

# PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



## PROGETTO DEFINITIVO

**EUROLINK S.C.p.A.**  
 IMPREGILO S.p.A. (MANDATARIA)  
 SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A. (MANDANTE)  
 COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L. (MANDANTE)  
 SACYR S.A.U. (MANDANTE)  
 ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD (MANDANTE)  
 A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE (MANDANTE)

IL PROGETTISTA  Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n° 15408  	IL CONTRAENTE GENERALE  Project Manager (Ing. P.P. Marcheselli)	STRETTO DI MESSINA Direttore Generale e RUP Validazione (Ing. G. Fiammenghi)	STRETTO DI MESSINA  Amministratore Delegato (Dott. P. Ciucci)
--	--	---	--

<i>Unità Funzionale</i>	OPERA DI ATTRAVERSAMENTO	<b>CZ0483_F0</b>
<i>Tipo di sistema</i>	CANTIERI	
<i>Raggruppamento di opere/attività</i>	ITINERARI	
<i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i>	NUOVI ITINERARI – NI.83	
<i>Titolo del documento</i>	P-SN1 - OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA – CALCOLO TIPOLOGICO	

CODICE	C G 0 0 0 0 P C L D P C Z C 2 N I 8 3 0 0 0 0 0 3 F 0
--------	---

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	PUGLIESE	FARINA	PAGANI



**Ponte sullo Stretto di Messina**  
**PROGETTO DEFINITIVO**

P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA  
– CALCOLO TIPOLOGICO

*Codice documento*  
CZ0483\_F0

<i>Rev</i>	<i>Data</i>
F0	20/06/2011

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## INDICE

1.	Introduzione .....	5
2.	Normativa di riferimento.....	5
3.	Descrizione della struttura .....	5
4.	Caratterizzazione geotecnica .....	7
5.	Pericolosità sismica .....	7
6.	Analisi dei carichi .....	11
7.	Materiali impiegati.....	11
7.1	Requisiti richiesti per il rilevato .....	11
8.	Modello di calcolo .....	13
8.1	Calcolo della spinta attiva con Coulomb.....	13
8.2	Calcolo della spinta attiva con Rankine .....	13
8.3	Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe .....	14
8.4	Carico limite di fondazioni superficiali su terreni.....	16
8.5	Analisi di stabilità interna .....	18
9.	Progettazione terra armata .....	19
9.1	Spaziatura delle strisce.....	19
9.2	Forze di trazione nei rinforzi .....	19
9.3	Calcolo delle lunghezze efficaci.....	20
10.	Risultati di calcolo .....	21
10.1	Carichi variabili in posizione centrata .....	21
10.1.1	Combinazione 1(A1+M1).....	21
10.1.2	Combinazione 2(A2+M2).....	22
10.2	Carichi variabili in posizione eccentrica 1 .....	23
10.2.1	Combinazione 1(A1+M1).....	23
10.2.2	Combinazione 2(A2+M2).....	24
10.3	Carichi variabili in posizione eccentrica 2 .....	26
10.3.1	Combinazione 1(A1+M1).....	26
10.3.2	Combinazione 2(A2+M2).....	27
10.4	Verifica sismica .....	28
10.4.1	Combinazione 1(A1+M1).....	28
10.4.2	Combinazione 2(A2+M2).....	29
11.	Specifiche tecniche .....	29
11.1	Paramento esterno .....	29

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

11.1.1	Paramento verticale in c.a. con pannelli cruciformi .....	30
11.1.1.1	Prefabbricazione .....	30
11.1.1.2	Tolleranze .....	30
11.1.1.3	Elementi incorporati nei pannelli .....	30
11.1.1.4	Marcatura .....	31
11.1.1.5	Ispezione e collaudo .....	31
11.1.1.6	Movimentazione, immagazzinamento, trasporto .....	31
11.1.2	Calcestruzzo di livellamento .....	31
11.1.3	Armature ad aderenza migliorata in acciaio zincato .....	31
11.1.3.1	Tipo di acciaio .....	31
11.1.3.2	Caratteristiche geometriche: .....	32
11.1.3.3	Caratteristiche meccaniche .....	32
11.1.3.4	Trattamento superficiale .....	32
11.1.4	Bulloni di fissaggio .....	32
11.1.5	Giunti per pannelli .....	33
11.2	Rilevato .....	33
11.2.1	Caratteristiche fisiche .....	33
11.2.1.1	Resistività' .....	34
11.2.1.2	Attività' ioni idrogeno .....	34
11.2.1.3	Contenuto in sali solubili .....	34
11.2.1.4	Prove e controlli .....	35
11.2.1.5	Materiali non conformi alle specifiche .....	35
11.3	Posa in opera .....	35
11.3.1	Preparazione del piano di posa .....	35
11.3.2	Montaggio .....	35
11.3.2.1	Paramento verticale in c.a. ....	35
11.3.2.2	Costruzione del rilevato .....	36
11.3.2.3	Stesa dei materiali .....	36
11.3.2.4	Compattazione .....	36
11.3.2.5	Condizioni climatiche .....	37
11.4	Rilevati di prova .....	37
11.4.1	Prove di controllo .....	37
12.	Tabulati di calcolo .....	39
12.1	Carichi variabili in posizione centrata .....	39
12.2	Carichi variabili in posizione eccentrica 1 .....	46

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA – CALCOLO TIPOLOGICO	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

12.3	Carichi variabili in posizine eccentrica 2 .....	53
12.4	Verifica sismica .....	60



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA  – CALCOLO TIPOLOGICO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 1. Introduzione

La presente relazione riguarda le verifiche di stabilità e il predimensionamento delle armature di rinforzo, con riferimento ai muri in terra armata da realizzare lungo la pista denominata PSN1A, nei tratti compresi tra le seguenti sezioni: 13.PSN1A - 15.PSN1A, 12.PSN1A - 15.PSN1A, 17.PSN1A - 20.PSN1A. In corrispondenza delle sezioni 15.PSN1A e 20.PSN1A, tali opere costituiranno i risvolti stessi dei sovrappassi.

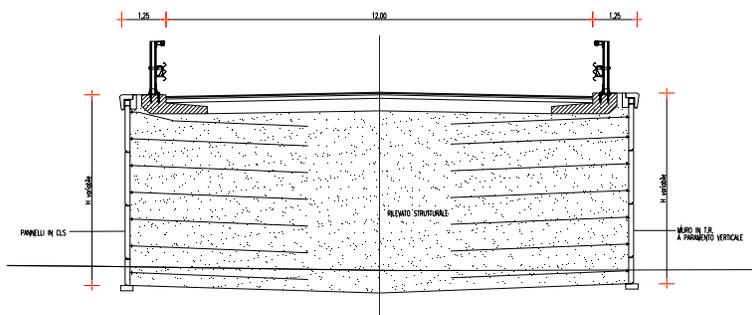


Figura 1.1 : Sezione tipologica dei rilevati in TA

Le analisi preliminari sono state condotte con riferimento all'opera di altezza maggiore, pari a 7.50 m, presente alla pf. 0+369.44 m, che costituisce il muro di risvolto del sovrappasso compreso tra la pk. 0+353.56 m e la pk. 0+370.01 m.

## 2. Normativa di riferimento

- D.M. Infrastrutture 14 Gennaio 2008, pubblicato su S.O. alla G.U. 4 febbraio 2008, n. 29 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”
- CIRCOLARE 2 Febbraio 2009, n. 617 – Istruzioni per l'applicazione delle ‘Nuove norme tecniche per le costruzioni’ di cui al decreto ministeriale 14 Gennaio 2008 (GU n.47 del 26 Febbraio 2009 – Suppl. Ordinario n.27)
- UNI ENV 1992-1-1,1-2,1-3,-3: “Eurocodice 2. Progettazione delle strutture di calcestruzzo”;
- UNI ENV 1997: “Eurocodice 7. Progettazione geotecnica”

## 3. Descrizione della struttura

La tecnologia della terra armata permette di realizzare opere di sostegno a gravità con un materiale da costruzione composito, costituito appunto da terra ed armature di rinforzo. L'attrito fra le armature, piattine ad aderenza migliorata in acciaio, ed il rilevato viene sfruttato per trattenere

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

un paramento esterno la cui funzione è di contenere il terreno immediatamente a tergo di esso. La restante parte del riempimento, grazie alle armature, è resa monolitica ed è assimilabile ad un muro a gravità dotato di grande flessibilità e capacità di adattarsi a differenti condizioni di esercizio. La scelta progettuale è giustificata dalla notevole praticità di impiego di questi manufatti e soprattutto dalla velocità di realizzazione e successiva rimozione, dopo una una vita utile stimata in anni 10. Il paramento in c.a. sarà realizzato con pannelli prefabbricati prodotti con calcestruzzo opportunamente vibrato, confezionato con inerti di dimensione massima  $\leq 25$  mm.

