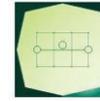


CONCEDENTE



CONCESSIONARIA



SOCIETÀ DI PROGETTO  
BREBEMI SPA

CUP E3 1 B05000390007

COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE  
DI CONNESSIONE TRA LE CITTA' DI  
BRESCIA E MILANO

PROCEDURA AUTORIZZATIVA D. LGS 163/2006  
DELIBERA C.I.P.E. DI APPROVAZIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO N° 42/2009

INTERCONNESSIONE A35-A4  
PROGETTO DEFINITIVO

INTERCONNESSIONE A35-A4

11 - INTERCONNESSIONE A35-A4

0000 - GENERALE

MURI DI SOSTEGNO TIPOLOGICI

RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTAZIONE:



**CONSORZIO B.B.M.**

VERIFICA:

PER IL CONSORZIO  
IL PROGETTISTA RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE  
IMPRESA PIZZAROTTI E C. S.P.A.  
DOTT. ING. PIETRO MAZZOLI  
ORDINE DEGLI INGEGNERI DI PARMA N. 821

PER IL CONSORZIO  
IL DIRETTORE TECNICO  
IMPRESA PIZZAROTTI E C. S.P.A.  
DOTT. ING. SABINO DEL BALZO  
ORDINE DEGLI INGEGNERI DI POTENZA N. 631

APPROVATO SDP

I.D.	IDENTIFICAZIONE ELABORATO											PROGR.		DATA:
	EMIT.	TIPO	FASE	M.A.	LOTTO	OPERA	PROG. OPERA	TRATTO	PARTI	PROGR.	PART. DOC.	STATO	REV.	MARZO 2015
60233	04	RC	D	I	11	00	000	00	00	002	00	A	00	SCALA:

ELABORAZIONE PROGETTUALE

IL PROGETTISTA  
IMPRESA PIZZAROTTI E C. S. P.A.  
DOTT. ING. PIETRO MAZZOLI  
ORDINE DEGLI INGEGNERI DI PARMA N. 821

REVISIONE

N.	REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	DATA	CONTROLLATO	DATA	APPROVATO
A	00	EMISSIONE	04/03/15	PIACENTINI	04/03/15	MAZZOLI	04/03/15	MAZZOLI

IL CONCEDENTE



IL CONCESSIONARIO



SOCIETÀ DI PROGETTO  
BREBEMI SPA

Società di Progetto  
Brebemi SpA

IL PRESENTE DOCUMENTO NON POTRA' ESSERE COPIATO, RIPRODOTTO O ALTRIMENTI PUBBLICATO, IN TUTTO O IN PARTE, SENZA IL CONSENSO SCRITTO DELLA SdP BREBEMI S.P.A. OGNI UTILIZZO NON AUTORIZZATO SARA' PERSEGUITO A NORMA DI LEGGE. THIS DOCUMENT MAY NOT BE COPIED, REPRODUCED OR PUBLISHED, EITHER IN PART OR IN ITS ENTIRETY, WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF SdP BREBEMI S.P.A. UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED BY LAW

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</b>	<b>7</b>
	3.1 Calcestruzzo .....	7
	3.2 Acciaio .....	7
	3.3 Caratteristiche di progetto .....	7
	3.3.1 C28/35 .....	7
	3.3.2 C32/40 .....	8
	3.3.3 B450C .....	8
<b>4</b>	<b>SOFTWARE DI CALCOLO .....</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>CRITERI DI CALCOLO .....</b>	<b>10</b>
	5.1 Stratigrafia e parametri geotecnici .....	10
	5.2 Caratterizzazione sismica .....	10
	5.3 Analisi dei carichi .....	12
	5.3.1 Spinta statica (terra, sovraccarico e idraulica) .....	12
	5.3.2 Incremento di spinta dovuto al sisma .....	13
	5.3.3 Urto da traffico veicolare (carico eccezionale) .....	14
	5.3.4 Sovraccarico stradale (carico variabile) .....	15
	5.3.5 Vento (carico variabile) .....	15
	5.4 Combinazioni di carico .....	18
	5.5 Verifiche di stabilità .....	26
	5.5.1 Ribaltamento del muro .....	26
	5.5.2 Traslazione sul piano di posa .....	26
	5.5.3 Carico limite fondazione terreno .....	27
	5.5.4 Stabilità globale .....	28
<b>6</b>	<b>MURO DI SOSTEGNO CON <math>H_{MAX}=3.0M</math> .....</b>	<b>30</b>
	6.1 Geometria del muro .....	30
	6.1 Risultati analisi .....	31
	6.2 Verifiche strutturali .....	32
	6.2.1 Verifica a presso-flessione .....	32
	6.2.2 Verifica a taglio .....	33
	6.1 Verifiche geotecniche .....	34
<b>7</b>	<b>MURO DI SOSTEGNO CON <math>H_{MAX}=4.0M</math> .....</b>	<b>36</b>
	7.1 Geometria del muro .....	36
	7.2 Risultati analisi .....	37

APPROVATO SDR

Società di Progetto  
Brebemi SpA



7.3	<b>Verifiche strutturali .....</b>	<b>38</b>
7.3.1	<i>Verifica a presso-flessione .....</i>	38
7.3.2	<i>Verifica a taglio .....</i>	39
7.4	<b>Verifiche geotecniche .....</b>	<b>40</b>
<b>8</b>	<b>MURO DI SOSTEGNO CON H<sub>MAX</sub>=5.0M .....</b>	<b>42</b>
8.1	<b>Geometria del muro .....</b>	<b>42</b>
8.2	<b>Risultati analisi .....</b>	<b>43</b>
8.3	<b>Verifiche strutturali .....</b>	<b>44</b>
8.3.1	<i>Verifica a presso-flessione .....</i>	44
8.3.2	<i>Verifica a taglio .....</i>	45
8.4	<b>Verifiche geotecniche .....</b>	<b>46</b>
<b>9</b>	<b>MURO DI SOSTEGNO CON H<sub>MAX</sub>=6.0M .....</b>	<b>48</b>
9.1	<b>Geometria del muro .....</b>	<b>48</b>
9.2	<b>Risultati analisi .....</b>	<b>49</b>
9.3	<b>Verifiche strutturali .....</b>	<b>50</b>
9.3.1	<i>Verifica a presso-flessione .....</i>	50
9.3.2	<i>Verifica a taglio .....</i>	51
9.4	<b>Verifiche geotecniche .....</b>	<b>52</b>
<b>10</b>	<b>MURO DI SOSTEGNO CON H<sub>MAX</sub>=8.0M .....</b>	<b>54</b>
10.1	<b>Geometria del muro .....</b>	<b>54</b>
10.2	<b>Risultati analisi .....</b>	<b>55</b>
10.3	<b>Verifiche strutturali .....</b>	<b>56</b>
10.3.1	<i>Verifica a presso-flessione .....</i>	56
10.3.2	<i>Verifica a taglio .....</i>	57
10.4	<b>Verifiche geotecniche .....</b>	<b>58</b>

## 1 PREMESSA

In questo documento si affrontano le procedure di dimensionamento dei muri di sostegno tipologici, nell'ambito del Progetto Definitivo dell'interconnessione A35-A4.

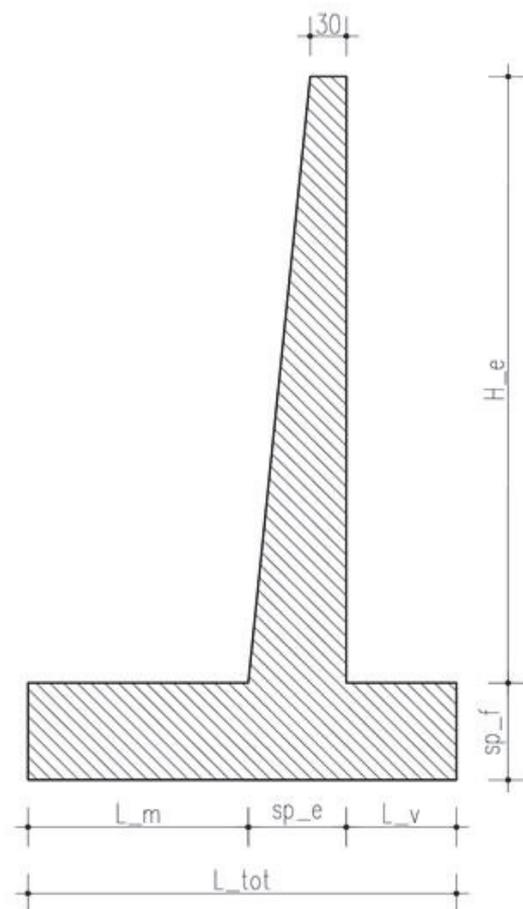
Tutti i muri sono stati dimensionati considerando la presenza, in testa muro, sia di una barriera antirumore di altezza 5.0m, sia della presenza di una barriera di sicurezza.

Le azioni di calcolo considerate sono pertanto: la spinta del terreno, il traffico stradale agente a tergo del muro, l'azione del vento, l'azione dell'urto da traffico veicolare, l'effetto del sisma.

Il terreno a tergo dei muri in oggetto è costituito da materiale di rilevato; per quanto riguarda quello di fondazione, si considerano i parametri geotecnici riportati nel capitolo specifico, in accordo alla Relazione Geotecnica di riferimento.

I calcoli delle sollecitazioni sulla struttura, così come le verifiche di tipo geotecnico, sono stati eseguiti con l'ausilio del programma di calcolo *MAX 10.0*, prodotto dalla "Aztec Informatica Srl". *MAX 10.0* è un software di calcolo particolarmente evoluto dedicato al calcolo delle opere di sostegno.

Con riferimento alla figura seguente, le caratteristiche geometriche dei muri di sostegno tipologici analizzati sono presentati nella tabella che segue.



APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



MURO TIPOLOGICO	H <sub>e</sub> (cm)	sp <sub>e</sub> (cm)	sp <sub>f</sub> (cm)	L <sub>v</sub> (cm)	L <sub>m</sub> (cm)	L <sub>tot</sub> (cm)
Hmax=3.0m	300	70	60	0	180	250
Hmax=4.0m	400	70	70	70	170	310
Hmax=5.0m	500	80	80	90	180	350
Hmax=6.0m	600	90	90	110	220	420
Hmax=8.0m	800	110	110	130	280	520

APPROVATO SDP

	Doc. N. 60233-00000-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04RCDII100000000000200A00	REV. 00	FOGLIO 6 di 59
--	--------------------------------	---	------------	-------------------

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I calcoli e le verifiche effettuate sono state condotte in accordo alle seguenti normative:

- Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 14-01-2008
- Circolare n. 617 del 02-02-2009 "Istruzione per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008"

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



### 3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Nel seguito si elencano le caratteristiche dei materiali utilizzati per le diverse parti costituenti la struttura.

#### 3.1 Calcestruzzo

		Classe di esposizione	a/c
Calcestruzzo per sottofondazione:	C12/15	X0	
Calcestruzzo per fondazione:	C28/35	XC2	0.52
Calcestruzzo per elevazione:	C32/40	XC4-XD1-XF1	0.47

CLASSE DI CONSISTENZA S4

DIAMETRO MASSIMO INERTI 32mm (Calcestruzzo fondazione e Calcestruzzo elevazione).

#### 3.2 Acciaio

	Tipo
• Acciaio per c.a. in barre ad aderenza migliorata:	B450C

#### 3.3 Caratteristiche di progetto

Nel seguito si elencano le caratteristiche di progetto dei materiali utilizzati per la struttura.

##### 3.3.1 C28/35

Classe di resistenza	=	C 28/35	
Rck	=	35 MPa	Valore caratteristico resistenza cubica
fck	=	29.05 MPa	Valore caratteristico resistenza cilindrica
fcm	=	37.05 MPa	Valore medio resistenza cilindrica
fctm	=	2.83 MPa	Valore medio resistenza a trazione semplice
fctm	=	3.40 MPa	Valore medio resistenza a trazione per flessione
$\nu$	=	0.2	Coefficiente di Poisson
Ecm	=	32588 MPa	Modulo elastico
$\gamma_c$	=	1.5	Coefficiente parziale di sicurezza
$\alpha_{cc}$	=	0.85	Coefficiente risuttivo per resistenze di lunga durata
fcd	=	16.46 MPa	Resistenza di calcolo a compressione
fctd	=	1.32 MPa	Resistenza di calcolo a trazione
$\epsilon_{cu}$	=	0.0035	Deformazione a rottura per il calcestruzzo
$\epsilon_{c0}$	=	0.002	Deformazione limite del tratto a parabola del legame costitutivo del calcestruzzo

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



### 3.3.2 C32/40

Classe di resistenza	=	C32/40	
Rck	=	40 MPa	Valore caratteristico resistenza cubica
fck	=	33.2 MPa	Valore caratteristico resistenza cilindrica
fcm	=	41.2 MPa	Valore medio resistenza cilindrica
fctm	=	3.10 MPa	Valore medio resistenza a trazione semplice
fcfm	=	3.72 MPa	Valore medio resistenza a trazione per flessione
$\nu$	=	0.2	Coefficiente di Poisson
Ecm	=	33643 MPa	Modulo elastico
$\gamma_c$	=	1.5	Coefficiente parziale di sicurezza
$\alpha_{cc}$	=	0.85	Coefficiente risuttivo per resistenze di lunga durata
fcd	=	18.81 MPa	Resistenza di calcolo a compressione
fctd	=	1.45 MPa	Resistenza di calcolo a trazione
$\epsilon_{cu}$	=	0.0035	Deformazione a rottura per il calcestruzzo
$\epsilon_{c0}$	=	0.002	Deformazione limite del tratto a parabola del legame costitutivo del calcestruzzo

### 3.3.3 B450C

fyk nom=	450 MPa	Valore nominale della tensione caratteristica di snervamento
ftk nom=	540 MPa	Valore nominale della tensione caratteristica di rottura
$\gamma_s$	= 1.15	Coefficiente parziale di sicurezza
Es	= 210000 MPa	Modulo elastico
fyd	= 391.3 MPa	Resistenza di calcolo
$\epsilon_{su}$	= 0.01	Deformazione a rottura per l'acciaio

APPROVATO SDP

	Doc. N. 60233-00000-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04RCDII100000000000200A00	REV. 00	FOGLIO 9 di 59
--	--------------------------------	---	------------	-------------------

#### 4 SOFTWARE DI CALCOLO

Il progetto dei muri di sostegno è stato effettuato in accordo al D.M. 14-01-2008 con l'ausilio del programma di calcolo *MAX 10.0*, prodotto dalla "Aztec Informatica Srl", che è un software di calcolo particolarmente evoluto dedicato al calcolo delle opere di sostegno.

Per la verifica delle sezioni in c.a. rettangolari che costituiscono le varie parti delle strutture di sostegno si è utilizzato il software "Gelfi".

Il calcolo delle armature sarà condotto con riferimento ad una sezione di base 100 cm.

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60233-00000-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04RCDII100000000000200A00	REV. 00	FOGLIO 10 di 59
--	--------------------------------	---	------------	--------------------

## 5 CRITERI DI CALCOLO

### 5.1 Stratigrafia e parametri geotecnici

L'interazione fra struttura e terreno è studiata considerando, conformemente a quanto riportato nella relazione geologico-geotecnica, le seguenti caratteristiche geotecniche.

Nel caso delle opere di sostegno in oggetto, il terreno retrostante le elevazioni è costituito dal materiale di rilevato, per cui si assumono le seguenti caratteristiche:

$\gamma_{\text{terra}} =$	20.00 kN/m <sup>3</sup>	peso specifico medio
$\phi_{\text{terra}} =$	38°	angolo di attrito
$C_{\text{terra}} =$	0.0 kN/m <sup>2</sup>	coesione del terreno

Per quanto riguarda il terreno di fondazione, nell'area di interesse in cui verranno realizzati i muri di sostegno si possono identificare due tipologie di terreni di fondazione

#### Ghiaia sabbiosa

$\gamma_{\text{terra}} =$	20.00 kN/m <sup>3</sup>	peso specifico medio
$\phi_{\text{terra}} =$	38°	angolo di attrito
$C_{\text{terra}} =$	0.0 kN/m <sup>2</sup>	coesione del terreno

#### Limo/Argilla

$\gamma_{\text{terra}} =$	20.00 kN/m <sup>3</sup>	peso specifico medio
$\phi_{\text{terra}} =$	30°	angolo di attrito
$C_{\text{terra}} =$	10.0 kN/m <sup>2</sup>	coesione del terreno

I muri di sostegno vengono dimensionati, a favore di sicurezza, utilizzando per il terreno di fondazione i parametri geotecnici relativi allo strato Limo/Argilla.

### 5.2 Caratterizzazione sismica

Per l'analisi sismica si assumono i parametri sismici più gravosi relativamente al tratto interessato dall'interconnessione.

Per la definizione dell'azione sismica, occorre definire il periodo di riferimento  $P_{VR}$  in funzione dello stato limite considerato.

La vita nominale ( $V_N$ ) dell'opera è stata assunta pari a 50 anni. La classe d'uso assunta è la IV.

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

$$V_R = V_N \cdot C_u = 100 \text{ anni}$$

Società di Progetto  
Brebemi SpA



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

$$P_{VR}(SLV) = 10\%$$

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

$$T_R(SLV) = -V_R / \ln(1 - P_{VR}) = 949 \text{ anni}$$

Dato il valore del periodo di ritorno suddetto, tramite le tabelle riportate nell'Allegato B della norma, è possibile definire i parametri che caratterizzano il sisma.

$a_g$	accelerazione orizzontale massima del terreno su suolo di categoria A, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità;	0.184 g	
$F_0$	valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale	2.461	
$T^*_c$	periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale	0.286 s	
$S_s$	coefficiente di amplificazione stratigrafica	Cat B	1.2
		Cat D	1.72

Per tutti i muri si può adottare, a favore di sicurezza, il coefficiente d'amplificazione stratigrafica  $S_s$  del sottosuolo di categoria **D**, considerando l'opera ubicata in pianura:

$$S_s = 1.72$$

$$S_t = 1.0$$

$$S = S_s \times S_t = 1.72$$

L'accelerazione massima risulta quindi:

$$a_{\max}(SLV) = 1.72 \times 0.184g = 0.317 g$$

Nelle verifiche allo stato limite ultimo i valori dei coefficienti sismici orizzontali  $k_h$  e verticale  $k_v$  si possono valutare come

$$k_h = \beta_m \times (a_{\max} / g)$$

$$k_v = \pm 0.5k_h$$

Nel caso in esame il coefficiente  $\beta_m$  può essere assunto pari a 0.24. Pertanto si ottengono i seguenti coefficienti sismici:

$$k_h = 0.24 \times 0.317 = 0.076$$

$$k_v = \pm 0.5 \times 0.076 = 0.038$$

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60233-00000-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04RCDII10000000000200A00	REV. 00	FOGLIO 12 di 59
--	--------------------------------	--	------------	--------------------

## 5.3 Analisi dei carichi

### 5.3.1 Spinta statica (terra, sovraccarico e idraulica)

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

I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

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

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

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

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

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

In presenza di pressioni neutre, la spinta idrostatica è:

$$S_w = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot H_w^2$$

ed è applicata ad  $1/3 \cdot H_w$ , con:

$H_w$  = altezza falda dalla base di fondazione;

$\gamma_w$  = peso specifico dell'acqua.

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60233-00000-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04RCDII100000000000200A00	REV. 00	FOGLIO 13 di 59
--	--------------------------------	---	------------	--------------------

### 5.3.2 Incremento di spinta dovuto al sisma

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

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

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

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

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

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

In presenza di falda a monte,  $\theta$  assume le seguenti espressioni:

Terreno a bassa permeabilità

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

Terreno a permeabilità elevata

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

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

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

dove il coefficiente  $A$  vale

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

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

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

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60233-00000-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04RCDII100000000000200A00	REV. 00	FOGLIO 14 di 59
--	--------------------------------	---	------------	--------------------

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

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

$$F_{iH} = k_h W \quad F_{iV} = \pm k_v W$$

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

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

### 5.3.3 Urto da traffico veicolare (carico eccezionale)

L'azione dell'urto veicolare è stata valutata sulla base delle indicazioni riportate nel paragrafo 3.6.3 del D.M.2008.

