso A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	○	caso A2+M2+R2	1.00	1.30	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00	1.00
SLD	⊗	<b>Sismica</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.25</b>	<b>1.25</b>	<b>1.40</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>
def.	○	--	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

#### Dati Geotecnici (usati per verifiche di stabilità e SLU)

Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	$\phi'$	=	29.26	(°)		
	Peso Unità di Volume del terrapieno	$\gamma$	=	20.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Angolo di Inclinazione Piano di Campagna	$\epsilon$	=	0.00	(°)		
	Angolo di attrito terreno-paramento	$\delta_{muro}$	=	14.63	(°)		
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	$\delta_{sup id}$	=	14.63	(°)		
Dati Terreno Fondazione	Coesione Terreno di Fondazione	$c1'$	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )		
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	$\phi_i'$	=	29.72	(°)		
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	$\gamma_t$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	$\gamma_d$	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
	Profondità Piano di Posa della Fondazione	H2'	=	1.30	(m)		
	Profondità Falda	Zw	=	100.00	(m)		
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla superficie ideale	ka	=	0.31	(-)	0.310	Valori di Normativa
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas+	=	0.37	(-)	0.367	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas-	=	0.37	(-)	0.373	
	Coeff. Di Spinta Passiva in Fondazione	kp	=	2.97	(-)	2.967	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps+	=	2.82	(-)	2.817	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps-	=	2.80	(-)	2.802	

#### Carichi Agenti (usati per verifiche di stabilità e allo SLU)

Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	qs	=	0.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni sismiche	fs	=	0.00	(kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni sismiche	vs	=	0.00	(kN/m)
	Momento in Testa in condizioni sismiche	ms	=	0.00	(kNm/m)

### VERIFICHE GEOTECNICHE

#### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

Pm1 =	$(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	=	0.00	(kN/m)
Pm2 =	$(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	=	39.00	(kN/m)
Pm3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	=	19.01	(kN/m)
Pm4 =	$(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	=	72.00	(kN/m)
Pm5 =	$(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	=	0.00	(kN/m)
Pm =	Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5	=	130.01	(kN/m)

- Peso del terreno sulla scarpa di monte del muro (Pt)

Pt1 =	$(B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$	=	156.78	(kN/m)
Pt2 =	$(0,5 \cdot (B4+B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$	=	0.00	(kN/m)
Pt3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma)/2$	=	15.21	(kN/m)
Pt =	Pt1 + Pt2 + Pt3	=	171.99	(kN/m)

#### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

- Muro (Mm)

Mm1 =	$Pm1 \cdot (B1+2/3 B2)$	=	0.00	(kNm/m)
Mm2 =	$Pm2 \cdot (B1+B2+0,5 \cdot B3)$	=	39.00	(kNm/m)
Mm3 =	$Pm3 \cdot (B1+B2+B3+1/3 B4)$	=	25.29	(kNm/m)
Mm4 =	$Pm4 \cdot (B/2)$	=	129.60	(kNm/m)
Mm5 =	$Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	=	0.00	(kNm/m)
Mm =	Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5	=	193.89	(kNm/m)

- Terrapieno a tergo del muro

Mt1 =	$Pt1 \cdot (B1+B2+B3+B4+0,5 \cdot B5)$	=	406.84	(kNm/m)
Mt2 =	$Pt2 \cdot (B1+B2+B3+2/3 \cdot (B4+B5))$	=	0.00	(kNm/m)
Mt3 =	$Pt3 \cdot (B1+B2+B3+2/3 \cdot B4)$	=	22.21	(kNm/m)
Mt =	Mt1 + Mt2 + Mt3	=	429.05	(kNm/m)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	152 di 164

### CONDIZIONE SISMICA +

#### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione sismica +

$$\begin{aligned} Sst1 &= 0,5 \cdot \gamma' \cdot (1 + kv) \cdot (H2 + H3 + H4 + Hd)^2 \cdot kas^+ &= & 84.64 \text{ (kN/m)} \\ Ssq1 &= qs \cdot (H2 + H3 + H4 + Hd) \cdot kas^+ &= & 0.00 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

- Componente orizzontale condizione sismica +

$$\begin{aligned} Sst1h &= Sst1 \cdot \cos \delta &= & 81.89 \text{ (kN/m)} \\ Ssq1h &= Ssq1 \cdot \cos \delta &= & 0.00 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

- Componente verticale condizione sismica +

$$\begin{aligned} Sst1v &= Sst1 \cdot \sin \delta &= & 21.37 \text{ (kN/m)} \\ Ssq1v &= Ssq1 \cdot \sin \delta &= & 0.00 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

- Spinta passiva sul dente

$$Sp = -\frac{1}{2} \cdot \gamma_1' \cdot (1 + kv) \cdot Hd^2 \cdot kps^+ + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot (1 + kv) \cdot kps^+ \cdot H2) \cdot Hd = 0.00 \text{ (kN/m)}$$

#### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Condizione sismica +

$$\begin{aligned} MSst1 &= Sst1h \cdot ((H2 + H3 + H4 + Hd) / 3 - Hd) &= & 128.30 \text{ (kN/m)} \\ MSst2 &= Sst1v \cdot B &= & 76.95 \text{ (kN/m)} \\ MSsq1 &= Ssq1h \cdot ((H2 + H3 + H4 + Hd) / 2 - Hd) &= & 0.00 \text{ (kN/m)} \\ MSsq2 &= Ssq1v \cdot B &= & 0.00 \text{ (kN/m)} \\ MSP &= \gamma_1' \cdot Hd^3 \cdot kps^+ / 3 + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot kps^+ \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2 &= & 0.00 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

#### INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO

- Inerzia del muro (Ps)

$$Ps = Pm \cdot kh = 11.52 \text{ (kN/m)}$$

- Inerzia orizzontale e verticale del terrapieno a tergo del muro (Pts)

$$\begin{aligned} Ptsh &= Pt \cdot kh &= & 15.24 \text{ (kN/m)} \\ Ptsv &= Pt \cdot kv &= & 7.62 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