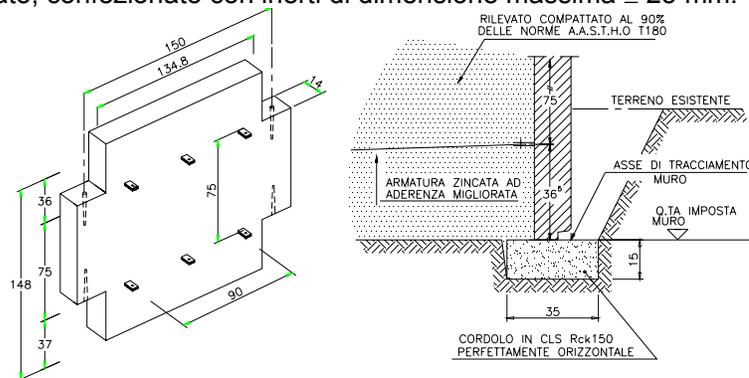


Figura 3.1

I pannelli poggiano su un cordolo di fondazione in cls magro delle dimensioni di cm 35x15. Le strisce di armatura in acciaio laminato, della lunghezza di 6.00 m, avranno sezione mm.50x4, interasse longitudinale paria 0.45 m e interasse verticale di 0.75 m. Negli ultimi due strati le armature dovranno essere raddoppiate. Per i dettaglio geometrici e di montaggio si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

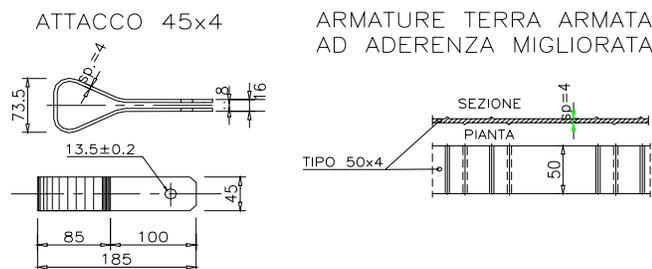


Figura 3.2 : Dettaglio armatura

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA  – CALCOLO TIPOLOGICO</b>	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

#### 4. Caratterizzazione geotecnica

Il sito interessato dall'intervento di realizzazione dell' opera in oggetto è caratterizzato prevalentemente da depositi alluvionali. La categoria di sottosuolo [par.3.2.2, NTC 2008] è assimilata alla categoria "B" (rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti). I parametri geotecnici assunti nelle analisi sono i seguenti:

- Depositi Alluvionali

$\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$	peso di volume
$\gamma_s = 19 \text{ KN/m}^3$	peso di volume saturo
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione efficace
$\phi' = 28^\circ$	angolo di attrito
$E = 50000 \text{ kPa}$	modulo di Young
$\nu = 0.30$	coefficiente di Poisson
$K = 10^{-6} \text{ m/s}$	costante di permeabilità

- Rilevato e bonifica

$\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$	peso di volume
$\gamma_s = 20 \text{ KN/m}^3$	peso di volume saturo
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione efficace
$\phi' = 35^\circ$	angolo di attrito
$E = 50000 \text{ kPa}$	modulo di Young
$\nu = 0.30$	coefficiente di Poisson

#### 5. Pericolosità sismica

I parametri sismici sono funzione di diversi fattori, quali:

- coordinate geografiche del sito in esame (latitudine e longitudine)
- vita nominale
- classe dell'opera
- periodo di riferimento
- coefficiente d'uso
- categoria topografica

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA  – CALCOLO TIPOLOGICO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- categoria di sottosuolo

Tipo di elaborazione: opere di sostegno

Sito in esame.

latitudine: 38,265024

longitudine: 15,626601

Classe: 2

Vita nominale: 10

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 44544 Lat: 38,2648 Lon: 15,5872 Distanza: 3439,119

Sito 2 ID: 44545 Lat: 38,2636 Lon: 15,6507 Distanza: 2113,674

Sito 3 ID: 44323 Lat: 38,3136 Lon: 15,6523 Distanza: 5845,135

Sito 4 ID: 44322 Lat: 38,3148 Lon: 15,5888 Distanza: 6443,035

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 10anni

Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 30 [anni]

ag: 0,058 g

Fo: 2,373

Tc\*: 0,281 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %

Tr: 30 [anni]

ag: 0,058 g

Fo: 2,373

Tc\*: 0,281 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Probabilità di superamento: 10 %  
Tr: 95 [anni]  
ag: 0,108 g  
Fo: 2,342  
Tc\*: 0,325 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %  
Tr: 195 [anni]  
ag: 0,154 g  
Fo: 2,377  
Tc\*: 0,342 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,200  
Cc: 1,420  
St: 1,000  
Kh: 0,013  
Kv: 0,006  
Amax: 0,688  
Beta: 0,180

SLD:

Ss: 1,200  
Cc: 1,420  
St: 1,000  
Kh: 0,013  
Kv: 0,006  
Amax: 0,688  
Beta: 0,180

SLV:

Ss: 1,200  
Cc: 1,380  
St: 1,000  
Kh: 0,031  
Kv: 0,016  
Amax: 1,275  
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,200i  
Cc: 1,360  
St: 1,000  
Kh: 0,044  
Kv: 0,022  
Amax: 1,814  
Beta: 0,240

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA – CALCOLO TIPOLOGICO	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 6. Analisi dei carichi

Oltre alle spinte statiche e sismiche dei terreni, per l'opera oggetto d'analisi è stato preso in considerazione il transito di un carrello porta bobine, di peso totale pari a 160 t, (vedi figura seguente). La striscia di carico uniformemente ripartito equivalente ha una larghezza di 7.20 m e un'intensità di 600 kN/mq. Per le analisi di stabilità interna sono state prese in considerazione due forze concentrate di intensità pari a  $20 \text{ t} / 1.5 = 13.3 \text{ t}$  dove 1.50 m è proprio l'interasse tra le ruote del carrello. L'analisi è stata condotta per due condizioni di caricamento eccentrico ed una condizione di caricamento centrato.

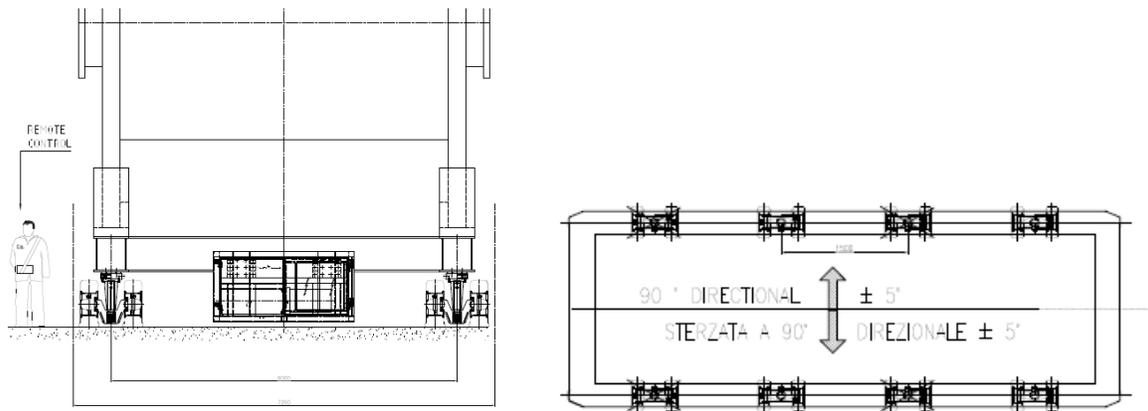


Figura 6.1 : Particolare carrello porta bobine

## 7. Materiali impiegati

Calcestruzzo: pannelli in calcestruzzo armato o meno    Tipo C30/35     $R_{ck} > 35 \text{ N/mm}^2$

Acciaio: - Armatura lenta pannelli in calcestruzzo (ove presente):

Tipo B450C                       $f_{tk} > 540 \text{ N/mm}^2$      $f_{yk} > 430 \text{ N/mm}^2$

Armature metalliche di rinforzo del terreno sez 50x4:

Fe 510 C                       $f_{tk} > 520 \text{ N/mm}^2$      $f_{yk} > 355 \text{ N/mm}^2$                        $\epsilon_t > 22 \%$

### 7.1 Requisiti richiesti per il rilevato

Per il rilevato in T.A. si impiegano normalmente terre appartenenti ai gruppi:

- A1-a, A1-b, A3, A2-4, A2-5    classifica C.N.R.-U.N.I. 10006/1963.

In ogni caso vanno rispettate anche le seguenti condizioni:

- a) Il terreno di riempimento sarà idoneo quando la percentuale passante al setaccio da  $80 \mu$  (0,08 mm.), secondo l'analisi granulometrica, è inferiore al 15%.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA  – CALCOLO TIPOLOGICO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

b) I terreni con percentuale passante vaglio da 80  $\mu$  superiore al 15% potranno essere accettati se:  
b-1) la percentuale di passante al vaglio di 15  $\mu$  (0,015 mm) della prova per sedimentazione è inferiore al 10 %;

b-2) la percentuale di passante rimane compresa tra il 10 % e il 20 % e l'angolo di attrito interno, misurato con prove di taglio su campioni saturi, è superiore a 25°.

c) Il terreno di riempimento non dovrà contenere nessun elemento superiore a 250 mm.

Il rilevato può essere alleggerito con argilla espansa interposta a strati di misto granulare o sabbia separati da un geosintetico, come indicato nei disegni costruttivi. Il valore di resistività del materiale saturato dopo un'ora di contatto terra-acqua alla temperatura di 20°C sarà superiore a 1.000 Ohm\*cm per opere a secco e 3.000 Ohm\*cm per opere inondabili. Il valore di attività degli ioni (pH) misurato sull'acqua del campione di terra saturato sarà compreso tra 5 e 10. Il contenuto di cloruri e solfati dovranno essere determinati soltanto per i materiali la cui resistività sarà compresa tra 1.000 e 5.000 Ohm\*cm e non dovrà eccedere i seguenti valori:

Opere a secco	Opere in acqua dolce	Opere a secco	Opere in acqua dolce
(Cl <sup>-</sup> ) 200 mg/kg	(Cl <sup>-</sup> ) 100 mg/kg	(SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> ) 1000 mg/kg	(SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> ) 500 mg/kg

Tabella 7.1

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 8. Modello di calcolo

### 8.1 Calcolo della spinta attiva con coulomb

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Coulomb* è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura nell'ipotesi di parete ruvida.

Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione:

$$P_t = K_a \times \gamma_t \times z$$

La spinta  $S_t$  è applicata ad  $1/3 H$  di valore

$$S_t = \frac{1}{2} \gamma_t H^2 K_a$$

Avendo indicato con:

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta - \phi)}{\sin^2\beta \times \sin(\beta + \delta) \times \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \times \sin(\phi - \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \times \sin(\beta - \varepsilon)}} \right]^2}$$

Valori limite di  $K_a$ :  $\delta < (\beta - \phi - \varepsilon)$  secondo Muller-Breslau

$\gamma_t$  Peso unità di volume del terreno;

$\beta$  Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

$\phi$  Angolo di resistenza al taglio del terreno;

$\delta$  Angolo di attrito terra-muro;

$\varepsilon$  Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;

$H$  Altezza della parete.