Si considera quindi una forza orizzontale equivalente di collisione pari a 100 kN, applicata su una linea di 0.50m ad una quota di +0.80m rispetto al livello del piano di marcia. Considerando, per tale azione, una diffusione a 45° (a favore di sicurezza da un solo lato, nel caso di presenza di un giunto) lungo il paramento fino ad estradosso fondazione si ottiene:

Muro Hmax=3.0m  $F_u = 100 / (0.5+3.0) = 28.6 \text{ kN/m}$   
 $M_u = 28.6 \times 0.8 = 22.9 \text{ kNm/m}$

Muro Hmax=4.0m  $F_u = 100 / (0.5+4.0) = 22.3 \text{ kN/m}$   
 $M_u = 22.3 \times 0.8 = 17.8 \text{ kNm/m}$

Muro Hmax=5.0m  $F_u = 100 / (0.5+5.0) = 18.2 \text{ kN/m}$   
 $M_u = 18.2 \times 0.8 = 14.6 \text{ kNm/m}$

Muro Hmax=6.0m  $F_u = 100 / (0.5+6.0) = 15.4 \text{ kN/m}$   
 $M_u = 15.4 \times 0.8 = 12.4 \text{ kNm/m}$

Muro Hmax=8.0m  $F_u = 100 / (0.5+8.0) = 11.8 \text{ kN/m}$   
 $M_u = 11.8 \times 0.8 = 9.5 \text{ kNm/m}$

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA

Pertanto, nei modelli sono state applicate, in corrispondenza della testa del muro, le azioni sopra riportate.



### 5.3.4 Sovraccarico stradale (carico variabile)

Per tenere conto del traffico stradale in tutte le tipologie di muri è stato applicato, a tergo del muro, un carico uniformemente distribuito pari a 20 kPa.

### 5.3.5 Vento (carico variabile)

Il D.M. del 14 Gennaio 2008 al punto 3.3, fornisce indicazioni per il calcolo della velocità di riferimento e della velocità media del vento. L'azione statica equivalente del vento è ricavabile, secondo quanto indicato dallo stesso documento, in funzione della velocità calcolata. Ai fini del calcolo delle sollecitazioni si fa riferimento al vento nella sola direzione perpendicolare all'asse stradale.

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_b * C_e * C_p * C_d$$

dove:

- $q_b$  pressione cinetica di riferimento
- $C_e$  coefficiente di esposizione
- $C_p$  coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico)
- $C_d$  coefficiente dinamico

I dati di ingresso sono i seguenti:

- Regione:

	$v_{b,o}$ (m/s)	$a_o$ (m)	$k_a$ (1/s)
Zona 1 = Regione Lombardia.	25	1000	0.010

Si assumono inoltre i seguenti parametri:

- Classe di rugosità : D                      Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aree agricole, ...)
- Altezza s.l.m. di ubicazione dell'opera e corrispondente categoria di classificazione del luogo oggetto dell'intervento in funzione della rugosità < 500 m

La Categoria di esposizione risulta in funzione della rugosità:

Altitudine	Classe di Rugosità	Categoria di esposizione
fino a 500 m	D	II

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60233-00000-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04RCDII100000000000200A00	REV. 00	FOGLIO 16 di 59
--	--------------------------------	---	------------	--------------------

Da cui :

Categoria	kr	z <sub>0</sub> (m)	z <sub>min</sub> (m)
II	0,19	0,05	4

- La pressione cinetica di riferimento è data dall'espressione:

$$q_b = 0,5 * \rho * V_b^2 = 390.63 \text{ N/m}^2$$

dove  $\rho$  è la densità dell'aria e vale  $1,25 \text{ kg/m}^3$ .

- Il coefficiente di esposizione dipende dall'altezza  $z$  dal piano di campagna (rilevato compreso, se presente) del punto considerato, dalla topografia e dalla categoria di esposizione. Si calcola il coefficiente di esposizione  $c_e$  in funzione dell'altezza  $z$  sul suolo considerando a favore di sicurezza l'altezza di rilevato massima che si verifica sul tracciato e con coefficiente di topografia  $c_t = 1$ :

$$c_e(z) = k_r^2 \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \left[ 7 + \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \right]$$

per  $z \geq z_{min}$

per  $z < z_{min}$  si calcola con  $z = z_{min}$ .

Assumendo un'altezza media del rilevato rispetto al piano campagna di 5m e considerando un'altezza della barriere di 5m, il valore di  $c_e$ , per la categoria di esposizione II, è pari a :

$$c_{e,max}(z = 10 \text{ m}) = 2.35$$

- Coefficiente dinamico  $c_d$

Facendo riferimento a quanto riportato nel D.M. 2008, per l'opera in oggetto si assume un valore di  $c_d = 1$ .

- Coefficiente di forma  $c_p$

Il coefficiente di forma  $c_p$  viene ottenuto, a favore di sicurezza, facendo riferimento alle indicazioni fornite per i corpi cilindrici:

$$c_p = 1.20$$

Da quanto sopra riportato si ha:

APPROVATO SDR

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60233-00000-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04RCDII100000000000200A00	REV. 00	FOGLIO 17 di 59
--	--------------------------------	---	------------	--------------------

$$p_{\max} = q_b * C_e * C_p * C_d = 0.39 * 2.35 * 1.20 * 1.00 = 1.10 \text{ kPa}$$

La pressione del vento è stata considerata, a favore di sicurezza, uniforme su tutta l'altezza della barriera e pari al valore massimo.

Nel dimensionamento di tutti i muri è stato considerato l'effetto del vento nei termini sopra riportati.

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60233-00000-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04RCDII10000000000200A00	REV. 00	FOGLIO 18 di 59
--	--------------------------------	--	------------	--------------------

## 5.4 Combinazioni di carico

In ottemperanza al D.M. del 14.01.2008 (Norme tecniche per le costruzioni), le verifiche sono state condotte con il metodo semi-probabilistico agli Stati Limite.

Le combinazioni di carico, considerate ai fini delle verifiche, sono stabilite in modo da garantire la sicurezza in conformità a quanto prescritto al cap. 2 del sovracitato *D.M. 14/01/2008*.

Le verifiche agli stati limite ultimi devono essere eseguiti in riferimento ai seguenti stati limite:

-SLU di tipo geotecnico (GEO), di stabilità globale (STAB) e di equilibrio di corpo rigido (EQU)

- stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno (STAB);
- scorrimento sul piano di posa (GEO);
- collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno (GEO);
- ribaltamento (EQU).

-SLU di tipo strutturale (STR)

- raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

Le verifiche saranno condotte secondo l'approccio progettuale "Approccio 2", che prevede, per le verifiche STR e GEO, un'unica combinazione di calcolo:

Combinazione	A1+M1+R3	STR e GEO
--------------	----------	-----------

per la quale valgono i coefficienti parziali di seguito riportati.

La verifica al ribaltamento viene seguita secondo la combinazione EQU, i cui coefficienti di sicurezza sono di seguito riportati, adottando per il calcolo delle spinte i coefficienti parziali del gruppo (M2).

La verifica di stabilità globale viene eseguita secondo la seguente combinazione di calcolo:

combinazione	A2+M2+R2	STAB
--------------	----------	------

per la quale valgono i coefficienti parziali di seguito riportati.

### Simbologia adottata

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

Società di Progetto  
Brebemi SpA



### Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

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

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>EQU</i>	<i>A1</i>	<i>A2</i>
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	0.90	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1.10	1.30	1.00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1.50	1.50	1.30

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>			<i>M1</i>	<i>M2</i>
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$		1.00	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$		1.00	1.25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$		1.00	1.40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$		1.00	1.60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$		1.00	1.00

### Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

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

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>EQU</i>	<i>A1</i>	<i>A2</i>
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1.00	1.00	1.00

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>			<i>M1</i>	<i>M2</i>
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$		1.00	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$		1.00	1.25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$		1.00	1.40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$		1.00	1.60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$		1.00	1.00

 Società di Progetto  
Brebemi SpA



## FONDAZIONE SUPERFICIALE

### Coefficienti parziali $\gamma_R$ per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO

Verifica	Coefficienti parziali		
	R1	R2	R3
Capacità portante della fondazione	1.00	1.00	1.40
Scorrimento	1.00	1.00	1.10
Resistenza del terreno a valle	1.00	1.00	1.40
Stabilità globale		1.10	

Coeff. di combinazione  $\Psi_0 = 0.70$        $\Psi_1 = 0.50$        $\Psi_2 = 0.20$

Ai fini delle verifiche degli stati limite ultimi si definiscono le seguenti combinazioni:

SLU  $\Rightarrow \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \Psi_{0i} \cdot Q_{ki}$

Eccezionale  $\Rightarrow G_1 + G_2 + A_d + \sum_i \Psi_{2i} \cdot Q_{ki}$  (urto da svio veicolare)

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio si definiscono le seguenti combinazioni:

Rara  $\Rightarrow G_1 + G_2 + Q_{k1} + \sum_i \Psi_{0i} \cdot Q_{ki}$

Frequente  $\Rightarrow G_1 + G_2 + \Psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \Psi_{2i} \cdot Q_{ki}$

Quasi permanente  $\Rightarrow G_1 + G_2 + \Psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \Psi_{2i} \cdot Q_{ki}$

Di seguito si riportano le combinazioni di carico considerate:

#### Simbologia adottata

$\gamma$  Coefficiente di partecipazione della condizione

$\Psi$  Coefficiente di combinazione della condizione

C Coefficiente totale di partecipazione della condizione

#### Combinazione n° 1 SLU (Approccio 2)

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	1.30	1.00	1.30

#### Combinazione n° 2 EQU

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1.10	1.00	1.10
Spinta terreno	1.10	1.00	1.10

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



Combinazione n° 3 STAB

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 4 SLU (Approccio 2)

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	1.30	1.00	1.30
Sovraccarico	1.50	1.00	1.50
Vento	1.50	0.70	1.05

Combinazione n° 5 EQU

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1.10	1.00	1.10
Spinta terreno	1.10	1.00	1.10
Sovraccarico	1.50	1.00	1.50
Vento	1.50	0.70	1.05