- Incremento di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs)

$$\begin{aligned} MPs1 &= kh \cdot Pm1 \cdot (H2 + H3 / 3) &= & 0.00 \text{ (kNm/m)} \\ MPs2 &= kh \cdot Pm2 \cdot (H2 + H3 / 2) &= & 9.51 \text{ (kNm/m)} \\ MPs3 &= kh \cdot Pm3 \cdot (H2 + H3 / 3) &= & 3.54 \text{ (kNm/m)} \\ MPs4 &= kh \cdot Pm4 \cdot (H2 / 2) &= & 2.55 \text{ (kNm/m)} \\ MPs5 &= -kh \cdot Pm5 \cdot (Hd / 2) &= & 0.00 \text{ (kNm/m)} \\ MPs &= MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5 &= & 15.60 \text{ (kNm/m)} \end{aligned}$$

- Incremento di momento dovuto all'inerzia del terrapieno (MPts)

$$\begin{aligned} MPts1 &= kh \cdot Pt1 \cdot ((H2 + H3 / 2) - (B - B5 / 2) \cdot 0.5) &= & 20.18 \text{ (kNm/m)} \\ MPts2 &= kh \cdot Pt2 \cdot ((H2 + H3 + H4 / 3) - (B - B5 / 3) \cdot 0.5) &= & 0.00 \text{ (kNm/m)} \\ MPts3 &= kh \cdot Pt3 \cdot ((H2 + H3 \cdot 2 / 3) - (B1 + B2 + B3 + 2 / 3 \cdot B4) \cdot 0.5) &= & 3.38 \text{ (kNm/m)} \\ MPts &= MPts1 + MPts2 + MPts3 &= & 23.57 \text{ (kNm/m)} \end{aligned}$$

#### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

$$\begin{aligned} Mfext1 &= ms &= & 0.00 \text{ (kNm/m)} \\ Mfext2 &= fs \cdot (H3 + H2) &= & 0.00 \text{ (kNm/m)} \\ Mfext3 &= vs \cdot (B1 + B2 + B3 / 2) &= & 0.00 \text{ (kNm/m)} \end{aligned}$$

### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + vs + Sst1v + Ssq1v + Ptsv = 331.00 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sst1h + Ssq1h + fs + Ps + Ptsh = 108.66 \text{ (kN/m)}$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = tg \phi_1' = 0.57 \text{ (-)}$$

$$Fs = (N \cdot f + Sp) / T = 1.74 \text{ (-)} > 1$$

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + vs + Sst1v + Ssq1v + Ptsv = 331.00 \text{ (kN/m)}$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = Sst1h + Ssq1h + fs + Ps + Ptsh - Sp = 108.66 \text{ (kN/m)}$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = Ms - Mr = 532.42 \text{ (kNm/m)}$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = Xc \cdot N - MM = 63.38 \text{ (kNm/m)}$$

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	153 di 164

**Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)**

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'Nc'ic + q_0Nq'iq + 0,5\gamma_1B'N\gamma'i\gamma$$

$c'1'$	coesione terreno di fondaz.	=	0.00	(kN/mq)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	=	32.02	(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	=	19.00	(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d'H2'$	sovraccarico stabilizzante	=	24.70	(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	=	0.19	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	=	3.22	(m)

 I valori di  $Nc$ ,  $Nq$  e  $N\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

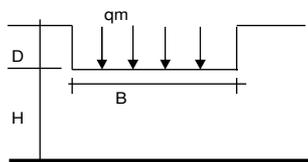
$Nq = \tan^2(45 + \phi/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan(\phi))}$	(1 in cond. nd)	=	23.22	(-)
$Nc = (Nq - 1) / \tan(\phi)$	( $2 + \pi$ in cond. nd)	=	35.54	(-)
$N\gamma = 2 \cdot (Nq + 1) \cdot \tan(\phi)$	(0 in cond. nd)	=	30.29	(-)

 I valori di  $iq$ ,  $iq$  e  $i\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$iq = (1 - T / (N + B^*c'cotg\phi))^m$	(1 in cond. nd)	=	0.45	(-)
$ic = iq - (1 - iq) / (Nq - 1)$		=	0.43	(-)
$i\gamma = (1 - T / (N + B^*c'cotg\phi))^{m+1}$		=	0.30	(-)

 (fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	=	539.35	(kN/m <sup>2</sup> )
$F = q_{lim} \cdot B^* / N$		=	5.24	(-) > 1

**CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE**


$$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot qm \cdot B^* / E$$

(Christian e Carrier, 1976)

Profondità Piano di Posa della Fondazione	D	1.30	(m)
	D/B*	0.40	(m)
	H/B*	2.24	(m)
Carico unitario medio (qm)	$qm = N / (B - 2e) = N / B^*$	102.89	(kN/mq)
Coefficiente di forma $\mu_0 = f(D/B)$	$\mu_0 =$	0.943	(-)
Coefficiente di profondità $\mu_1 = f(H/B)$	$\mu_1 =$	0.71	(-)
Cedimento della fondazione	$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot qm \cdot B^* / E =$	1.11	(mm)

**CONDIZIONE SISMICA -**
**SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

- Spinta totale condizione sismica -

$Sst2 = 0,5 \cdot \gamma \cdot (1 - kv) \cdot (H2 + H3 + H4 + Hd)^2 \cdot kas$	=	78.68	(kN/m)
$Ssq2 = qs \cdot (H2 + H3 + H4 + Hd) \cdot kas$	=	0.00	(kN/m)

- Componente orizzontale condizione sismica -

$Sst2h = Sst2 \cdot \cos \delta$	=	76.13	(kN/m)
$Ssq2h = Ssq2 \cdot \cos \delta$	=	0.00	(kN/m)

- Componente verticale condizione sismica -

$Sst2v = Sst2 \cdot \sin \delta$	=	19.87	(kN/m)
$Ssq2v = Ssq2 \cdot \sin \delta$	=	0.00	(kN/m)

- Spinta passiva sul dente

$Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot (1 - kv) \cdot Hd^2 \cdot kps + (2 \cdot c_1 \cdot kps^{0.5} + \gamma_1 \cdot (1 - kv) \cdot kps \cdot H2) \cdot Hd$	=	0.00	(kN/m)
---	---	------	--------