### 8.2 Calcolo della spinta attiva con rankine

Se  $\varepsilon = \delta = 0$  e  $\beta = 90^\circ$  (muro con parete verticale liscia e terrapieno con superficie orizzontale) la spinta  $S_t$  si semplifica nella forma:

$$S_t = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \frac{(1 - \sin \phi)}{(1 + \sin \phi)} = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

che coincide con l'equazione di Rankine per il calcolo della spinta attiva del terreno con terrapieno orizzontale. In effetti Rankine adottò essenzialmente le stesse ipotesi fatte da Coulomb, ad eccezione del fatto che trascurò l'attrito terra-muro e la presenza di coesione. Nella sua formulazione generale l'espressione di  $K_a$  di Rankine si presenta come segue:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

$$K_a = \cos \varepsilon \frac{\cos \varepsilon - \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \phi}}{\cos \varepsilon + \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \phi}}$$

### 8.3 Calcolo della spinta attiva con mononobe & okabe

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Mononobe & Okabe* riguarda la valutazione della spinta in condizioni sismiche con il metodo pseudo-statico. Esso è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura in una configurazione fittizia di calcolo nella quale l'angolo  $\varepsilon$ , di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, e l'angolo  $\beta$ , di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità  $\theta$  tale che:

$$\operatorname{tg} \theta = k_h / (1 \pm k_v)$$

con  $k_h$  coefficiente sismico orizzontale e  $k_v$  verticale.

In assenza di studi specifici, i coefficienti  $k_h$  e  $k_v$  devono essere calcolati come:

$$k_h = S a_g / r \quad k_v = 0,5 k_h$$

in cui  $S a_g$  rappresenta il valore dell'accelerazione sismica massima del terreno per le varie categorie di profilo stratigrafico definite dall'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003. Al fattore  $r$  viene può essere assegnato il valore  $r = 2$  nel caso di opere sufficientemente flessibili (muri liberi a gravità), mentre in tutti gli altri casi viene posto pari a 1 (muri in c.a. resistenti a flessione, muri in c.a. su pali o tirantati, muri di cantinato).

Effetto dovuto alla coesione

La coesione induce delle pressioni negative costanti pari a:

$$P_c = -2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

Non essendo possibile stabilire a priori quale sia il decremento indotto nella spinta per effetto della coesione, è stata calcolata un'altezza critica  $Z_C$  come segue:

$$Z_c = \frac{2 \times c}{\gamma} \times \frac{1}{\sqrt{K_A}} - \frac{Q \times \frac{\operatorname{sen} \beta}{\operatorname{sen}(\beta + \varepsilon)}}{\gamma}$$

dove

$Q$  = Carico agente sul terrapieno;

Se  $Z_C < 0$  è possibile sovrapporre direttamente gli effetti, con decremento pari a:

$$S_C = P_C \times H$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA  – CALCOLO TIPOLOGICO</b>	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

con punto di applicazione pari a  $H/2$ ;

Carico uniforme sul terrapieno

Un carico  $Q$ , uniformemente distribuito sul piano campagna induce delle pressioni costanti pari a:

$$P_q = K_A \times Q \times \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \epsilon)}$$

Per integrazione, una spinta pari a  $S_q$ :

$$S_q = K_a \cdot Q \cdot H \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \epsilon)}$$

Con punto di applicazione ad  $H/2$ , avendo indicato con  $K_a$  il coefficiente di spinta attiva secondo *Muller-Breslau*.

Spinta attiva in condizioni sismiche

In presenza di sisma la forza di calcolo esercitata dal terrapieno sul muro è data da:

$$E_d = \frac{1}{2} \gamma (1 \pm k_v) K H^2 + E_{ws} + E_{wd}$$

dove:

$H$  altezza muro

$k_v$  coefficiente sismico verticale

$\gamma$  peso per unità di volume del terreno

$K$  coefficienti di spinta attiva totale (statico + dinamico)

$E_{ws}$  spinta idrostatica dell'acqua

$E_{wd}$  spinta idrodinamica.

Per terreni impermeabili la spinta idrodinamica  $E_{wd} = 0$ , ma viene effettuata una correzione sulla valutazione dell'angolo  $\theta$  della formula di Mononobe & Okabe così come di seguito:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\gamma_{\text{sat}}}{\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Nei terreni ad elevata permeabilità in condizioni dinamiche continua a valere la correzione di cui sopra, ma la spinta idrodinamica assume la seguente espressione:

$$E_{wd} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H^2$$

Con  $H'$  altezza del livello di falda misurato a partire dalla base del muro.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Spinta idrostatica

La falda con superficie distante  $H_W$  dalla base del muro induce delle pressioni idrostatiche normali alla parete che, alla profondità  $z$ , sono espresse come segue:

$$P_W(z) = \gamma_W \times z$$

Con risultante pari a:

$$S_W = 1/2 \times \gamma_W \times H^2$$

La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo  $\gamma_t$  con  $\gamma'_t$  ( $\gamma'_t = \gamma_{\text{saturo}} - \gamma_W$ ), peso efficace del materiale immerso in acqua.

Resistenza passiva

Per terreno omogeneo il diagramma delle pressioni risulta lineare del tipo:

$$P_t = K_p \times \gamma_t \times z$$

per integrazione si ottiene la spinta passiva:

$$S_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_p$$

Avendo indicato con:

$$K_p = \frac{\sin^2(\phi + \beta)}{\sin^2 \beta \times \sin(\beta - \delta) \times \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \times \sin(\phi + \varepsilon)}{\sin(\beta - \delta) \times \sin(\beta - \varepsilon)}} \right]^2}$$

(Muller-Breslau) con valori limiti di  $\delta$  pari a:

$$\delta < \beta - \phi - \varepsilon$$

L'espressione di  $K_p$  secondo la formulazione di Rankine assume la seguente forma:

$$K_p = \frac{\cos \varepsilon + \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \phi}}{\cos \varepsilon - \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \phi}}$$

## 8.4 Carico limite di fondazioni superficiali su terreni

### Metodo di Vesic

Affinché la fondazione di un muro possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$V_d \leq R_d$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Dove  $V_d$  è il carico di progetto, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso del muro; mentre  $R_d$  è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Nella valutazione analitica del carico limite di progetto  $R_d$  si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine. Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$R/A' = (2 + \pi) c_u s_c i_c + q$$

Dove:

$A'$  =  $B' L'$  area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

$c_u$  coesione non drenata

$q$  pressione litostatica totale sul piano di posa

$s_c$  Fattore di forma

$s_c = 0,2 (B'/L')$  per fondazioni rettangolari

$i_c$  Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico  $H$ .

$$i_c = 1 - \frac{2H}{A_f \cdot c_a \cdot N_c}$$

$A_f$  area efficace della fondazione

$c_a$  aderenza alla base, pari alla coesione o ad una sua frazione.

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$R/A' = c' N_c s_c i_c + q' N_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi'$$

Fattori di forma

$$s_q = 1 + \left( \frac{B'}{L'} \right) \tan \phi' \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4(B'/L') \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'} \quad \text{per forma rettangolare, quadrata o circolare.}$$

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale  $H$  parallelo a  $B'$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$i_q = \left( 1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot \phi'} \right)^m$$

$$i_\gamma = \left( 1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot \phi'} \right)^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$m = \frac{2 + B'/L'}{1 + B'/L'}$$

Convenzione segni

Forze verticali            positive se dirette dall'alto verso il basso;

Forze orizzontali        positive se dirette da monte verso valle;

Coppie                            positive se antiorarie;

Angoli                            positivi se antiorari.

## 8.5            Analisi di stabilita' interna

### Metodo di BISHOP (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\Sigma F_v = 0, \Sigma M_0 = 0, \text{ Criterio di rottura.}$$

$$F = \frac{\Sigma \{ c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i \} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \sin \alpha_i}$$

I valori di F e di ΔX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre ΔX= 0 ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di Bishop ordinario, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 9. Progettazione terra armata

La logica progettuale si articola secondo le seguenti fasi

### 9.1 Spaziatura delle strisce

Si assegna la spaziatura delle strisce di rinforzo in verticale e in orizzontale (vedi figura seguente). La spaziatura verticale può variare orientativamente da 0.2 a 1 m e quella orizzontale è compresa approssimativamente tra 0.8 e 1 m. Nell'analisi si fa riferimento a un tratto di larghezza unitaria, a cui si associa il diagramma delle pressioni orizzontali.