Combinazione n° 6 STAB

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Sovraccarico	1.30	1.00	1.30
Vento	1.30	0.70	0.91

Combinazione n° 7 SLU (Approccio 2)

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	1.30	1.00	1.30
Sovraccarico	1.50	0.70	1.05
Vento	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 8 EQU

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1.10	1.00	1.10
Spinta terreno	1.10	1.00	1.10
Sovraccarico	1.50	0.70	1.05
Vento	1.50	1.00	1.50

APPROVATO SDP

 Società di Progetto  
Brebemi SpA



Combinazione n° 9 STAB

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Sovraccarico	1.30	0.70	0.91
Vento	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 10 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 11 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 12 EQU - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 13 EQU - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 14 STAB - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 15 STAB - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

APPROVATO SDP

Combinazione n° 16 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Sovraccarico	1.00	0.20	0.20
Vento	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 17 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Sovraccarico	1.00	0.20	0.20
Vento	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 18 EQU - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Sovraccarico	1.00	0.20	0.20
Vento	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 19 EQU - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Sovraccarico	1.00	0.20	0.20
Vento	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 20 STAB - Sisma Vert. positivo

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Sovraccarico	1.00	0.20	0.20
Vento	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 21 STAB - Sisma Vert. negativo

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Sovraccarico	1.00	0.20	0.20
Vento	1.00	0.20	0.20

APPROVATO SDP

 Società di Progetto  
Brebemi SpA



Combinazione n° 22 SLE (Quasi Permanente)

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Sovraccarico	1.00	0.20	0.20
Vento	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 23 SLE (Frequente)

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Sovraccarico	1.00	0.50	0.50
Vento	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 24 SLE (Frequente)

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Vento	1.00	0.50	0.50
Sovraccarico	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 25 SLE (Rara)

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Sovraccarico	1.00	1.00	1.00
Vento	1.00	0.70	0.70

Combinazione n° 26 SLE (Rara)

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Vento	1.00	1.00	1.00
Sovraccarico	1.00	0.70	0.70

Combinazione n° 27 SLU - Eccezionale

	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Urto	1.00	1.00	1.00

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



Combinazione n° 28 SLU - Eccezionale

	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Sovraccarico	1.00	0.20	0.20
Urto	1.00	1.00	1.00
Vento	1.00	0.20	0.20

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60233-00000-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04RCDII10000000000200A00	REV. 00	FOGLIO 26 di 59
--	--------------------------------	--	------------	--------------------

## 5.5 Verifiche di stabilità

### 5.5.1 Ribaltamento del muro

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

Eseguendo il calcolo mediante gli eurocodici si può impostare  $\eta_r \geq 1.0$ .

Deve quindi essere verificata la seguente disequaglianza

$$\frac{M_s}{M_r} \geq \eta_r$$

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

Con riferimento alla combinazione EQU dell'Approccio 2, la stabilità del muro risulta accettabile se il coefficiente di sicurezza  $\mu_r$  è maggiore o uguale a 1.0.

### 5.5.2 Traslazione sul piano di posa

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

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare  $\eta_s \geq 1.0$

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60233-00000-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04RCDII10000000000200A00	REV. 00	FOGLIO 27 di 59
--	--------------------------------	--	------------	--------------------

$$\frac{F_r}{F_s} \geq \eta_s$$

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

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

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

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle del muro. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 50 per cento.

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

Con riferimento alla combinazione GEO dell'Approccio 2, il coefficiente di sicurezza imposto dalla normativa deve rispettare la condizione  $\mu_s \geq 1.1$ .

### 5.5.3 Carico limite fondazione terreno

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

$$\frac{Q_u}{R} \geq \eta_q$$

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare  $\eta_q \geq 1.0$

Le espressioni di Hansen per il calcolo della capacità portante si differenziano a secondo se siamo in presenza di un terreno puramente coesivo ( $\phi=0$ ) o meno e si esprimono nel modo seguente:

Caso generale

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

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60233-00000-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04RCDII100000000000200A00	REV. 00	FOGLIO 28 di 59
--	--------------------------------	---	------------	--------------------

Caso di terreno puramente coesivo  $\phi=0$

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

in cui  $d_c, d_q, d_\gamma$ , sono i fattori di profondità;  $s_c, s_q, s_\gamma$ , sono i fattori di forma;  $i_c, i_q, i_\gamma$ , sono i fattori di inclinazione del carico;  $b_c, b_q, b_\gamma$ , sono i fattori di inclinazione del piano di posa;  $g_c, g_q, g_\gamma$ , sono i fattori che tengono conto del fatto che la fondazione poggia su un terreno in pendenza.

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

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

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

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

Con riferimento alla combinazione GEO dell'Approccio 2, il coefficiente di sicurezza imposto dalla normativa deve rispettare la condizione  $\mu_s \geq 1.4$ .

#### 5.5.4 Stabilità globale

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

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

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

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

Società di Progetto  
Brebemi SpA




	Doc. N. 60233-00000-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04RCDII100000000000200A00	REV. 00	FOGLIO 29 di 59
--	--------------------------------	---	------------	--------------------

dove il termine  $m$  è espresso da

$$m = \left( 1 + \frac{\sum_{i=1}^n \frac{W_i \cdot \tan \phi_i}{b_i \cdot \cos \alpha_i}}{\eta} \right) \cos \alpha_i$$

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

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

Con riferimento alla combinazione A2+M2+R2 STAB, il coefficiente di sicurezza imposto dalla normativa deve rispettare la condizione  $\mu_s \geq 1.1$ .

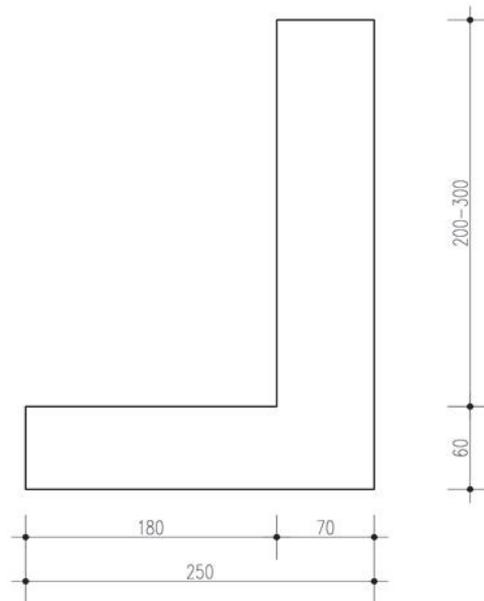
APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA




## 6 MURO DI SOSTEGNO CON $H_{MAX}=3.0M$

### 6.1 Geometria del muro



Le principali caratteristiche geometriche adottate nelle successive calcolazioni risultano:

Hmax elevazione = 300 cm

Sp base elevazione = 70 cm

Ltot fondazione = 250 cm

Sp fondazione = 60 cm

L fondazione di monte = 180 cm

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



## 6.1 Risultati analisi

Di seguito la stratigrafia adottata nella modellazione.



In tabella si riassumono le sollecitazioni di progetto agenti sull'elevazione del muro, per le combinazioni più significative.

COMBINAZIONE	ELEVAZIONE		
	M <sub>MAX</sub> (kNm/m)	T <sub>MAX</sub> (kN/m)	N <sub>MAX</sub> (kN/m)
SLU	87	44	67
SISMA	42	31	67
ECCEZIONALE	136	50	52

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA

## 6.2 Verifiche strutturali

Per quanto riguarda la verifica a presso-flessione, si considera l'elemento fondazione avente spessore 60cm. Essa risulta valida, a favore di sicurezza, anche per l'elevazione.

$$h = 60\text{cm}$$

$$A_{\text{tesa}} = \Phi 16/20$$

$$A_{\text{comp}} = \Phi 12/20$$

$$c = 6\text{cm}$$

Per quanto riguarda la verifica a taglio, si considera invece l'elemento elevazione avente spessore 60cm.

$$h = 70\text{cm}$$

$$A_{\text{tesa}} = \Phi 16/20$$

$$A_{\text{comp}} = \Phi 12/20$$

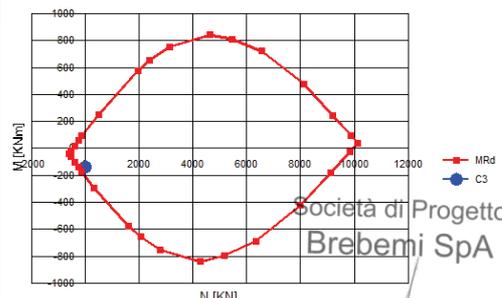
$$c = 6\text{cm}$$

Pertanto, verrà eseguita un'unica verifica strutturale valida sia per l'elevazione che per la fondazione, considerando a favore di sicurezza sforzo normale nullo e la classe di calcestruzzo minima.

### 6.2.1 Verifica a presso-flessione

$$M_{S,d} = 136 \text{ kNm/m}$$

$$N_{S,d} = 0.0 \text{ kN/m}$$



APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA

Essendo  $M_{R,d} = 212 \text{ kNm/m} > M_{S,d} = 136 \text{ kNm/m}$  la verifica risulta soddisfatta.

## 6.2.2 Verifica a taglio

$$T_{S,d} = 50 \text{ kN/m}$$

$$M_{S,d} = 136 \text{ kNm/m}$$

$$N_{S,d} = 0.0 \text{ kN/m}$$

<b>V<sub>sdu</sub></b>	<b>50</b>	<b>kN</b>
M <sub>sdu</sub>	136	kNm
N <sub>sdu</sub>	0	kN
R <sub>ck</sub>	35	N/mm <sup>2</sup>
f <sub>ck</sub>	28	N/mm <sup>2</sup>
γ <sub>c</sub>	1.5	
f <sub>yk</sub>	450	N/mm <sup>2</sup>
bw	100	cm
d	64.00	cm
Asl	10.05	cm <sup>2</sup>
c	6.00	cm
α	90	gradi
α	1.57	rad
θ	21.80	gradi
ctgθ	2.50	
θ imposto	21.80	gradi
Asw	0	cm <sup>2</sup>
passo staffe	0	cm
f <sub>cd</sub>	15.867	N/mm <sup>2</sup>
f <sub>ctd0,05</sub>	1.240	N/mm <sup>2</sup>
f <sub>yd</sub>	391.304	N/mm <sup>2</sup>
σ <sub>cp</sub>	0.0000	N/mm <sup>2</sup>
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
<b>V<sub>Rd</sub></b>	<b>196.152</b>	<b>kN</b>

APPROVATO SDP

La verifica risulta soddisfatta senza armatura a taglio.