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	154 di 164

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Condizione sismica -

$MSst1 = Sst2h * ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$	=	119.27	(kN/m)
$MSst2 = Sst2v * B$	=	71.53	(kN/m)
$MSsq1 = Ssq2h * ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$	=	0.00	(kN/m)
$MSsq2 = Ssq2v * B$	=	0.00	(kN/m)
$MSp = \gamma_1 * Hd^3 * kps / 3 + (2 * c1 * kps^{-0.5} + \gamma_1 * kps * H2) * Hd^2 / 2$	=	0.00	(kN/m)

### INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO

- Inerzia del muro (Ps)

$Ps = Pm * kh$	=	11.52	(kN/m)
----------------	---	-------	--------

- Inerzia orizzontale e verticale del terrapieno a tergo del muro (Pts)

$Ptsh = Pt * kh$	=	15.24	(kN/m)
$Ptsv = Pt * kv$	=	-7.62	(kN/m)

- Incremento di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs)

$MPs1 = kh * Pm1 * (H2+H3/3)$	=	0.00	(kNm/m)
$MPs2 = kh * Pm2 * (H2 + H3/2)$	=	9.51	(kNm/m)
$MPs3 = kh * Pm3 * (H2+H3/3)$	=	3.54	(kNm/m)
$MPs4 = kh * Pm4 * (H2/2)$	=	2.55	(kNm/m)
$MPs5 = -kh * Pm5 * (Hd/2)$	=	0.00	(kNm/m)
$MPs = MPs1+MPs2+MPs3+MPs4+MPs5$	=	15.60	(kNm/m)

- Incremento di momento dovuto all'inerzia del terrapieno (MPts)

$MPts1 = kh * Pt1 * ((H2 + H3/2) + (B - B5/2) * 0.5)$	=	56.25	(kNm/m)
$MPts2 = kh * Pt2 * ((H2 + H3 + H4/3) + (B - B5/3) * 0.5)$	=	0.00	(kNm/m)
$MPts3 = kh * Pt3 * ((H2+H3*2/3)+(B1+B2+B3+2/3*B4)*0.5)=$	=	5.79	(kNm/m)
$MPts = MPts1 + MPts2 + MPts3$	=	62.03	(kNm/m)

### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

$Mfext1 = ms$	=	0.00	(kNm/m)
$Mfext2 = fs * (H3 + H2)$	=	0.00	(kNm/m)
$Mfext3 = vs * (B1 + B2 + B3/2)$	=	0.00	(kNm/m)

### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$N = Pm + Pt + vs + Sst1v + Ssq1v + Ptsv$	=	314.25	(kN/m)
---	---	--------	--------

Risultante forze orizzontali (T)

$T = Sst1h + Ssq1h + fs + Ps + Ptsh$	=	102.90	(kN/m)
--------------------------------------	---	--------	--------

Coefficiente di attrito alla base (f)

$f = tg\phi'$	=	0.57	(-)
---------------	---	------	-----

$Fs = (N * f + Sp) / T$	=	1.74	(-)	>	1
-------------------------	---	------	-----	---	---

### VERIFICA DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$N = Pm + Pt + vs + Sst1v + Ssq1v + Ptsv$	=	314.25	(kN/m)
---	---	--------	--------

Risultante forze orizzontali (T)

$T = Sst1h + Ssq1h + fs + Ps + Ptsh - Sp$	=	102.90	(kN/m)
---	---	--------	--------

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$MM = Ms - Mr$	=	497.57	(kNm/m)
----------------	---	--------	---------

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$M = Xc * N - MM$	=	68.08	(kNm/m)
-------------------	---	-------	---------

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	155 di 164

### Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'N_c'ic + q_0'N_q'iq + 0,5'\gamma_1'B'N_\gamma'i_\gamma$$

$c'1'$	coesione terreno di fondaz.	=	0.00	(kN/mq)
$\phi'1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	=	32.02	(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	=	19.00	(kN/m³)
$q_0 = \gamma'd'H_2'$	sovraccarico stabilizzante	=	24.70	(kN/m²)
$e = M / N$	eccentricità	=	0.22	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	=	3.17	(m)

I valori di  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$N_q = tg^2(45 + \phi/2) \cdot e^{(\pi \cdot tg(\phi))}$	(1 in cond. nd)	=	23.22	(-)
$N_c = (N_q - 1)/tg(\phi)$	(2+π in cond. nd)	=	35.54	(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot tg(\phi)$	(0 in cond. nd)	=	30.29	(-)

I valori di  $i_c$ ,  $i_q$  e  $i_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

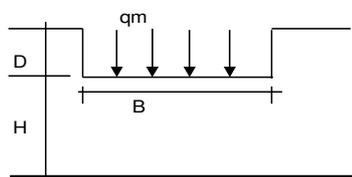
$i_q = (1 - T/(N + B \cdot c' \cotg(\phi)))^m$	(1 in cond. nd)	=	0.45	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_q - 1)$		=	0.43	(-)
$i_\gamma = (1 - T/(N + B \cdot c' \cotg(\phi)))^{m+1}$		=	0.30	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	=	536.66	(kN/m²)
-----------	--------------------------	---	--------	---------

$$F = q_{lim} \cdot B^* / N = 5.41 \quad (-) \quad > \quad 1$$

### CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE



$$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_m \cdot B^* / E \quad (\text{Christian e Carrier, 1976})$$

Profondità Piano di Posa della Fondazione	$D =$	1.30	(m)
	$D/B^* =$	0.41	(m)
	$H/B^* =$	2.27	(m)
Carico unitario medio ( $q_m$ )	$q_m = N / (B - 2 \cdot e) = N / B^* =$	99.24	(kN/mq)
Coefficiente di forma $\mu_0 = f(D/B)$	$\mu_0 =$	0.942	(-)
Coefficiente di profondità $\mu_1 = f(H/B)$	$\mu_1 =$	0.72	(-)
Cedimento della fondazione	$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_m \cdot B^* / E =$	1.07	(mm)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 156 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

### CALCOLI STATICI - Verifica allo Stato Limite Ultimo

#### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

##### Calcestruzzo

Rck = 30 (MPa)  
 $\gamma_c = 2.1$   
 $f_{cd} = Rck / \gamma_{m,c} = 14.11$  (MPa)

##### Copriferro

c = 6.20 (cm)

##### Acciaio

tipo di acciaio B450C  
 $f_{yk} = 450$  (MPa)  
 $\gamma_E = 1.00$   
 $\gamma_S = 1.15$   
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S / \gamma_E = 391.30$  (MPa)  
 $E_s = 210000$  (MPa)  
 $\epsilon_{ys} = 0.19\%$   
 $\epsilon_{uk} = 7.500\%$   
 $\epsilon_{ud} = 6.750\%$

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

##### Reazione del terreno

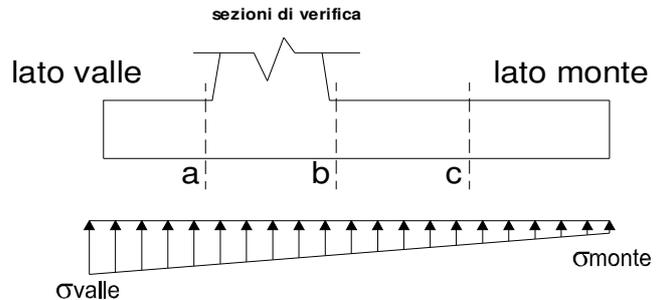
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 3.60 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 2.16 \text{ (m}^3\text{)}$$

caso	N [kN]	M [kNm]	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
sisma+	331.00	63.38	121.29	62.60
sisma-	314.25	68.08	118.81	55.77

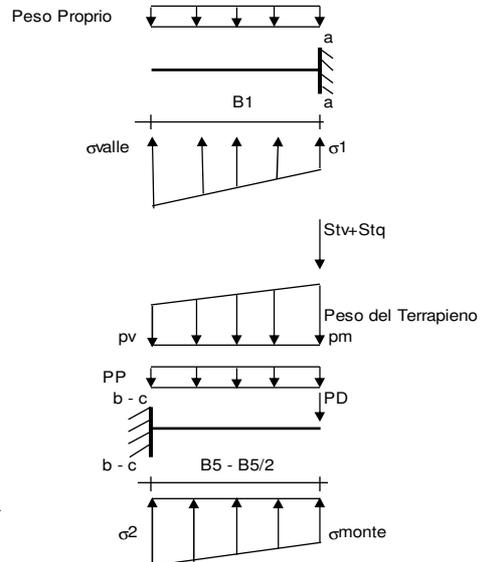


##### Mensola Lato Valle

Peso Proprio. PP = 20.00 (kN/m)

$$M_a = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$$

caso	$\sigma_{valle}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$M_a$ [kNm]	$T_a$ [kN]
sisma+	121.29	108.24	30.74	75.10
sisma-	118.81	104.80	30.41	72.29



##### Mensola Lato Monte

PP = 20.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
 PD = 0.00 (kN/m) peso proprio soletta fondazione  
 peso proprio dente

pm = 78.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
 pvb = 78.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
 pvc = 78.00 (kN/m<sup>2</sup>)

$$M_b = (\sigma_{monte} - (pvb + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_2b - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (pm - pvb) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 + (Stv + Sqv) \cdot B^2 - PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B^2 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2 / 2) + Msp + Sp \cdot H2 / 2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (pvc + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B5/2)^2 / 2 + (\sigma_2c - \sigma_{monte}) \cdot (B5/2)^2 / 6 - (pm - pvc) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B5/2)^2 / 3 + (Stv + Sqv) \cdot (B5/2) - PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B5/2 - Bd/2) - PD \cdot kh \cdot (Hd + H2/2) + Msp + Sp \cdot H2/2$$

caso	$\sigma_{monte}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2b$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$M_b$ [kNm]	$\sigma_2c$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$M_c$ [kNm]	$T_b$ [kN]
sisma+	62.60	95.37	-101.18	78.99	-38.79	-68.32
sisma-	55.77	90.97	-92.77	73.37	-36.14	-60.64

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

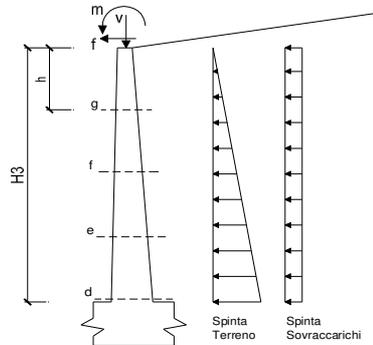
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	157 di 164

### CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO

#### Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo



Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_g/g$	=	0.21	(-)	S 1.39 Categoria di suolo
	<b>Coefficiente di riduzione dell'accelerazione</b>	$\beta$	=	0.31	(-)	
	il muro ammette spostamenti? (si/no)		<input checked="" type="radio"/> si	<input type="radio"/> no	bm = var.	
	coefficiente sismico orizzontale	kh	=	0.0886	(-)	
Coefficienti di Spinta	coefficiente sismico verticale	kv	=	0.0443	(-)	0.352
	Coeff. di Spinta Attiva sulla parete	ka	=	0.35	(-)	
	componente orizzontale	kah	=	0.331	(-)	0.411
	componente verticale	kav	=	0.12	(-)	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas+	=	0.41	(-)	0.417
	componente orizzontale	kash+	=	0.39	(-)	
	componente verticale	kasv+	=	0.14	(-)	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas-	=	0.42	(-)	0.417
	componente orizzontale	kash-	=	0.39	(-)	
	componente verticale	kasv-	=	0.14	(-)	

$$M_t = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma' (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/3$$

$$\text{o } \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma' (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/2 \text{ (con sisma)}$$

$$M_q = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot q \cdot h^2$$

$$M_{ext} = m \cdot f \cdot h$$

$$M_{inerzia} = \sum P_m \cdot b \cdot kh \quad (\text{solo con sisma})$$

$$N_t = \frac{1}{2} K_{a_{vert.}} \cdot \gamma' (1 \pm kv) \cdot h^2$$

$$N_q = K_{a_{vert.}} \cdot q \cdot h$$

$$N_{ext} = v$$

$$N_{pp+inerzia} = \sum P_m \cdot (1 \pm kv)$$

condizione sismica +

sezione	h [m]	Tt [kN/m]	Tq [kN/m]	T <sub>ext</sub> [kN/m]	T <sub>inerzia</sub> [kN/m]	T <sub>tot</sub> [kN/m]
d-d	3.90	61.20	0.00	0.00	5.14	66.34
e-e	2.93	34.42	0.00	0.00	3.54	37.96
f-f	1.95	15.30	0.00	0.00	2.15	17.45
g-g	0.98	3.82	0.00	0.00	0.97	4.79