Società di Progetto  
Brebemi SpA



## 6.1 Verifiche geotecniche

Le verifiche geotecniche del muro vengono riassunte nello schema seguente. Esse risultano tutte soddisfatte in quanto i coefficienti di sicurezza calcolati risultano maggiori di quelli limite imposti dalla normativa.

### Simbologia adottata

**C** Identificativo della combinazione

**Tipo** Tipo combinazione

**Sisma** Combinazione sismica

**CS<sub>SCO</sub>** Coeff. di sicurezza allo scorrimento

**CS<sub>RIB</sub>** Coeff. di sicurezza al ribaltamento

**CS<sub>QLIM</sub>** Coeff. di sicurezza a carico limite

**CS<sub>STAB</sub>** Coeff. di sicurezza a stabilità globale

<b>C</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sisma</b>	<b>CS<sub>sco</sub></b>	<b>CS<sub>rib</sub></b>	<b>CS<sub>qlim</sub></b>	<b>CS<sub>stab</sub></b>
1	A1-M1 - [1]	--	4.28	--	6.02	--
2	EQU - [1]	--	--	6.56	--	--
3	STAB - [1]	--	--	--	--	2.18
4	A1-M1 - [2]	--	2.97	--	3.52	--
5	EQU - [2]	--	--	3.11	--	--
6	STAB - [2]	--	--	--	--	1.76
7	A1-M1 - [3]	--	2.98	--	3.56	--
8	EQU - [3]	--	--	2.84	--	--
9	STAB - [3]	--	--	--	--	1.86
10	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	2.64	--	4.57	--
11	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	2.73	--	4.37	--
12	EQU - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	--	3.26	--	--
13	EQU - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	--	3.59	--	--
14	STAB - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1.86
15	STAB - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1.86
16	A1-M1 - [5]	Orizzontale + Verticale positivo	2.56	--	3.87	--
17	A1-M1 - [5]	Orizzontale + Verticale negativo	2.47	--	4.03	--
18	EQU - [5]	Orizzontale + Verticale negativo	--	2.90	--	--
19	EQU - [5]	Orizzontale + Verticale positivo	--	3.16	--	--
20	STAB - [5]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1.79
21	STAB - [5]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1.79
22	SLEQ - [1]	--	4.27	--	6.35	--
23	SLEF - [1]	--	3.95	--	5.80	--
24	SLEF - [1]	--	4.05	--	5.93	--
25	SLER - [1]	--	3.34	--	4.59	--
26	SLER - [1]	--	3.37	--	4.63	--

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



27	Eccezionale - [1]	--	2.23	1.62	2.10	2.18
28	Eccezionale - [2]	--	2.16	1.58	1.94	2.09

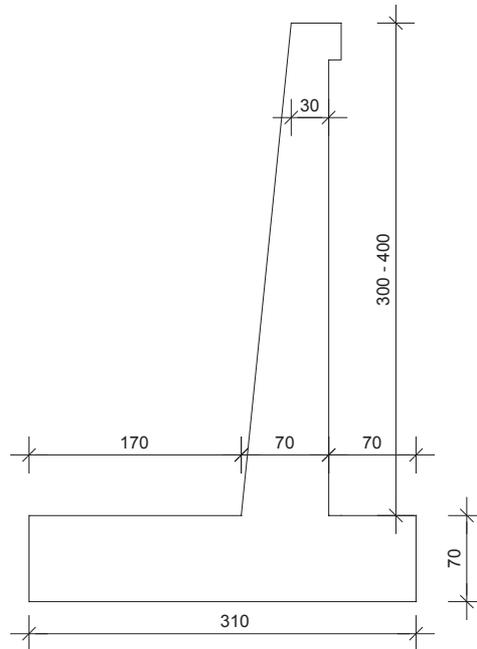
APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



## 7 MURO DI SOSTEGNO CON $H_{MAX}=4.0M$

### 7.1 Geometria del muro



Le principali caratteristiche geometriche adottate nelle successive calcolazioni risultano:

Hmax elevazione = 400 cm

Sp base elevazione = 70 cm

Ltot fondazione = 310 cm

Sp fondazione = 70 cm

L fondazione di monte = 170 cm

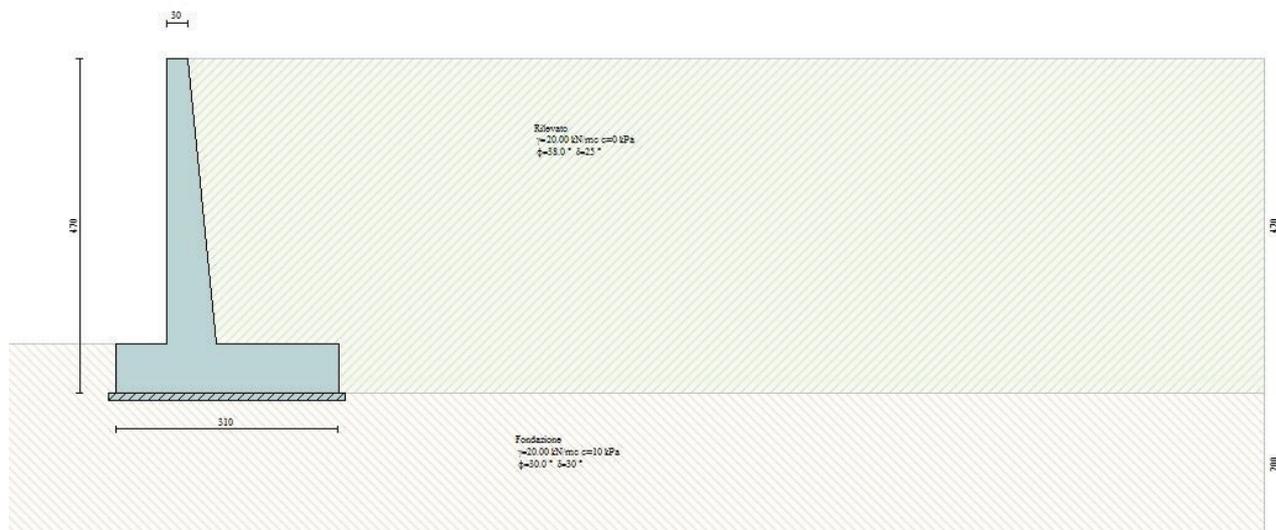
APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



## 7.2 Risultati analisi

Di seguito la stratigrafia adottata nella modellazione.



In tabella si riassumono le sollecitazioni di progetto agenti sull'elevazione del muro, per le combinazioni più significative.

COMBINAZIONE	ELEVAZIONE		
	$M_{MAX}$ (kNm/m)	$T_{MAX}$ (kN/m)	$N_{MAX}$ (kN/m)
SLU	158	79	64
SISMA	93	54	64
ECCEZIONALE	173	63	49

APPROVATO SDP

### 7.3 Verifiche strutturali

L'elevazione e la fondazione del muro sono caratterizzate dalla stessa sezione:

$$h = 70\text{cm}$$

$$A_{\text{tesa}} = \Phi 18/20$$

$$A_{\text{comp}} = \Phi 14/20$$

$$c = 6\text{cm}$$

Pertanto, verrà eseguita un'unica verifica strutturale valida sia per l'elevazione che per la fondazione, considerando a favore di sicurezza sforzo normale nullo e la classe di calcestruzzo minima.

#### 7.3.1 Verifica a presso-flessione

$$M_{S,d} = 173 \text{ kNm/m}$$

$$N_{S,d} = 0.0 \text{ kN/m}$$

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	70	1	12.72	6
			2	7.70	64

APPROVATO SDP

Essendo  $M_{R,d} = 313.5 \text{ kNm/m} > M_{S,d} = 173 \text{ kNm/m}$  la verifica risulta soddisfatta.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

### 7.3.2 Verifica a taglio

$$T_{S,d} = 79 \text{ kN/m}$$

$$M_{S,d} = 158 \text{ kNm/m}$$

$$N_{S,d} = 0.0 \text{ kN/m}$$

$V_{Sdu}$	<b>79</b>	<b>kN</b>
$M_{Sdu}$	158	kNm
$N_{Sdu}$	0	kN
$R_{ck}$	35	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	28	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5	
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$b_w$	100	cm
$d$	64.00	cm
$Asl$	12.72	cm <sup>2</sup>
$c$	6.00	cm
$\alpha$	90	gradi
$\alpha$	1.57	rad
$\theta$	21.80	gradi
$ctg\theta$	2.50	
$\theta_{imposto}$	21.80	gradi
$Asw$	0	cm <sup>2</sup>
passo staffe	0	cm
$f_{cd}$	15.867	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctd,0,05}$	1.240	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$	391.304	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{cp}$	0.0000	N/mm <sup>2</sup>
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>212.178</b>	<b>kN</b>

APPROVATO SDP

La verifica risulta soddisfatta senza armatura a taglio.

## 7.4 Verifiche geotecniche

Le verifiche geotecniche del muro vengono riassunte nello schema seguente. Esse risultano tutte soddisfatte in quanto i coefficienti di sicurezza calcolati risultano maggiori di quelli limite imposti dalla normativa.