condizione sismica +

sezione	h [m]	M <sub>t</sub> [kNm/m]	M <sub>q</sub> [kNm/m]	M <sub>ext</sub> [kNm/m]	M <sub>inerzia</sub> [kNm/m]	M <sub>tot</sub> [kNm/m]	N <sub>t</sub> [kN/m]	N <sub>q</sub> [kN/m]	N <sub>ext</sub> [kN/m]	N <sub>pp+inerzia</sub> [kN/m]	N <sub>tot</sub> [kN/m]
d-d	3.90	119.34	0.00	0.00	8.93	128.27	22.68	0.00	0.00	60.58	83.27
e-e	2.93	50.34	0.00	0.00	4.72	55.06	12.76	0.00	0.00	41.71	54.47
f-f	1.95	14.92	0.00	0.00	1.96	16.88	5.67	0.00	0.00	25.33	31.00
g-g	0.98	1.86	0.00	0.00	0.46	2.32	1.42	0.00	0.00	11.42	12.84

condizione sismica -

sezione	h [m]	M <sub>t</sub> [kNm/m]	M <sub>q</sub> [kNm/m]	M <sub>ext</sub> [kNm/m]	M <sub>inerzia</sub> [kNm/m]	M <sub>tot</sub> [kNm/m]	N <sub>t</sub> [kN/m]	N <sub>q</sub> [kN/m]	N <sub>ext</sub> [kN/m]	N <sub>pp+inerzia</sub> [kN/m]	N <sub>tot</sub> [kN/m]
d-d	3.90	110.81	0.00	0.00	8.93	119.74	21.06	0.00	0.00	55.44	76.50
e-e	2.93	46.75	0.00	0.00	4.72	51.46	11.85	0.00	0.00	38.17	50.02
f-f	1.95	13.85	0.00	0.00	1.96	15.81	5.27	0.00	0.00	23.18	28.44
g-g	0.98	1.73	0.00	0.00	0.46	2.19	1.32	0.00	0.00	10.45	11.77

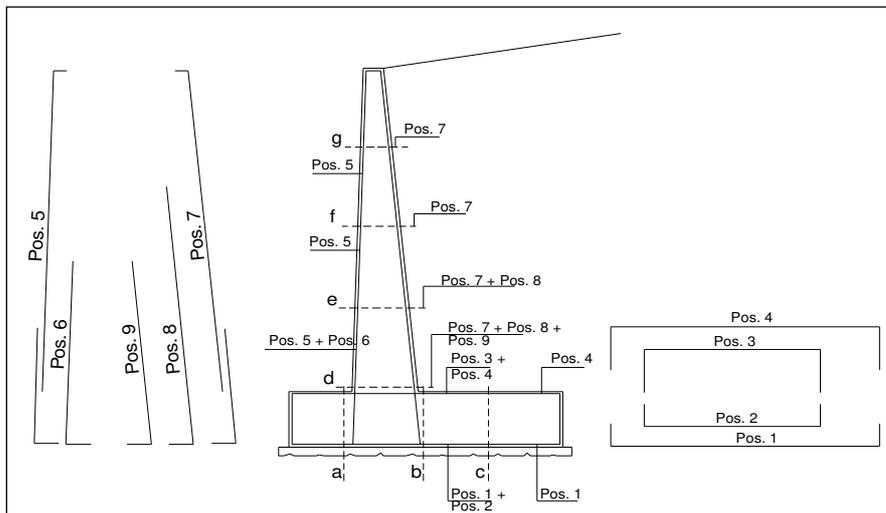
## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 158 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	---------------------------

### SCHEMA DELLE ARMATURE

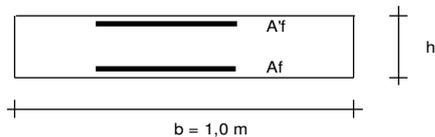


### ARMATURE

pos	n°/ml	φ	pos	n°/ml	φ
1	5.0	16	5	5.0	12
2	0.0	0	6	0.0	0
3	0.0	0	7	5.0	16
4	5.0	16	8	0.0	0
			9	0.0	0

Calcola

### VERIFICHE



a-a	pos 1-2-3-4
b-b	pos 1-2-3-4
c-c	pos 1-4
d-d	pos 5-6-7-8-9
e-e	pos 5-7-8
f-f	pos 5-7
g-g	pos 5-7

Sez.	Msd (kNm)	Nsd (kN)	Tsd (kN)	h (m)	Af (cm <sup>2</sup> )	A'f (cm <sup>2</sup> )	MRd (kNm)	NRd (kN)	TRd (kN)
(-)									
a - a	30.74	0.00	70.01	0.80	10.05	10.05	286.51	0.00	202.33
b - b	-101.18	0.00	-58.40	0.80	10.05	10.05	286.51	0.00	202.33
c - c	-38.79	0.00	5.14	0.80	10.05	10.05	286.51	0.00	202.33
d - d	128.27	83.27	3.54	0.79	10.05	5.65	310.57	83.27	201.08
e - e	55.06	54.47	2.15	0.69	10.05	5.65	259.72	54.47	187.37
f - f	16.88	31.00	0.97	0.60	10.05	5.65	212.96	31.00	187.37

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	159 di 164

### Combinazione SLE e a Fessurazione

		caso	coefficienti parziali		proprietà del terreno			$\gamma_R$		
	☉		permanenti	temporane e variabili	tan $\phi'$	c'	$c_u$	Cap. portante	Scorrimento	Res.Terreno Valle
			sfavorevoli	sfavorevoli				$\gamma_R$	$\gamma_R$	$\gamma_R$
SLU	☉	caso A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	☉	EQU+M2	1.10	1.50	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00
SLD	☉	--	1.00	1.00	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00
def.	☉	<b>SLE</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>