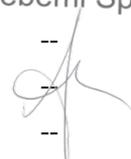
### Simbologia adottata

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

<b>C</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sisma</b>	<b>CS<sub>sco</sub></b>	<b>CS<sub>rib</sub></b>	<b>CS<sub>qlim</sub></b>	<b>CS<sub>stab</sub></b>
1	A1-M1 - [1]	--	3.35	--	5.43	--
2	EQU - [1]	--	--	5.74	--	--
3	STAB - [1]	--	--	--	--	1.87
4	A1-M1 - [2]	--	2.59	--	4.01	--
5	EQU - [2]	--	--	3.29	--	--
6	STAB - [2]	--	--	--	--	1.62
7	A1-M1 - [3]	--	2.62	--	4.16	--
8	EQU - [3]	--	--	3.16	--	--
9	STAB - [3]	--	--	--	--	1.68
10	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	2.23	--	4.96	--
11	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	2.29	--	4.75	--
12	EQU - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	--	3.18	--	--
13	EQU - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	--	3.46	--	--
14	STAB - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1.63
15	STAB - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1.64
16	A1-M1 - [5]	Orizzontale + Verticale positivo	2.19	--	4.28	--
17	A1-M1 - [5]	Orizzontale + Verticale negativo	2.13	--	4.46	--
18	EQU - [5]	Orizzontale + Verticale negativo	--	2.92	--	--
19	EQU - [5]	Orizzontale + Verticale positivo	--	3.16	--	--
20	STAB - [5]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1.59
21	STAB - [5]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1.59
22	SLEQ - [1]	--	3.42	--	6.60	--
23	SLEF - [1]	--	3.23	--	6.10	--
24	SLEF - [1]	--	3.31	--	6.66	--
25	SLER - [1]	--	2.87	--	5.32	--
26	SLER - [1]	--	2.91	--	5.50	--

APPROVATO SDR

Società di Progetto  
Brebemi SpA



27	Eccezionale - [1]	--	2.42	2.47	4.34	1.87
28	Eccezionale - [2]	--	2.34	2.36	4.00	1.82

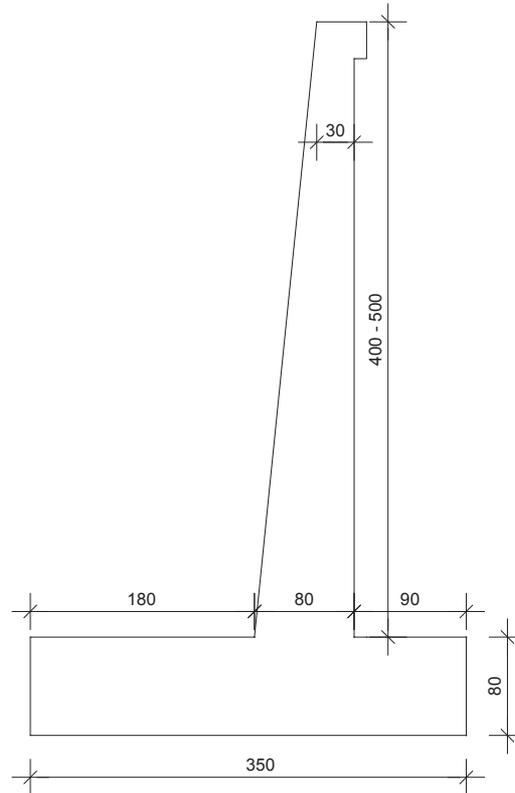
APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



## 8 MURO DI SOSTEGNO CON $H_{MAX}=5.0M$

### 8.1 Geometria del muro



Le principali caratteristiche geometriche adottate nelle successive calcolazioni risultano:

Hmax elevazione = 500 cm

Sp base elevazione = 80 cm

Ltot fondazione = 350 cm

Sp fondazione = 80 cm

L fondazione di monte = 180 cm

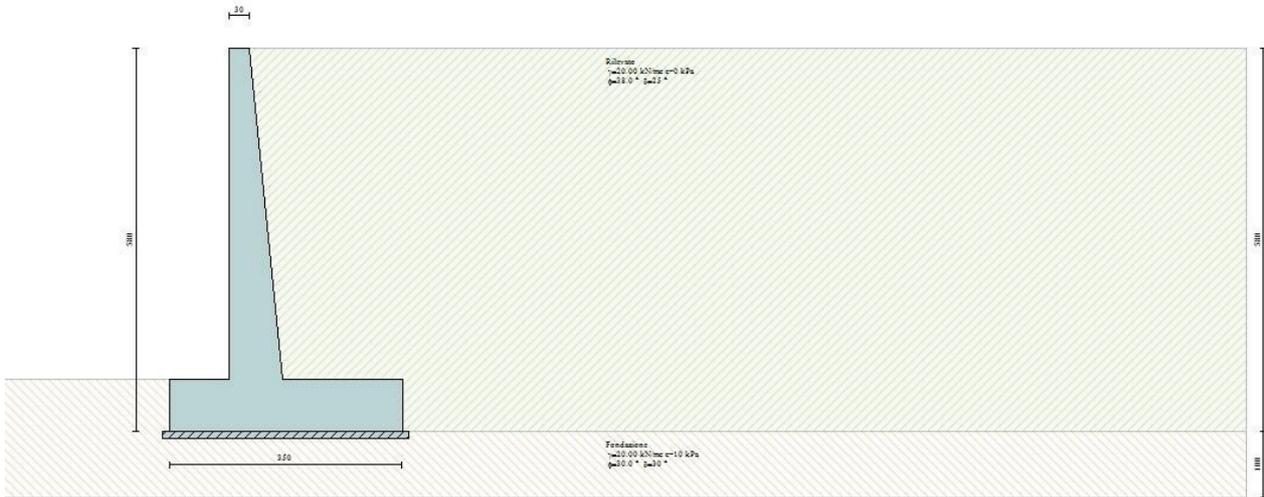
APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



## 8.2 Risultati analisi

Di seguito la stratigrafia adottata nella modellazione.



In tabella si riassumono le sollecitazioni di progetto agenti sull'elevazione del muro, per le combinazioni più significative.

COMBINAZIONE	ELEVAZIONE		
	M <sub>MAX</sub> (kNm/m)	T <sub>MAX</sub> (kN/m)	N <sub>MAX</sub> (kN/m)
SLU	257	112	88
SISMA	168	81	88
ECCEZIONALE	225	80	68

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA

### 8.3 Verifiche strutturali

L'elevazione e la fondazione del muro sono caratterizzate dalla stessa sezione:

$$h = 80\text{cm}$$

$$A_{\text{tesa}} = \Phi 18/20$$

$$A_{\text{comp}} = \Phi 14/20$$

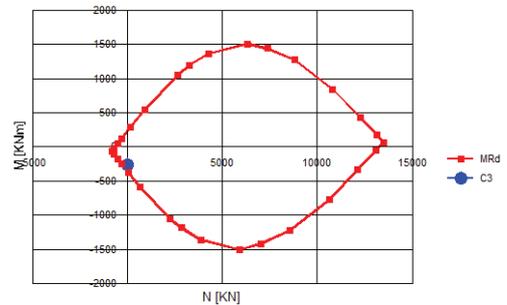
$$c = 6\text{cm}$$

Pertanto, verrà eseguita un'unica verifica strutturale valida sia per l'elevazione che per la fondazione, considerando a favore di sicurezza sforzo normale nullo e la classe di calcestruzzo minima.

#### 8.3.1 Verifica a presso-flessione

$$M_{S,d} = 257 \text{ kNm/m}$$

$$N_{S,d} = 0.0 \text{ kN/m}$$



APPROVATO SDP

Essendo  $M_{R,d} = 363.3 \text{ kNm/m} > M_{S,d} = 257 \text{ kNm/m}$  la verifica risulta soddisfatta.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

### 8.3.2 Verifica a taglio

$$T_{S,d} = 112 \text{ kN/m}$$

$$M_{S,d} = 257 \text{ kNm/m}$$

$$N_{S,d} = 0.0 \text{ kN/m}$$

$V_{Sdu}$	<b>112</b>	<b>kN</b>
$M_{Sdu}$	257	kNm
$N_{Sdu}$	0	kN
$R_{ck}$	35	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	28	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5	
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$b_w$	100	cm
$d$	74.00	cm
$Asl$	12.72	cm <sup>2</sup>
$c$	6.00	cm
$\alpha$	90	gradi
$\alpha$	1.57	rad
$\theta$	21.80	gradi
$ctg\theta$	2.50	
$\theta_{imposto}$	21.80	gradi
$Asw$	0	cm <sup>2</sup>
passo staffe	0	cm
$f_{cd}$	15.867	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctd,0,05}$	1.240	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$	391.304	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{cp}$	0.0000	N/mm <sup>2</sup>
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
$V_{Rd}$	<b>227.873</b>	<b>kN</b>

APPROVATO SDP

La verifica risulta soddisfatta senza armatura a taglio.

Società di Progetto  
Brebemi SpA



## 8.4 Verifiche geotecniche

Le verifiche geotecniche del muro vengono riassunte nello schema seguente. Esse risultano tutte soddisfatte in quanto i coefficienti di sicurezza calcolati risultano maggiori di quelli limite imposti dalla normativa.

### Simbologia adottata

**C** Identificativo della combinazione

**Tipo** Tipo combinazione

**Sisma** Combinazione sismica

**CS<sub>SCO</sub>** Coeff. di sicurezza allo scorrimento

**CS<sub>RIB</sub>** Coeff. di sicurezza al ribaltamento

**CS<sub>QLIM</sub>** Coeff. di sicurezza a carico limite

**CS<sub>STAB</sub>** Coeff. di sicurezza a stabilità globale

<b>C</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sisma</b>	<b>CS<sub>sco</sub></b>	<b>CS<sub>rib</sub></b>	<b>CS<sub>qlim</sub></b>	<b>CS<sub>stab</sub></b>
1	A1-M1 - [1]	--	2.99	--	4.62	--
2	EQU - [1]	--	--	4.80	--	--
3	STAB - [1]	--	--	--	--	1.74
4	A1-M1 - [2]	--	2.43	--	3.57	--
5	EQU - [2]	--	--	3.07	--	--
6	STAB - [2]	--	--	--	--	1.55
7	A1-M1 - [3]	--	2.46	--	3.73	--
8	EQU - [3]	--	--	3.04	--	--
9	STAB - [3]	--	--	--	--	1.60
10	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	2.05	--	4.07	--
11	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	2.11	--	3.90	--
12	EQU - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	--	2.80	--	--
13	EQU - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	--	3.00	--	--
14	STAB - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1.53
15	STAB - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1.53
16	A1-M1 - [5]	Orizzontale + Verticale positivo	2.03	--	3.57	--
17	A1-M1 - [5]	Orizzontale + Verticale negativo	1.98	--	3.71	--
18	EQU - [5]	Orizzontale + Verticale negativo	--	2.62	--	--
19	EQU - [5]	Orizzontale + Verticale positivo	--	2.80	--	--
20	STAB - [5]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1.50
21	STAB - [5]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1.50
22	SLEQ - [1]	--	3.09	--	5.69	--
23	SLEF - [1]	--	2.95	--	5.33	--
24	SLEF - [1]	--	3.02	--	5.73	--
25	SLER - [1]	--	2.68	--	4.74	--
26	SLER - [1]	--	2.72	--	4.93	--

APPROVATO SDR

Società di Progetto  
Brebemi SpA



27	Eccezionale - [1]	--	2.56	2.86	4.66	1.74
28	Eccezionale - [2]	--	2.47	2.71	4.32	1.70

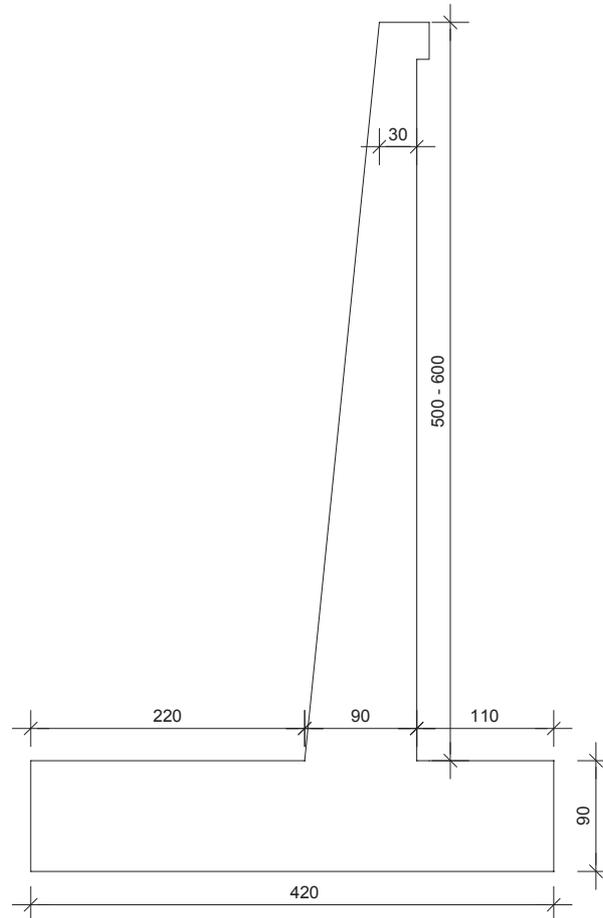
APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



## 9 MURO DI SOSTEGNO CON $H_{MAX}=6.0M$

### 9.1 Geometria del muro



APPROVATO SDP

Le principali caratteristiche geometriche adottate nelle successive calcolazioni risultano:

Hmax elevazione = 600 cm

Sp base elevazione = 90 cm

Ltot fondazione = 420 cm

Sp fondazione = 90 cm

L fondazione di monte = 220 cm

Società di Progetto  
Brebemi SpA



## 9.2 Risultati analisi

Di seguito la stratigrafia adottata nella modellazione.



In tabella si riassumono le sollecitazioni di progetto agenti sull'elevazione del muro, per le combinazioni più significative.

COMBINAZIONE	ELEVAZIONE		
	M <sub>MAX</sub> (kNm/m)	T <sub>MAX</sub> (kN/m)	N <sub>MAX</sub> (kN/m)
SLU	392	150	115
SISMA	277	114	115
ECCEZIONALE	301	102	89

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA

### 9.3 Verifiche strutturali

L'elevazione e la fondazione del muro sono caratterizzate dalla stessa sezione:

- $h = 90\text{cm}$
- $A_{\text{tesa}} = \Phi 20/20$
- $A_{\text{comp}} = \Phi 16/20$
- $c = 6\text{cm}$

Pertanto, verrà eseguita un'unica verifica strutturale valida sia per l'elevazione che per la fondazione, considerando a favore di sicurezza sforzo normale nullo e la classe di calcestruzzo minima.

#### 9.3.1 Verifica a presso-flessione

$M_{S,d} = 392\text{ kNm/m}$

$N_{S,d} = 0.0\text{ kN/m}$

APPROVATO SDP

Essendo  $M_{R,d} = 505.5\text{ kNm/m} > M_{S,d} = 392\text{ kNm/m}$  la verifica risulta soddisfatta.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

### 9.3.2 Verifica a taglio

$$T_{S,d} = 150 \text{ kN/m}$$

$$M_{S,d} = 392 \text{ kNm/m}$$

$$N_{S,d} = 0.0 \text{ kN/m}$$

$V_{sdu}$	<b>150</b>	<b>kN</b>
$M_{sdu}$	392	kNm
$N_{sdu}$	0	kN
$R_{ck}$	35	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	28	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5	
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$b_w$	100	cm
$d$	84.00	cm
$Asl$	15.71	cm <sup>2</sup>
$c$	6.00	cm
$\alpha$	90	gradi
$\alpha$	1.57	rad
$\theta$	21.80	gradi
$ctg\theta$	2.50	
$\theta_{imposto}$	21.80	gradi
$As_w$	0	cm <sup>2</sup>
passo staffe	0	cm
$f_{cd}$	15.867	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctd_{0,05}}$	1.240	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$	391.304	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{cp}$	0.0000	N/mm <sup>2</sup>
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
$V_{Rd}$	<b>260.456</b>	<b>kN</b>

APPROVATO SDP

La verifica risulta soddisfatta senza armatura a taglio.

## 9.4 Verifiche geotecniche

Le verifiche geotecniche del muro vengono riassunte nello schema seguente. Esse risultano tutte soddisfatte in quanto i coefficienti di sicurezza calcolati risultano maggiori di quelli limite imposti dalla normativa.

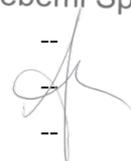
### Simbologia adottata

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

<b>C</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sisma</b>	<b>CS<sub>sco</sub></b>	<b>CS<sub>rib</sub></b>	<b>CS<sub>qlim</sub></b>	<b>CS<sub>stab</sub></b>
1	A1-M1 - [1]	--	2.99	--	4.33	--
2	EQU - [1]	--	--	4.86	--	--
3	STAB - [1]	--	--	--	--	1.68
4	A1-M1 - [2]	--	2.52	--	3.52	--
5	EQU - [2]	--	--	3.35	--	--
6	STAB - [2]	--	--	--	--	1.53
7	A1-M1 - [3]	--	2.56	--	3.76	--
8	EQU - [3]	--	--	3.36	--	--
9	STAB - [3]	--	--	--	--	1.57
10	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	2.05	--	3.88	--
11	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	2.11	--	3.72	--
12	EQU - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	--	2.83	--	--
13	EQU - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	--	3.03	--	--
14	STAB - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1.48
15	STAB - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1.48
16	A1-M1 - [5]	Orizzontale + Verticale positivo	2.04	--	3.46	--
17	A1-M1 - [5]	Orizzontale + Verticale negativo	1.99	--	3.60	--
18	EQU - [5]	Orizzontale + Verticale negativo	--	2.69	--	--
19	EQU - [5]	Orizzontale + Verticale positivo	--	2.87	--	--
20	STAB - [5]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1.46
21	STAB - [5]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1.46
22	SLEQ - [1]	--	3.12	--	5.37	--
23	SLEF - [1]	--	2.99	--	5.08	--
24	SLEF - [1]	--	3.06	--	5.40	--
25	SLER - [1]	--	2.76	--	4.67	--
26	SLER - [1]	--	2.81	--	4.94	--

APPROVATO SDR

Società di Progetto  
Brebemi SpA



27	Eccezionale - [1]	--	2.79	3.49	5.17	1.68
28	Eccezionale - [2]	--	2.70	3.31	4.86	1.65

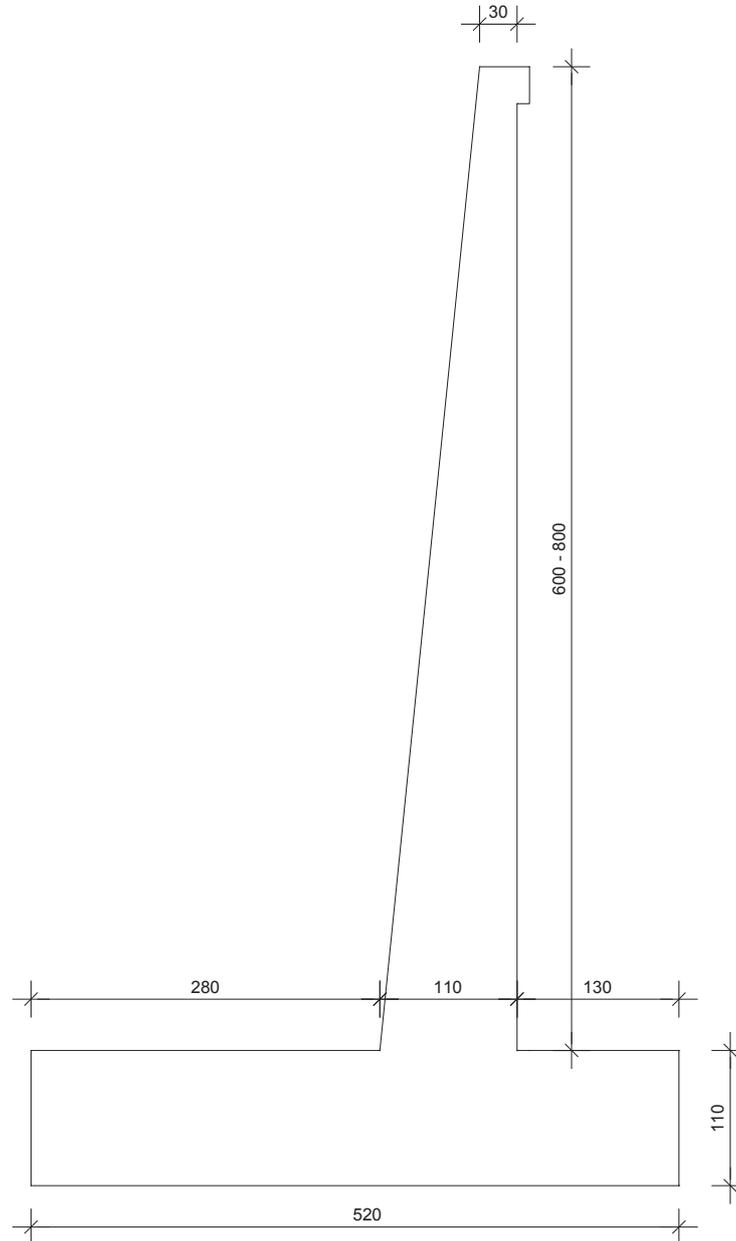
APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