**Dati Geotecnici** (usati per verifiche di stabilità e SLU)

Dati	Descrizione	Valore	Unità	Valore Normativo
Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	$\phi'$	= 35.00 (°)	
	Peso Unità di Volume del terrapieno	$\gamma'$	= 20.00 (kN/m <sup>3</sup> )	
	Angolo di Inclinazione Piano di Campagna	$\epsilon$	= 0.00 (°)	
	Angolo di attrito terreno-paramento	$\delta_{muro}$	= 17.50 (°)	
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	$\delta_{sup id}$	= 17.50 (°)	
Dati Terreno Fondazione	Coesione Terreno di Fondazione	$c_1'$	= 0.00 (kN/m <sup>2</sup> )	
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	$\phi_i'$	= 35.52 (°)	
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	$\gamma_i$	= 19.00 (kN/m <sup>3</sup> )	
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	$\gamma_d$	= 19.00 (kN/m <sup>3</sup> )	
	Profondità Piano di Posa della Fondazione	H2'	= 1.30 (m)	
	Profondità Falda	Zw	= 100.00 (m)	
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla superficie ideale	ka	= 0.25 (-)	0.246
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas+	= 0.30 (-)	0.296
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla superficie ideale	kas-	= 0.30 (-)	0.301
	Coeff. Di Spinta Passiva in Fondazione	kp	= 3.77 (-)	3.772
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps+	= 3.60 (-)	3.604
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica in Fondazione	kps-	= 3.59 (-)	3.588

**Carichi Agenti** (usati per verifiche di stabilità e allo SLU)

Condizioni	Descrizione	Valore	Unità
Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	q	= 20.00 (kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni statiche	f	= 0.00 (kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni statiche	v	= 0.00 (kN/m)
	Momento in Testa in condizioni statiche	m	= 0.00 (kNm/m)
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	qs	= 0.00 (kN/m <sup>2</sup> )
	Forza Orizzontale in Testa in condizioni sismiche	fs	= 0.00 (kN/m)
	Forza Verticale in Testa in condizioni sismiche	vs	= 0.00 (kN/m)
	Momento in Testa in condizioni sismiche	ms	= 0.00 (kNm/m)

### VERIFICHE GEOTECNICHE

#### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

$Pm1 = (B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	=	0.00 (kN/m)
$Pm2 = (B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	=	39.00 (kN/m)
$Pm3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	=	19.01 (kN/m)
$Pm4 = (B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	=	72.00 (kN/m)
$Pm5 = (Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	=	0.00 (kN/m)
$Pm = Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5$	=	130.01 (kN/m)

- Peso del terreno sulla scarpa di monte del muro (Pt)

$Pt1 = (B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$	=	156.78 (kN/m)
$Pt2 = (0.5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$	=	0.00 (kN/m)
$Pt3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma)/2$	=	15.21 (kN/m)
$Pt = Pt1 + Pt2 + Pt3$	=	171.99 (kN/m)

#### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

- Muro (Mm)

$Mm1 = Pm1 \cdot (B1 + 2/3 B2)$	=	0.00 (kNm/m)
$Mm2 = Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0.5 B3)$	=	39.00 (kNm/m)
$Mm3 = Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 B4)$	=	25.29 (kNm/m)
$Mm4 = Pm4 \cdot (B/2)$	=	129.60 (kNm/m)
$Mm5 = Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	=	0.00 (kNm/m)
$Mm = Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5$	=	193.89 (kNm/m)

- Terrapieno a tergo del muro

$Mt1 = Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0.5 B5)$	=	406.84 (kNm/m)
$Mt2 = Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 (B4 + B5))$	=	0.00 (kNm/m)
$Mt3 = Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 B4)$	=	22.21 (kNm/m)
$Mt = Mt1 + Mt2 + Mt3$	=	429.05 (kNm/m)

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 160 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	---------------------------

## VERIFICA A FESSURAZIONE - CALCOLO SOLLECITAZIONI

### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

$Pm1 = (B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	=	0.00	(kN/m)
$Pm2 = (B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	=	39.00	(kN/m)
$Pm3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	=	19.01	(kN/m)
$Pm4 = (B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	=	72.00	(kN/m)
$Pm5 = (Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	=	0.00	(kN/m)
$Pm = Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5$	=	130.01	(kN/m)

- Peso del terreno sulla scarpa di monte del muro (Pt)

$Pt1 = (B5 \cdot H3 \cdot \gamma)$	=	156.78	(kN/m)
$Pt2 = (0,5 \cdot (B4 + B5) \cdot H4 \cdot \gamma)$	=	0.00	(kN/m)
$Pt3 = (B4 \cdot H3 \cdot \gamma) / 2$	=	15.21	(kN/m)
$Pt = Pt1 + Pt2 + Pt3$	=	171.99	(kN/m)

### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

- Muro (Mm)

$Mm1 = Pm1 \cdot (B1 + 2/3 B2)$	=	0.00	(kNm/m)
$Mm2 = Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0,5 \cdot B3)$	=	39.00	(kNm/m)
$Mm3 = Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 B4)$	=	25.29	(kNm/m)
$Mm4 = Pm4 \cdot (B/2)$	=	129.60	(kNm/m)
$Mm5 = Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	=	0.00	(kNm/m)
$Mm = Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5$	=	193.89	(kNm/m)

- Terrapieno a tergo del muro

$Mt1 = Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0,5 \cdot B5)$	=	406.84	(kNm/m)
$Mt2 = Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot (B4 + B5))$	=	0.00	(kNm/m)
$Mt3 = Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4)$	=	22.21	(kNm/m)
$Mt = Mt1 + Mt2 + Mt3$	=	429.05	(kNm/m)

**CONDIZIONE STATICA (SLE e FESSURAZIONE)**
**SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

Spinta totale condizione statica

$$St = 0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka = 54.37 \quad (\text{kN/m})$$

$$Sq = q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka = 23.14 \quad (\text{kN/m})$$

componente orizzontale condizione statica

$$Sth = St \cdot \cos \delta = 51.85 \quad (\text{kN/m})$$

$$Sqh = Sq \cdot \cos \delta = 22.06 \quad (\text{kN/m})$$

componente verticale condizione statica

$$Stv = St \cdot \sin \delta = 16.35 \quad (\text{kN/m})$$

$$Sqv = Sq \cdot \sin \delta = 6.96 \quad (\text{kN/m})$$

Spinta passiva sul dente

$$Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot Hd^2 \cdot kp + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd = 0.00 \quad (\text{kN/m})$$

**MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

condizione statica

$$MSt1 = Sth \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3 - Hd) = 81.24 \quad (\text{kN/m})$$

$$MSt2 = Stv \cdot B = 58.86 \quad (\text{kN/m})$$

$$MSq1 = Sqh \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd) = 51.85 \quad (\text{kN/m})$$

$$MSq2 = Sqv \cdot B = 25.05 \quad (\text{kN/m})$$

$$MSp = \gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kp / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2 = 0.00 \quad (\text{kN/m})$$

**FORZE ESTERNE**

Momento dovuto alle Forze Esterne (Mfext)

$$Mfext1 = m = 0.00 \quad (\text{kNm/m})$$

$$Mfext2 = f \cdot (H3 + H2) = 0.00 \quad (\text{kNm/m})$$

$$Mfext3 = v \cdot (B1 + B2 + B3/2) = 0.00 \quad (\text{kNm/m})$$

**AZIONI TOTALI SULLA FONDAZIONE**

Risultante forze verticali (N)

$$N = Pm + Pt + v + Stv + Sqv = 325.31 \quad (\text{kN/m})$$

Momento stabilizzante (Ms)

$$Ms = Mm + Mt + MSt2 + MSq2 + Mfext3 = 706.84 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$Mr = MSt1 + MSq1 + Mfext1 + Mfext2 + MSp = 133.09 \quad (\text{kNm/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = Ms - Mr = 573.75 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = Xc \cdot N - MM = 11.80 \quad (\text{kNm/m})$$

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 162 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

### CALCOLI STATICI

#### DATI DI PROGETTO:

##### Caratteristiche dei Materiali

##### Calcestruzzo

Rck = 30 (MPa)

fctm = 0.30\*(0.83\*Rck)<sup>2</sup> = 2.56 (MPa)

coefficiente omogeneizzazione acciaio n = 15

Copriferro (distanza asse armatura-bordo)

c = 6.20 (cm)

Copriferro minimo di normativa (ricoprimento armatura)

c<sub>min</sub> = 2.00 (cm)

Valore limite di apertura delle fessure

w1 = 0.2

##### Acciaio

tipo di acciaio B450C

f<sub>yk</sub> = 450 (MPa)

E<sub>s</sub> = 210000 (MPa)

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

##### Reazione del terreno

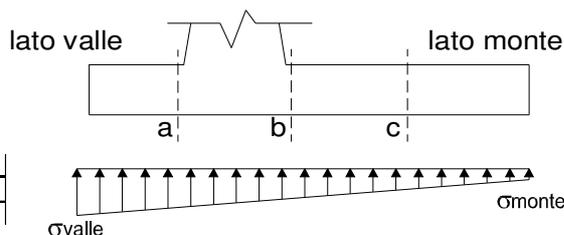
σ<sub>valle</sub> = N / A + M / W<sub>gg</sub>

σ<sub>monte</sub> = N / A - M / W<sub>gg</sub>

A = b\*h = 3.60 (m<sup>2</sup>)

W<sub>gg</sub> = b\*h<sup>2</sup>/6 = 2.16 (m<sup>3</sup>)

caso	N [kN]	M [kNm]	σ <sub>valle</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	σ <sub>monte</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
statico	325.31	11.80	95.83	84.90

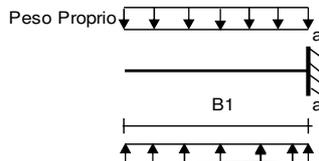


##### Mensola Lato Valle - Schema Statico

PP = 20.00 (kN/m) peso proprio soletta fondazione

Ma = σ<sub>1</sub>\*B<sup>1</sup>/2 + (σ<sub>valle</sub> - σ<sub>1</sub>)\*B<sup>1</sup><sup>2</sup>/3 - PP\*B<sup>1</sup><sup>2</sup>/2\*(1±kv)

caso	σ <sub>valle</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	σ <sub>1</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Ma [kNm]
statico	95.83	93.40	24.01



##### Mensola Lato Monte - Schema Statico

PP = 20.00 (kN/m<sup>2</sup>) peso proprio soletta fondazione

PD = 0.00 (kN/m) peso proprio dente

pm = 78.00 (kN/m<sup>2</sup>)

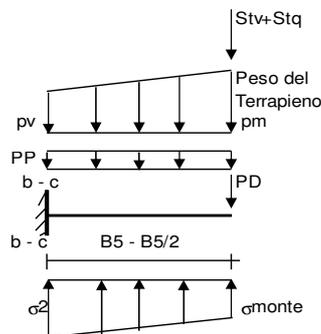
pvb = 78.00 (kN/m<sup>2</sup>)

pvc = 78.00 (kN/m<sup>2</sup>)

M<sub>b</sub> = (σ<sub>monte</sub> - (p<sub>vb</sub> + PP) \* (1 ± kv)) \* B<sup>5</sup>/2 + (σ<sub>2b</sub> - σ<sub>monte</sub>) \* B<sup>5</sup>/6 - (p<sub>m</sub> - p<sub>vb</sub>) \* (1 ± kv) \* B<sup>5</sup>/3 + (Stv + Sqv) \* B<sup>5</sup> - PD \* (1 ± kv) \* (B<sup>5</sup> - Bd/2) - PD \* kh \* (Hd + H<sub>2</sub>/2) + M<sub>sp</sub> + Sp \* H<sub>2</sub>/2

M<sub>c</sub> = (σ<sub>monte</sub> - (p<sub>vc</sub> + PP) \* (1 ± kv)) \* (B<sub>5</sub>/2)<sup>2</sup> + (σ<sub>2c</sub> - σ<sub>monte</sub>) \* (B<sub>5</sub>/2)<sup>2</sup>/6 - (p<sub>m</sub> - p<sub>vc</sub>) \* (1 ± kv) \* (B<sub>5</sub>/2)<sup>2</sup>/3 + (Stv + Sqv) \* (B<sub>5</sub>/2) - PD \* (1 ± kv) \* (B<sub>5</sub>/2 - Bd/2) - PD \* kh \* (Hd + H<sub>2</sub>/2) + M<sub>sp</sub> + Sp \* H<sub>2</sub>/2

caso	σ <sub>monte</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	σ <sub>2b</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	M <sub>b</sub> [kNm]	σ <sub>2c</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	M <sub>c</sub> [kNm]
statico	84.90	91.00	-69.20	87.95	-29.53



## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

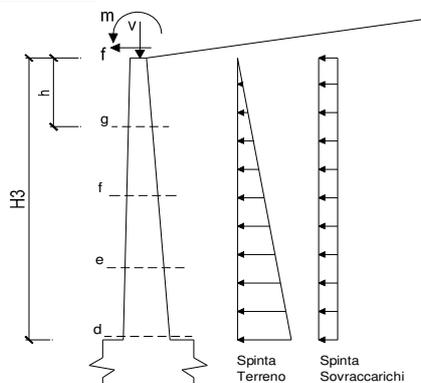
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	212	E	17	OS1200	REL	01	B	163 di 164

### CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO

#### Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo



Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_g/g$	=	0.21	(-)	S	=	1.39
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione	$\beta$	=	0.31	(-)			
	il muro ammette spostamenti? (si/no)	<input checked="" type="radio"/> si <input type="radio"/> no						bm = var.
	coefficiente sismico orizzontale	kh	=	0.0886	(-)			
	coefficiente sismico verticale	kv	=	0.0443	(-)			
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva sulla parete	ka	=	0.29	(-)			0.287
	componente orizzontale	kah	=	0.26	(-)			
	componente verticale	kav	=	0.11	(-)			
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas+	=	0.34	(-)			0.340
	componente orizzontale	kash+	=	0.31	(-)			
	componente verticale	kasv+	=	0.13	(-)			
Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sulla parete	kas-	=	0.35	(-)			0.345	
componente orizzontale	kash-	=	0.32	(-)				
componente verticale	kasv-	=	0.14	(-)				

#### condizione statica

sezione	h	Mt	Mq	M <sub>ext</sub>	M <sub>tot</sub>	Nt	Nq	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	3.90	52.23	40.18	0.00	92.41	17.23	8.84	0.00	58.01	84.08
e-e	2.93	22.04	22.60	0.00	44.64	9.69	6.63	0.00	39.94	56.26
f-f	1.95	6.53	10.04	0.00	16.57	4.31	4.42	0.00	24.25	32.98
g-g	0.98	0.82	2.51	0.00	3.33	1.08	2.21	0.00	10.94	14.22

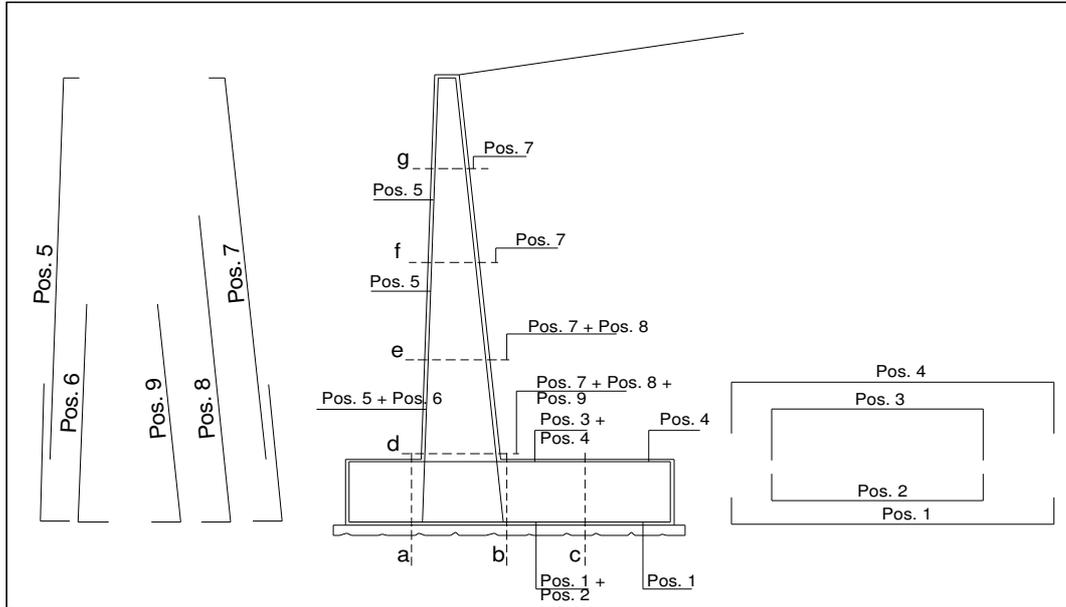
## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord – Muro di sostegno Asse “1” Svincolo di Matelica Ovest

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS OS1200	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 164 di 164
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

### SCHEMA DELLE ARMATURE

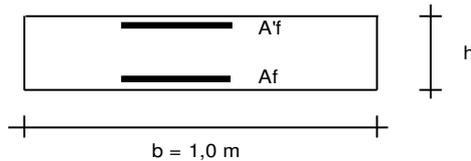


### ARMATURE

pos	n°/ml	φ	pos	n°/ml	φ
1	5.0	16	5	5.0	12
2	0.0	0	6	0.0	0
3	0.0	0	7	5.0	16
4	5.0	16	8	0.0	0
			9	0.0	0

Calcola

### VERIFICHE



a-a pos 1-2-3-4  
 b-b pos 1-2-3-4  
 c-c pos 1-4  
 d-d pos 5-6-7-8-9  
 e-e pos 5-7-8  
 f-f pos 5-7  
 g-g pos 5-7

### Condizione Statica

Sez.	M	N	h	Af	Af'	σ <sup>c</sup>	σ <sup>f</sup>	w <sub>k</sub>	w <sub>amm</sub>
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)
a - a	24.01	0.00	0.80	10.05	10.05	0.48	34.45	0.048	0.200
b - b	-69.20	0.00	0.80	10.05	10.05	1.39	99.30	0.138	0.200
c - c	-29.53	0.00	0.80	10.05	10.05	0.59	42.37	0.059	0.200
d - d	92.41	84.08	0.79	10.05	5.65	1.96	95.04	0.132	0.200
e - e	44.64	56.26	0.69	10.05	5.65	1.18	49.05	0.063	0.200
f - f	16.57	32.98	0.60	10.05	5.65	0.57	18.07	0.021	0.200

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

**N.B.** La condizione statica si assume come azione di lunga durata o ripetuta ( $\beta_2=0.5$ ),