## 10 MURO DI SOSTEGNO CON $H_{MAX}=8.0M$

### 10.1 Geometria del muro



Le principali caratteristiche geometriche adottate nelle successive calcolazioni risultano:

Hmax elevazione = 800 cm

Sp base elevazione = 110 cm

Ltot fondazione = 520 cm

Sp fondazione = 110 cm

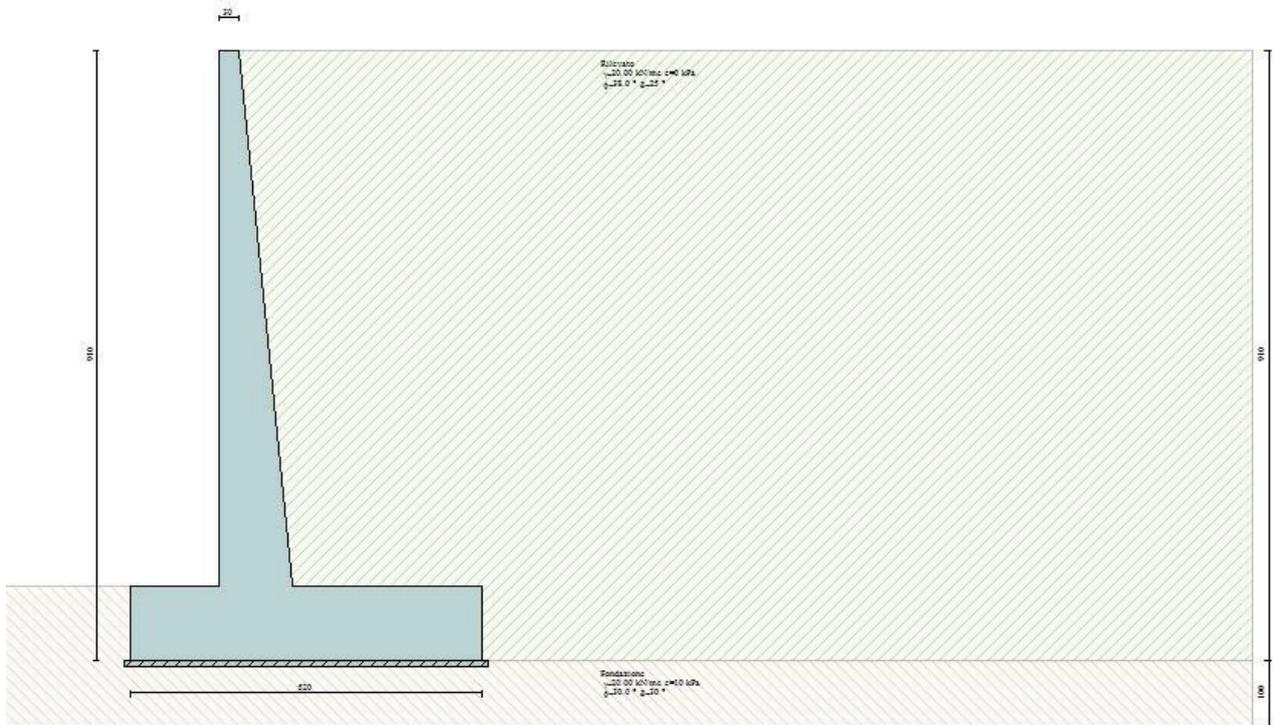
L fondazione di monte = 280 cm

Società di Progetto  
Brebemi SpA



## 10.2 Risultati analisi

Di seguito la stratigrafia adottata nella modellazione.



In tabella si riassumono le sollecitazioni di progetto agenti sull'elevazione del muro, per le combinazioni più significative.

COMBINAZIONE	ELEVAZIONE		
	M <sub>MAX</sub> (kNm/m)	T <sub>MAX</sub> (kN/m)	N <sub>MAX</sub> (kN/m)
SLU	796	244	179
SISMA	622	197	179
ECCEZIONALE	277	99	89

### 10.3 Verifiche strutturali

L'elevazione e la fondazione del muro sono caratterizzate dalla stessa sezione:

$$h = 110\text{cm}$$

$$A_{\text{tesa}} = \Phi 26/20$$

$$A_{\text{comp}} = \Phi 20/20$$

$$c = 6\text{cm}$$

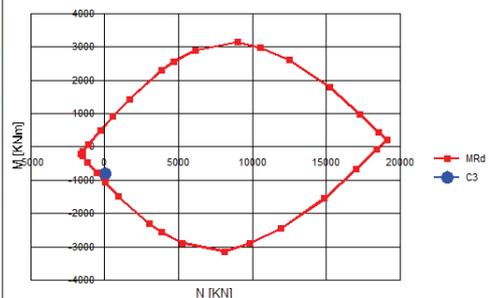
Pertanto, verrà eseguita un'unica verifica strutturale valida sia per l'elevazione che per la fondazione, considerando a favore di sicurezza sforzo normale nullo e la classe di calcestruzzo minima.

#### 10.3.1 Verifica a presso-flessione

$$M_{S,d} = 796 \text{ kNm/m}$$

$$N_{S,d} = 0.0 \text{ kN/m}$$

N*	b [cm]	h [cm]	N*	As [cm²]	d [cm]
1	100	110	1	26.55	6
2			2	15.71	104



APPROVATO SDP

Essendo  $M_{R,d} = 1046 \text{ kNm/m} > M_{S,d} = 796 \text{ kNm/m}$  la verifica risulta soddisfatta.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

### 10.3.2 Verifica a taglio

$$T_{S,d} = 244 \text{ kN/m}$$

$$M_{S,d} = 796 \text{ kNm/m}$$

$$N_{S,d} = 0.0 \text{ kN/m}$$

$V_{sdu}$	<b>244</b>	<b>kN</b>
$M_{sdu}$	796	kNm
$N_{sdu}$	0	kN
$R_{ck}$	35	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	28	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5	
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$b_w$	100	cm
$d$	104.00	cm
$A_{sl}$	26.55	cm <sup>2</sup>
$c$	6.00	cm
$\alpha$	90	gradi
$\alpha$	1.57	rad
$\theta$	21.80	gradi
$ctg\theta$	2.50	
$\theta_{\text{imposto}}$	21.80	gradi
$A_{sw}$	0	cm <sup>2</sup>
passo staffe	0	cm
$f_{cd}$	15.867	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctd,0,05}$	1.240	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$	391.304	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{cp}$	0.0000	N/mm <sup>2</sup>
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
$V_{Rd}$	<b>345.830</b>	<b>kN</b>

APPROVATO SDP

La verifica risulta soddisfatta senza armatura a taglio.

Società di Progetto  
Brebemi SpA



## 10.4 Verifiche geotecniche

Le verifiche geotecniche del muro vengono riassunte nello schema seguente. Esse risultano tutte soddisfatte in quanto i coefficienti di sicurezza calcolati risultano maggiori di quelli limite imposti dalla normativa.

### Simbologia adottata

**C** Identificativo della combinazione

**Tipo** Tipo combinazione

**Sisma** Combinazione sismica

**CS<sub>SCO</sub>** Coeff. di sicurezza allo scorrimento

**CS<sub>RIB</sub>** Coeff. di sicurezza al ribaltamento

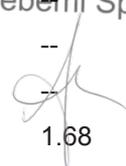
**CS<sub>QLIM</sub>** Coeff. di sicurezza a carico limite

**CS<sub>STAB</sub>** Coeff. di sicurezza a stabilità globale

<b>C</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sisma</b>	<b>CS<sub>sco</sub></b>	<b>CS<sub>rib</sub></b>	<b>CS<sub>qlim</sub></b>	<b>CS<sub>stab</sub></b>
1	A1-M1 - [1]	--	2.85	--	3.77	--
2	EQU - [1]	--	--	4.33	--	--
3	STAB - [1]	--	--	--	--	1.59
4	A1-M1 - [2]	--	2.51	--	3.20	--
5	EQU - [2]	--	--	3.28	--	--
6	STAB - [2]	--	--	--	--	1.48
7	A1-M1 - [3]	--	2.55	--	3.37	--
8	EQU - [3]	--	--	3.34	--	--
9	STAB - [3]	--	--	--	--	1.51
10	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	1.97	--	3.13	--
11	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	2.03	--	3.00	--
12	EQU - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	--	2.58	--	--
13	EQU - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	--	2.74	--	--
14	STAB - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1.41
15	STAB - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1.41
16	A1-M1 - [5]	Orizzontale + Verticale positivo	1.98	--	2.84	--
17	A1-M1 - [5]	Orizzontale + Verticale negativo	1.93	--	2.96	--
18	EQU - [5]	Orizzontale + Verticale negativo	--	2.49	--	--
19	EQU - [5]	Orizzontale + Verticale positivo	--	2.63	--	--
20	STAB - [5]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1.39
21	STAB - [5]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1.39
22	SLEQ - [1]	--	2.99	--	4.72	--
23	SLEF - [1]	--	2.90	--	4.52	--
24	SLEF - [1]	--	2.96	--	4.73	--
25	SLER - [1]	--	2.73	--	4.22	--
26	SLER - [1]	--	2.78	--	4.39	--
27	Eccezionale - [1]	--	2.88	3.75	5.43	1.68

APPROVATO SGP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60233-00000-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04RCDII100000000000200A00	REV. 00	FOGLIO 59 di 59
--	--------------------------------	---	------------	--------------------

28 Eccezionale - [2] --

2.79 3.53 5.10 1.65

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA