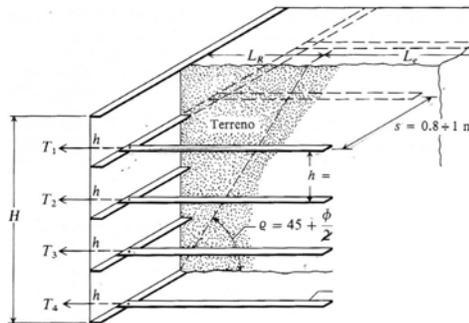


Figura 9.1 : Spaziatura delle strisce

### 9.2 Forze di trazione nei rinforzi

Si determinano le forze di trazione nei vari rinforzi, date dall'area del diagramma delle pressioni relative a ogni striscia. Per il diagramma triangolare relativo al terrapieno, la forza nella striscia è data dall'area dell'elemento trapezoidale  $ab'd'$  e viene trasformata nella pressione media  $q_i$  alla profondità della striscia  $Z_i$  mediante la relazione:

$$q_i = \gamma \times z_i \times K_a$$

La pressione  $q_i$  agisce su una area definita dalla spaziatura delle armature  $h \times s$  e corrisponde a una forza di trazione nel rinforzo pari a:

$$T_i = q_i \times A = \gamma \times z_i \times K_a \times (h \times s)$$

Per l'equilibrio la somma delle forze di trazione deve essere pari alla componente orizzontale delle forze agenti.

$$\sum T_i = P_{ah}$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA – CALCOLO TIPOLOGICO	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

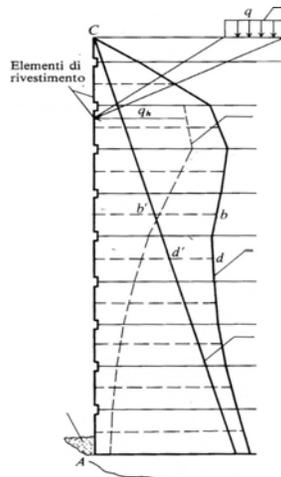


Figura 9.2 : Trazione nei rinforzi

### 9.3 Calcolo delle lunghezze efficaci

Si calcolano le lunghezze delle strisce  $L_e$  che compaiono in Figura 3, necessarie affinché si sviluppi una forza d'attrito  $F_r = T_i$ . Sulla base di tali lunghezze e delle dimensioni del cuneo di Rankine, si può determinare la lunghezza globale  $L_o$  delle strisce da utilizzare. In generale, per tutta l'altezza del muro si usano strisce della stessa lunghezza. La lunghezza di ancoraggio dipende dal coefficiente d'attrito  $f = \tan \delta$  tra suolo e rinforzo, essendo  $\delta$  un'opportuna frazione dell'angolo d'attrito interno del terreno  $\phi$ . Se la striscia è sufficientemente scabra  $\delta = \phi$ , mentre per metalli lisci  $\delta$  è compreso orientativamente tra  $20^\circ$  e  $25^\circ$ .

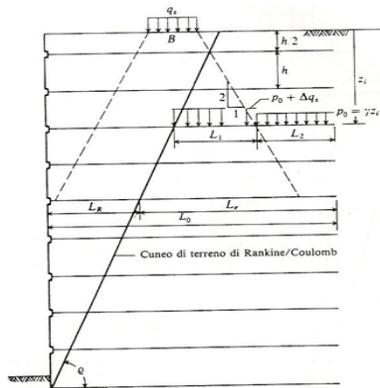


Figura 9.3 : Lunghezze efficaci

Per strisce di dimensioni  $b \times L_e$  o per fogli di geotessile di larghezza unitaria e lunghezza  $L_e$ , entrambe le facce sviluppano attrito; per barre circolari, l'attrito resistente è sviluppato lungo il perimetro. In ogni caso, l'attrito è dato dal prodotto di  $f$  per la pressione normale al rinforzo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

calcolata come  $p_o = \gamma z_i$  dove  $z_i$  è la distanza *media* dalla superficie del terreno al rinforzo. Si ha quindi:

Per strisce: 
$$F_i = 2(\gamma z_i) \tan \delta (b \times L_e) \geq T_i$$

Se nelle precedenti formule il segno  $\geq$  è sostituito col segno di uguale, il coefficiente di sicurezza FS è pari a 1. Se si assume  $FS > 1$ , il valore di  $L_e$  risulta necessariamente maggiore di quello dato da queste formule.

Si determina quindi la sezione delle armature  $b \times t$ . Per barre o strisce in metallo avente sforzo ammissibile pari a  $f_a = f_y/FS$  si ha:

$$b \times t \times f_a \geq T_i \quad \text{oppure} \quad \frac{\pi D^2}{4} \times f_a \geq T_i$$

## 10. Risultati di calcolo

### 10.1 Carichi variabili in posizione centrata

#### 10.1.1 Combinazione 1(A1+M1)

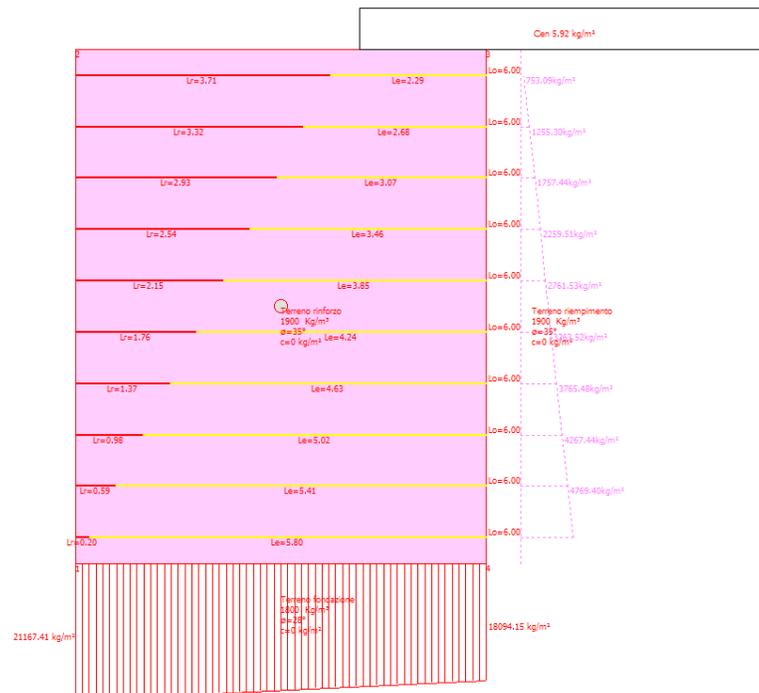


Figura 10.1

#### Verifica rinforzi

Nr.	X	y	Lunghezza	Lunghezza	Lunghezza	Interasse	Tensione	Fattore di
-----	---	---	-----------	-----------	-----------	-----------	----------	------------

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0

	(m)	(m)	cuneo (Lr) (m)	efficace (Le) (m)	totale (Lt) (m)	(m)	rinforzo (kg/m <sup>2</sup> )	sicurezza FS
1	0.0	0.38	0.20	5.80	6.00	0.450	8048354	2.08
8	0.0	5.62	2.90	3.07	6.00	0.450	2118314	1.11

Tabella 10.2

### Verifica alla traslazione

Coeff. sicurezza traslazione Csd 6.67: **Traslazione verificata Csd>1**

### Verifica al ribaltamento

Coeff. sicurezza ribaltamento Csv 9.81: **Muro verificato a ribaltamento Csv>1:**

### Carico limite - Metodo di Vesic (1973):

Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy) 4.03: **Carico limite verificato Csq>1**

## 10.1.2 Combinazione 2(A2+M2)

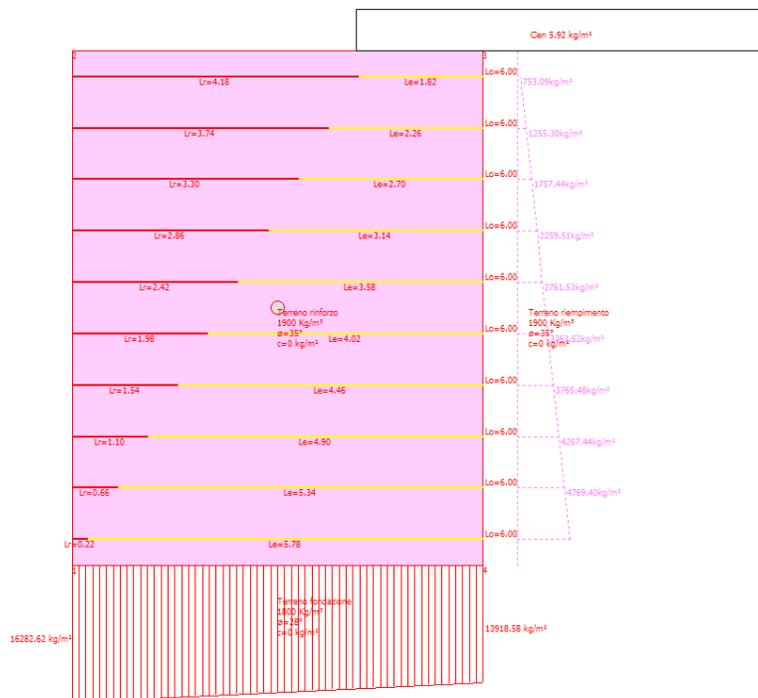


Figura 10.3

### Verifica rinforzi

Nr.	X (m)	y (m)	Lunghezza cuneo (Lr) (m)	Lunghezza efficace (Le) (m)	Lunghezza totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Tensione rinforzo (kg/m <sup>2</sup> )	Fattore di sicurezza FS
1	0.0	0.38	0.22	5.78	6	0.45	7846219	2.12
8	0.0	5.63	3.3	2.7	6	0.45	2065076	1.00

Tabella 10.4

### Verifica alla traslazione

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0

Coeff. sicurezza traslazione Csd    6.67: **Traslazione verificata Csd>1**

**Verifica al ribaltamento**

Coeff. sicurezza ribaltamento Csv    9.81: **Muro verificato a ribaltamento Csv>1:**

**Carico limite - Metodo di Vesic (1973)**

Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)    5.24: **Carico limite verificato Csq>1**

**10.2      Carichi variabili in posizione eccentrica 1**

**10.2.1    Combinazione 1(A1+M1)**

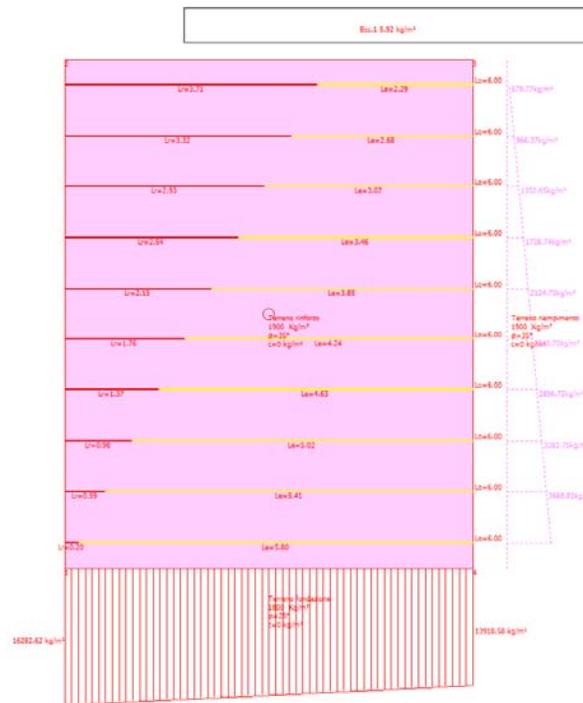


Figura 10.5

**Verifica rinforzi**

Nr.	X (m)	y (m)	Lunghezza cuneo (Lr) (m)	Lunghezza efficace (Le) (m)	Lunghezza totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Tensione rinforzo (kg/m²)	Fattore di sicurezza FS
1	0.0	0.38	0.20	5.80	6.00	0.450	6191123	2.70
8	0.0	5.62	2.90	3.07	6.00	0.450	1630746	1.44

Tabella 10.6

**Verifica alla traslazione**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Coeff. sicurezza traslazione Csd    6.66: **Traslazione verificata Csd>1**

### Verifica al ribaltamento

Coeff. sicurezza ribaltamento Csv    9.80: **Muro verificato a ribaltamento Csv>1:**

### Carico limite - Metodo di Vesic (1973):

Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)    5.23: **Carico limite verificato Csq>1**

## 10.2.2    Combinazione 2(A2+M2)

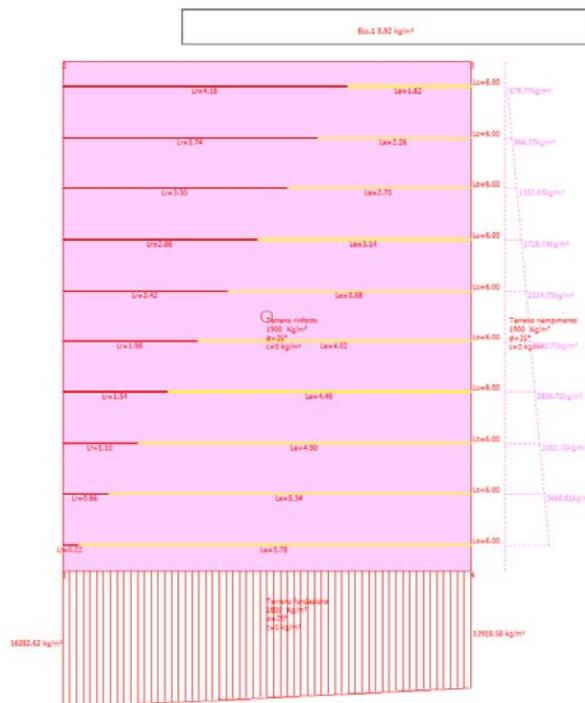


Figura 10.7

### Verifica rinforzi

Nr.	X (m)	y (m)	Lunghezza cuneo (Lr) (m)	Lunghezza efficace (Le) (m)	Lunghezza totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Tensione rinforzo (kg/m²)	Fattore di sicurezza FS
1	0.0	0.38	0.20	5.80	6.00	0.450	7846182	2.12
8	0.0	5.62	2.90	3.07	6.00	0.450	2	1.11

Tabella 10.8

### Verifica alla traslazione

Coeff. sicurezza traslazione Csd    6.66: **Traslazione verificata Csd>1**

### Verifica al ribaltamento

Coeff. sicurezza ribaltamento  $C_{sv}$  9.80: **Muro verificato a ribaltamento  $C_{sv} > 1$ :**

### Carico limite - Metodo di Vesic (1973):

Fattore sicurezza ( $C_{sq} = Q_{lim}/F_y$ ) 5.23: **Carico limite verificato  $C_{sq} > 1$**

### Verifiche di stabilità interna

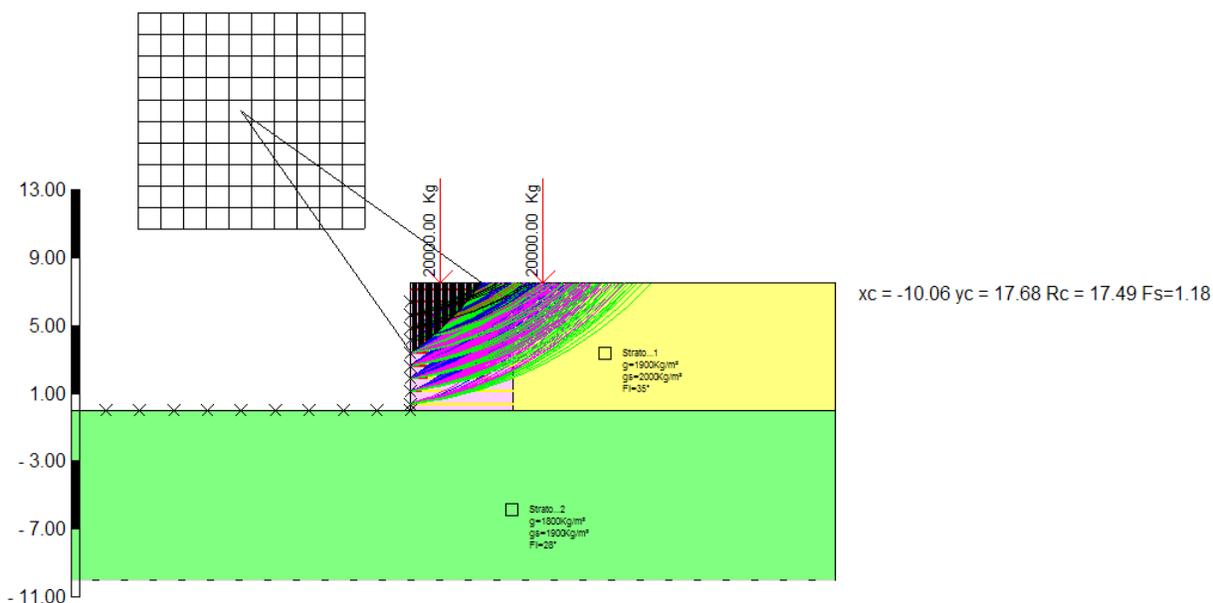


Figura 10.9

ID	Xrinf./Yrinf. m	xc, yc, rc	Fsmin	Verifiche interne
0*1	-18/0	0/0/0	0	Compound
0*2	-16/0	0/0/0	0	Compound
0*3	-14/0	0/0/0	0	Compound
0*4	-12/0	0/0/0	0	Compound
0*5	-10/0	0/0/0	0	Compound
0*6	-8/0	0/0/0	0	Compound
0*7	-6/0	0/0/0	0	Compound
0*8	-4/0	0/0/0	0	Compound
0*9	-2/0	0/0/0	0	Compound
0*10	0/0	0/0/0	0	Compound
1*1	0/0.38	-2.71/11.94/11.88	1.37	Tieback
1*2	0/1.12	-5.38/15.77/15.6	1.266	Tieback
1*3	0/1.88	-6.05/11.31/11.21	1.214	Tieback

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0

1*4	0/2.62	-8.05/14.49/14.34	1.199	Tieback
1*5	0/3.38	-10.06/17.68/17.49	1.176	Tieback
1*6	0/4.12	-10.06/20.23/18.99	1.247	Tieback
1*7	0/4.88	-8.72/22.78/19.92	1.479	Tieback
1*8	0/5.62	-4.71/21.51/16.56	2.078	Tieback
1*9	0/6.38	-4.71/21.51/16.56	2.078	Tieback

Tabella 10.10

Fs minimo individuato **1.18 > 1.10**

### 10.3 Carichi variabili in posizione eccentrica 2

#### 10.3.1 Combinazione 1(A1+M1)

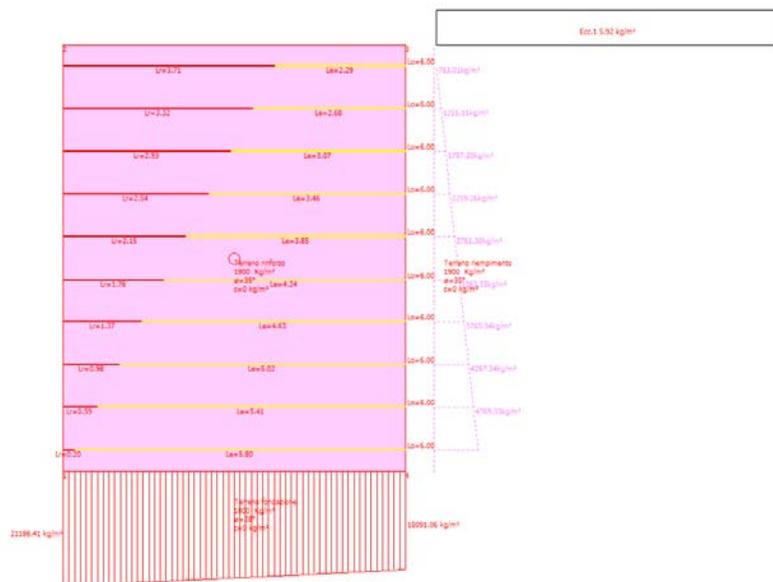


Figura 10.11

#### Verifica rinforzi

Nr.	X (m)	y (m)	Lunghezza cuneo (Lr) (m)	Lunghezza efficace (Le) (m)	Lunghezza totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Tensione rinforzo (kg/m²)	Fattore di sicurezza FS
1	0.0	0.38	0.20	5.80	6.00	0.450	8048241	2.08
8	0.0	5.62	2.90	3.07	6.00	0.450	2118001	1.11

Tabella 10.12

#### Verifica alla traslazione

Coeff. sicurezza traslazione Csd    6.59: **Traslazione verificata Csd>1**

#### Verifica al ribaltamento

Coeff. sicurezza ribaltamento Csv    9.75: **Muro verificato a ribaltamento Csv>1:**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**Carico limite - Metodo di Vesic (1973):**

Fattore sicurezza ( $Csq=Qlim/Fy$ )    4.01: **Carico limite verificato  $Csq>1$**

**10.3.2    Combinazione 2(A2+M2)**

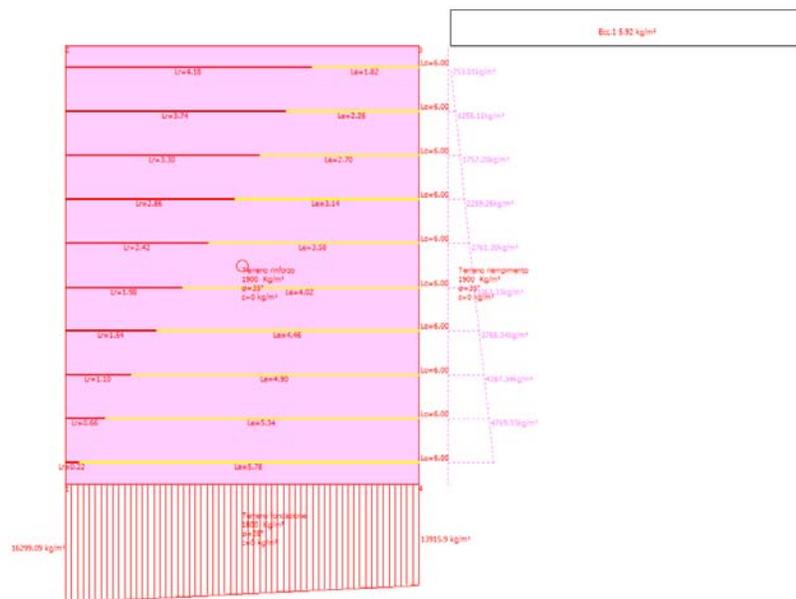


Figura 10.13

**Verifica rinforzi**

Nr.	X (m)	y (m)	Lunghezza cuneo (Lr) (m)	Lunghezza efficace (Le) (m)	Lunghezza totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Tensione rinforzo (kg/m <sup>2</sup> )	Fattore di sicurezza FS
1	0.0	0.38	0.20	5.80	6.00	0.450	7846120	2.12
8	0.0	5.62	2.90	3.07	6.00	0.450	2064805	1.00

Tabella 10.14

**Verifica alla traslazione**

Coeff. sicurezza traslazione  $Csd$     6.58: **Traslazione verificata  $Csd>1$**

**Verifica al ribaltamento**

Coeff. sicurezza ribaltamento  $Csv$     9.74: **Muro verificato a ribaltamento  $Csv>1$ :**

**Carico limite - Metodo di Vesic (1973):**

Fattore sicurezza ( $Csq=Qlim/Fy$ )    5.22: **Carico limite verificato  $Csq>1$**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0

## 10.4 Verifica sismica

### 10.4.1 Combinazione 1(A1+M1)

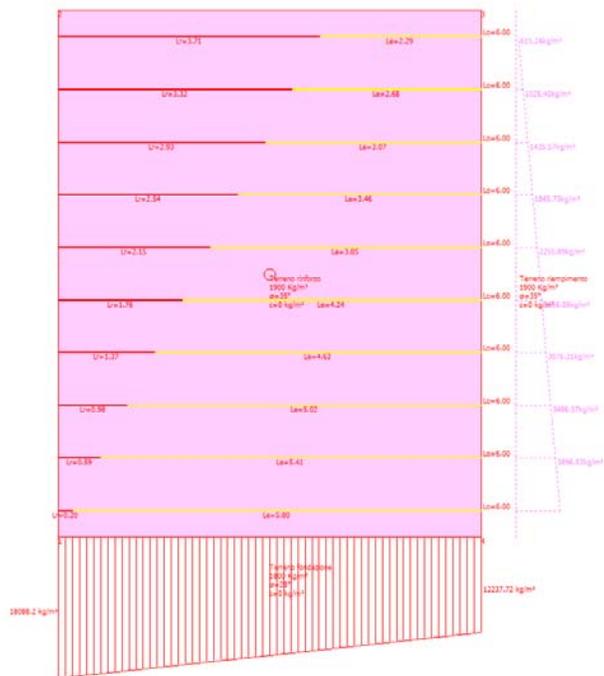


Figura 10.15

#### Verifica rinforzi

Nr.	X (m)	y (m)	Lunghezza cuneo (Lr) (m)	Lunghezza efficace (Le) (m)	Lunghezza totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Tensione rinforzo (kg/m <sup>2</sup> )	Fattore di sicurezza FS
1	0.0	0.38	0.20	5.80	6.00	0.450	6575402	2.54
8	0.0	5.62	2.90	3.07	6.00	0.450	1730369	1.34

Tabella 10.16

#### Verifica alla traslazione

Coeff. sicurezza traslazione Csd 4.52: **Traslazione verificata Csd>1**

#### Verifica al ribaltamento

Coeff. sicurezza ribaltamento Csv 7.05: **Muro verificato a ribaltamento Csv>1:**

#### Carico limite - Metodo di Vesic (1973):

Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy) 4.46: **Carico limite verificato Csq>1**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

#### 10.4.2 Combinazione 2(A2+M2)

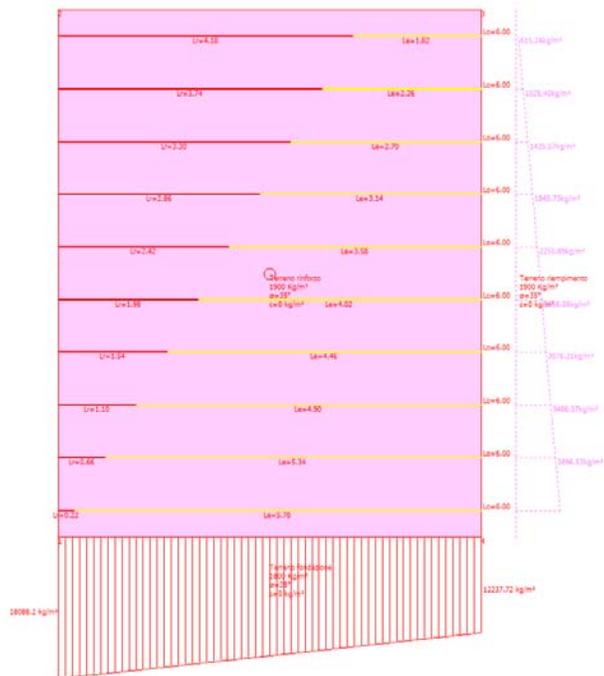


Figura 10.17

#### Verifica rinforzi

Nr.	X (m)	y (m)	Lunghezza cuneo (Lr) (m)	Lunghezza efficace (Le) (m)	Lunghezza totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Tensione rinforzo (kg/m <sup>2</sup> )	Fattore di sicurezza FS
1	0.0	0.38	0.20	5.80	6.00	0.450	8279741	2.01
8	0.0	5.62	2.90	3.07	6.00	0.450	2178808	1.04

Tabella 10.18

#### Verifica alla traslazione

Coeff. sicurezza traslazione Csd 4.52: **Traslazione verificata Csd>1**

#### Verifica al ribaltamento

Coeff. sicurezza ribaltamento Csv 7.05: **Muro verificato a ribaltamento Csv>1:**

#### Carico limite - Metodo di Vesic (1973):

Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy) 4.46: **Carico limite verificato Csq>1**

## 11. Specifiche tecniche

### 11.1 Paramento esterno

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA  – CALCOLO TIPOLOGICO</b>	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

### 11.1.1 Paramento verticale in c.a. con pannelli cruciformi

Il paramento in c.a. sarà realizzato con pannelli prefabbricati prodotti con calcestruzzo opportunamente vibrato, confezionato con inerti di dimensione massima  $\leq 25$  mm.

Il calcestruzzo avrà una resistenza caratteristica a compressione  $R_{ck} > 35$  MPa.

Il ferro di armatura, quando previsto, sarà ad aderenza migliorata del tipo Fe B 44 K.

#### 11.1.1.1 Prefabbricazione

La prefabbricazione dei pannelli sarà eseguita con casseri metallici opportunamente disposti su superficie piana con la faccia vista in basso e le estremità degli attacchi in alto. La posizione degli attacchi dovrà essere esclusivamente quella indicata sui disegni come pure quella degli altri inserti previsti per il montaggio e la movimentazione.

Il getto di ogni elemento dovrà essere eseguito senza interruzioni ed adeguatamente vibrato per evitare che la faccia vista presenti bolle d'aria e/o struttura a nido d'ape e/o struttura aperta.

Particolare cura sarà usata nella scelta degli inerti, nel confezionamento del calcestruzzo e nell'uso di disarmanti, per ottenere una colorazione quanto più possibile uniforme della superficie a faccia vista.

#### 11.1.1.2 Tolleranze

Tutte le quote sia parziali che progressive dovranno essere rispettate. Saranno ammesse sul singolo pannello le seguenti tolleranze :

- planarità della superficie a faccia vista :  $\pm 5$  mm. su 1,5 m.
- dimensioni :  $\pm 5$  mm.
- differenza tra le lunghezze delle diagonali :  $\pm 10$  mm.
- interasse tubo perno :  $\pm 4$  mm.

#### 11.1.1.3 Elementi incorporati nei pannelli

Gli inserti previsti dai disegni di progetto sono :

- attacchi per armature: in acciaio zincato a caldo in ragione di 5 g/dm<sup>2</sup>;
- manicotto in materia plastica. Diametro interno 30 mm. diametro esterno 32 mm. lunghezza 730 mm (per i pannelli tradizionali)
- barra in materia plastica diametro 20 mm. lunghezza 890 mm. (per i pannelli tradizionali)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA  – CALCOLO TIPOLOGICO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- perno biconico in plastica per i pannelli di tipo semplificato;
- bulloni o perni asolati di sollevamento in acciaio, portata superiore a 1 t.;

#### 11.1.1.4 Marcatura

Su ogni pannello sarà indicato: tipo di pannello e data di produzione.

#### 11.1.1.5 Ispezione e collaudo

L'accettabilità dei manufatti sarà determinata in base alla verifica dei requisiti precedentemente descritti, con particolare riferimento alle verifiche di :

- caratteristiche geometriche
- resistenza del calcestruzzo a 7 e 28gg.
- grado di finitura della faccia vista.

#### 11.1.1.6 Movimentazione, immagazzinamento, trasporto

I pannelli dovranno essere movimentati ed immagazzinati in modo da eliminare il pericolo di rotture, fratture ed eccessiva flessione. In particolare lo stoccaggio sarà fatto in pile di non oltre 6 elementi; essi saranno disposti con la faccia vista verso il basso e distanziati mediante tacchi in legno o altro materiale di dimensioni e caratteristiche tali da sopportare il peso trasmesso dai pannelli soprastanti.

#### 11.1.2 Calcestruzzo di livellamento

Il getto di livellamento ed appoggio dei pannelli sarà eseguito con calcestruzzo di resistenza minima a 28 giorni di 15 N/mm<sup>2</sup> e sarà lasciato maturare per 12 ore prima di porre in opera i pannelli.

#### 11.1.3 Armature ad aderenza migliorata in acciaio zincato

##### 11.1.3.1 Tipo di acciaio

L'acciaio laminato del tipo Fe 52 avrà le seguenti caratteristiche meccaniche :

- tensione di rottura a trazione :  $\geq 520$  MPa
- tensione di snervamento :  $\geq 355$  MPa
- allungamento percentuale a rottura :  $\geq 22\%$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA  – CALCOLO TIPOLOGICO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 11.1.3.2 Caratteristiche geometriche:

#### Armature Tipo 40x5

Spessore nominale :  $e = 5 \text{ mm} + 0.5/ -0.0 \text{ mm}$

Larghezza nominale:  $b = 40\text{mm} \pm 1.5 \text{ mm}$

Lunghezza da progetto: tolleranza  $\pm 160 \text{ mm}$

#### Armature Tipo 45x5 rinforzate

Spessore nominale : sezione corrente  $e = 5 \text{ mm} +0.3/- 0.2 \text{ mm}$

: rinforzo  $E = (e+3) \text{ mm} +0.3/-0.1\text{mm}$

Larghezza nominale: sezione corrente  $b = 45 \text{ mm} +1, 5\text{mm}/-0.5 \text{ mm}$

: rinforzo  $B = b - 4 \text{ mm} (\text{max})$

Lunghezza da progetto: tolleranze  $L = L_{\text{nom}} + 0.3/- 0.2 \text{ m}$

#### Armature Tipo 50x4

Spessore nominale :  $e = 4 \text{ mm} - 0/+0.5 \text{ mm}$

Larghezza nominale:  $b = 50 \text{ mm} -1.5/+1.5\text{mm}$

Lunghezza da progetto: tolleranze  $L = L_{\text{nom}} \pm 160 \text{ mm}$

L'aderenza è migliorata mediante rilievi trasversali di altezza 3mm.

### 11.1.3.3 Caratteristiche meccaniche

- Armature 40 x 5 : carico minimo a rottura 100,0 KN (sez. corrente)
- Armature 45 x 5 : carico minimo a rottura 104,7 KN (sez. corrente)
- Armature 50 x 4 : carico minimo a rottura 100,0 KN (sez. corrente)

### 11.1.3.4 Trattamento superficiale

Zincatura a caldo in ragione di 5 gr/dm<sup>2</sup> di rivestimento e spessore garantito 70 micron, circa.

### 11.1.4 Bulloni di fissaggio

- armature tipo 40 x 5 e 50 x 4

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA  – CALCOLO TIPOLOGICO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

La connessione tra le armature e gli attacchi dei pannelli sarà assicurata da bulloni classe 8.8 a testa esagonale zincati a caldo conforme a norme UNI 3740/6 con le seguenti caratteristiche meccaniche :

- tensione di rottura a trazione :  $\geq 800$  MPa
- tensione di snervamento :  $\geq 640$  MPa
- allungamento percentuale a rottura :  $\geq 12$  %
- armature tipo 45 x 5

La connessione tra le armature e gli attacchi dei pannelli sarà assicurata da bulloni classe 10.9 a testa esagonale zincati a caldo conforme a norme UNI 3740/6 con le seguenti caratteristiche meccaniche :

- tensione di rottura a trazione :  $\geq 1000$  MPa
- tensione di snervamento :  $\geq 900$  MPa
- allungamento percentuale a rottura :  $\geq 9$  %

### **11.1.5 Giunti per pannelli**

#### Giunti orizzontali

Saranno realizzati mediante tacchi speciali in gomma opportunamente sagomati per l'assorbimento delle deformazioni della struttura.

#### Giunti verticali

Il materiale di riempimento dei giunti verticali sarà costituito da strisce di poliuretano a cellula aperta di sezione 4 x 4 cm<sup>2</sup>. Per strutture dove il riempimento è costituito da sabbia, per opere inondabili, e per i pannelli di tipo semplificato, si utilizzeranno delle strisce di tessuto non tessuto da porre all'interno dei pannelli, fornito in rotoli di altezza 40 cm. e grammatura 200 g/mq.

## **11.2 Rilevato**

### **11.2.1 Caratteristiche fisiche**

Per il terreno del rilevato in terra armata devono essere impiegate terre appartenenti ai gruppi A1-a, A1-b, A3, A2-4, A2-5 della classifica C.N.R. - U.N.I. 10006/1963.

In ogni caso dovranno essere rispettate le seguenti condizioni:

- a) Il terreno di riempimento sarà idoneo quando la percentuale passante al setaccio da 80 micron (0,08 mm.), secondo l'analisi granulometrica, è inferiore del 15%.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA  – CALCOLO TIPOLOGICO</b>	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

b) I terreni con la percentuale passante al vaglio da 80 micron superiore al 15%, saranno ugualmente validi quando:

b-1) la percentuale del campione esaminato per sedimentazione passante al vaglio di 15 micron (0,015 mm.), è inferiore al 10%;

b-2) la percentuale sulle prove realizzate per sedimentazione rimane compresa tra il 10% e 20% e l'angolo di attrito interno, misurato con prove di taglio su campioni saturi, è superiore a 25°.

c) Il terreno di riempimento non dovrà contenere nessun elemento superiore a 250 mm.

Il rilevato può essere alleggerito per interposti strati di misto granulare o sabbia e argilla espansa con modalità indicate nei disegni costruttivi.

L'inerte leggero avrà le seguenti caratteristiche :

- granulometria minore di 25 mm ,
- peso di volume compreso tra 7 e 8 KN/mc.

#### **11.2.1.1 Resistività'**

Il valore di resistenza del terreno da rilevato, saturato dopo un'ora di contatto terra-acqua alla temperatura di 20°C, sarà superiore a 1.000 Ohm\*cm. per opere a secco e 3.000 Ohm\*cm. per opere inondabili.

#### **11.2.1.2 Attività' ioni idrogeno**

Il valore di attività degli ioni (pH) misurato sull'acqua del campione di terra saturato, sarà compreso tra 5 e 10.

#### **11.2.1.3 Contenuto in sali solubili**

Il contenuto di cloruri e solfati dovrà essere determinato soltanto per i materiali la cui resistività sia compresa tra 1.000 e 5.000 Ohm cm. e non dovrà eccedere i seguenti valori :

Opere a secco                      Opere in acqua dolce

[ Cl <sup>-</sup> ]	200 mg/kg	100 mg/kg
[ SO <sub>4</sub> <sup>==</sup> ]	1000 mg/kg	500 mg/kg

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA  – CALCOLO TIPOLOGICO</b>	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

#### **11.2.1.4 Prove e controlli**

Per la determinazione dell'idoneità del materiale da porre in opera in un rilevato in T.A. si effettuerà un'analisi granulometrica, con relativa classificazione CNR-UNI 10006, la determinazione del valore della resistività e del pH per ogni campione della stessa provenienza.

Per il contenuto in sali vedere punto 1.6.4.

Per la verifica durante la posa in opera vedi tabella allegata.

#### **11.2.1.5 Materiali non conformi alle specifiche**

I materiali non conformi alle specifiche precedenti potranno essere usati solo su autorizzazione scritta del progettista ed approvate dalla D.L. dopo verifica da parte della società Terra Armata sul loro eventuale utilizzo.

### **11.3 Posa in opera**

#### **11.3.1 Preparazione del piano di posa**

Il piano di fondazione della struttura sarà livellato per una larghezza uguale o maggiore alla lunghezza delle armature, o comunque come indicato sui disegni costruttivi. Prima della posa in opera della struttura il piano di posa sarà opportunamente compattato con un rullo vibrante. Terreni di fondazione non rispondenti ai valori di progetto, saranno rimossi e sostituiti.

#### **11.3.2 Montaggio**

##### **11.3.2.1 Paramento verticale in c.a.**

I pannelli prefabbricati saranno messi in opera verticalmente a mezzo di gru leggera utilizzando esclusivamente i perni di sollevamento all'uopo incorporati nei pannelli.

I pannelli saranno montati in file orizzontali successive secondo la sequenza indicata dai disegni e contemporaneamente alla formazione del rilevato. Fintanto che il rilevato e le armature non saranno completamente posati, i pannelli saranno mantenuti in posizione verticale mediante dei morsetti che li bloccano provvisoriamente alla fila inferiore. Per la posa della prima fila di pannelli sarà inoltre necessaria una opportuna puntellatura esterna.

La tolleranza di montaggio in direzione verticale non dovrà superare i 15 mm. misurata lungo una retta di 3,00 metri di lunghezza. In qualsiasi altra direzione sul piano verticale del muro la

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA  – CALCOLO TIPOLOGICO</b>	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

tolleranza ammessa è di 20 mm. sempre su 3 metri di lunghezza. Le armature saranno posate perpendicolarmente al paramento o come indicato nei disegni.

### 11.3.2.2 Costruzione del rilevato

La posa del materiale di riempimento seguirà strettamente il montaggio di ciascuna fila di pannelli; in corrispondenza di ogni livello di armature il materiale sarà steso e compattato prima della posa e del fissaggio delle stesse.

### 11.3.2.3 Stesa dei materiali

La stesa del materiale dovrà essere eseguita sistematicamente per strati di spessore costante e con modalità e attrezzature atte ad evitare segregazione, brusche variazioni granulometriche e del contenuto d'acqua. Durante le fasi di lavoro, e ad opera ultimata, si dovrà garantire il rapido deflusso delle acque meteoriche conferendo sagomature aventi pendenza trasversale non inferiore al 4%. La pendenza sarà contrapposta al paramento. Lo spessore allo stato sciolto di ogni singolo strato di rilevato non dovrà risultare superiore a 40 cm. Sarà tassativo che la stesa avvenga sempre parallelamente al paramento esterno.

### 11.3.2.4 Compattazione

Il grado di compattazione sarà  $\geq 90\%$  del valore fornito dalla prova AASHTO mod. T 180, salvo per l'ultimo strato di 30 cm. costituente il piano di posa della fondazione della pavimentazione che dovrà presentare una densità pari o superiore al 95% o secondo quanto indicato sui disegni costruttivi. La compattazione potrà aver luogo soltanto dopo aver accertato che il contenuto d'acqua delle terre sia prossimo ( $\pm 1,5\%$  ca.) a quello ottimale determinato mediante la prova AASHTO mod. T 180. Se tale contenuto dovesse risultare superiore, il materiale dovrà essere essiccato per aereazione. Se inferiore l'aumento sarà conseguito per umidificazione e con modalità tali da garantire una distribuzione uniforme entro l'intero spessore dello strato.

Il tipo, le caratteristiche e il numero dei mezzi di compattazione nonché le modalità esecutive di dettaglio (numero di passate, velocità operativa, frequenza), dovranno essere sottoposte alla preventiva approvazione della Direzione Lavori. La compattazione a tergo delle opere in cemento armato dovrà essere tale da escludere una riduzione nell'addensamento.

In particolare si dovrà evitare che i grossi rulli vibranti operino entro una distanza inferiore a 1,5 m. dai paramenti della terra armata.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA  – CALCOLO TIPOLOGICO</b>	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

A tergo dei manufatti si useranno mezzi di compattazione leggeri quali piastre vibranti, piccoli rulli vibranti, badando a garantire i valori di densità richiesti, anche a costo di operare su strati di spessore ridotto. Gli strati realizzati con argilla espansa non saranno compattati in senso tradizionale, ma dovranno essere addensati garantendo l'integrità dei granuli pur riducendo l'indice dei vuoti. Tale addensamento sarà raggiunto utilizzando rulli vibranti leggeri.

L'operazione dovrà essere svolta previa stesa di un telo di geotessile (250 gr/mq.) e successiva collocazione di circa 20 cm. di sabbia o di stabilizzato. Qualora si dovessero manifestare erosioni di sorta sul terreno già steso, l'Impresa dovrà provvedere al ripristino delle zone danneggiate a sua cura e spese, secondo le disposizioni impartite di volta in volta dalla Direzione Lavori.

#### **11.3.2.5 Condizioni climatiche**

La costruzione dei rilevati in presenza di gelo o di pioggia persistenti non sarà consentita in linea generale, tranne per quei materiali meno suscettibili all'azione del gelo e delle acque meteoriche (es. ghiaia). Nella esecuzione dei rilevati con terre ad elevato contenuto della frazione coesiva dovranno essere tenuti a disposizione anche dei rulli gommati che consentano di chiudere la superficie dell'ultimo strato in caso di pioggia.

### **11.4 Rilevati di prova**

Quando prescritto dalla Direzione Lavori, l'Impresa procederà alla esecuzione dei rilevati di prova. In particolare si potrà fare ricorso ai rilevati di prova per verificare l'idoneità di materiali diversi da quelli specificati nei precedenti capitoli.

Il rilevato di prova consentirà di individuare le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali messi in opera, le caratteristiche dei mezzi di compattazione (tipo, peso, energie vibranti) e le modalità esecutive più idonee (numero di passate, velocità del rullo, spessore degli strati, ecc.), le procedure di lavoro e di controllo cui attenersi nel corso della formazione dei rilevati.

#### **11.4.1 Prove di controllo**

Prima che venga messo in opera uno strato di terreno, quello precedente dovrà essere sottoposto alle prove di controllo e possedere i requisiti di costipamento richiesti.

La procedura delle prove di seguito specificata, deve ritenersi come minima e dovrà essere infittita in ragione della discontinuità granulometrica dei materiali portati a rilevato e della variabilità nelle procedure di compattazione. L'Impresa dovrà eseguire le prove di controllo nei punti indicati dalla

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA  – CALCOLO TIPOLOGICO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Direzione Lavori ed in contraddittorio con la stessa. L'Impresa potrà eseguire le prove di controllo o in proprio o tramite un laboratorio esterno comunque approvato dalla Direzione Lavori.

Prima di iniziare i lavori l'Impresa dovrà sottoporre alla Direzione Lavori l'elenco del personale, delle attrezzature di prova nonché i certificati di calibrazione e taratura delle apparecchiature: durante i lavori l'esito delle prove dovrà essere trasmesso tempestivamente su appositi moduli.

La serie di prove sui primi 5000 mc. verrà effettuata una volta tanto a condizione che i materiali mantengano caratteristiche omogenee e siano costanti le modalità di compattazione.

In caso contrario la Direzione Lavori potrà prescrivere la ripetizione della serie.

Le prove successive devono intendersi riferite a quantitativi appartenenti allo stesso strato di rilevato.

FREQUENZA DELLE PROVE (almeno 1 ogni mc.....)

#### RILEVATI PER TERRE ARMATE

TIPO DI PROVA	PRIMI 5000 mc	SUCCESSIVI mc
Classif. CNR - UNI 10006	500	5000
Resistività	500	5000
pH	500	5000
Contenuto in cloruri e solfati per valori di resistività tra 1000/5000 Ohm.cm	500	5000
Costip. AASHTO Mod. CNR	500	5000
Densità in sito CNR 22	250	1000
Carico su piastra CNR 9 - 70317	1000	5000
Controllo umidità	*	*

Tabella 11.1

\* Frequenti e rapportate alle condizioni metereologiche locali ed alle caratteristiche di omogeneità dei materiali portati a rilevato.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA – CALCOLO TIPOLOGICO		Codice documento CZ0483_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

## 12. Tabulati di calcolo

### 12.1 Carichi variabili in posizione centrata

Geometria

Nr .	X (m)	Y (m)
1	0.0	0.0
2	0.0	7.5
3	6.0	7.5

Tabella 12.1

#### Terreno rinforzo

---

Peso unità di volume	1900.0 Kg/m <sup>3</sup>
Peso unità di volume saturo	2000.0 Kg/m <sup>3</sup>
Angolo di resistenza a taglio	35.0 °
Coesione	0.0 kg/m <sup>2</sup>
Angolo attrito terreno rinforzo	23.0 °

---

#### Terreno riempimento

---

Peso unità di volume	1900.0 Kg/m <sup>3</sup>
Peso unità di volume saturo	2000.0 Kg/m <sup>3</sup>
Angolo di resistenza a taglio	35.0 °
Coesione	0.0 kg/m <sup>2</sup>
Angolo inclinazione spinta	23.0 °

---

#### Terreno fondazione

---

Peso unità di volume	1800.0 Kg/m <sup>3</sup>
Peso unità di volume saturo	1900.0 Kg/m <sup>3</sup>
Angolo di resistenza a taglio	28.0 °
Coesione	0.0 kg/m <sup>2</sup>

---

#### Posizione rinforzi

Nr .	X (m)	y (m)	Tipo	Lunghezza a ripiegatura (m)	Lunghezza a facciata (Lf) (m)	Lunghezza a cuneo (Lr) (m)	Lunghezza a efficace (Le) (m)	Lunghezza a totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Tensione rinforzo (kg/m <sup>2</sup> )
1	0.0	0.38	(8) Striscia 50x4	---	---	0.2	5.8	6	0.45	8048354
2	0.0	1.13	(8) Striscia 50x4	---	---	0.59	5.41	6	0.45	7201304
3	0.0	1.88	(8) Striscia	---	---	0.98	5.02	6	0.45	6354250

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

			50x4							
4	0.0	2.63	(8) Striscia 50x4	---	---	1.37	4.63	6	0.45	5507184
5	0.0	3.38	(8) Striscia 50x4	---	---	1.76	4.24	6	0.45	4660083
6	0.0	4.13	(8) Striscia 50x4	---	---	2.15	3.85	6	0.45	3812921
7	0.0	4.88	(8) Striscia 50x4	---	---	2.54	3.46	6	0.45	2965672
8	0.0	5.63	(8) Striscia 50x4	---	---	2.93	3.07	6	0.45	2118314
9	0.0	6.38	(8) Striscia 50x4	---	---	3.32	2.68	6	0.225	635421.9
10	0.0	7.13	(8) Striscia 50x4	---	---	3.71	2.29	6	0.225	211644.7

Tabella 12.2

#### Elenco rinforzi

Tipo	Descrizione	Struttura (mm)	Resistenza	Fattore sicurezza resistenza
8	Striscia 50x4	Strisce Larghezza, Spessore=50/4	338 N/mm <sup>2</sup>	1

#### Descrizione

Nr.	Confermare con il pulsante destro del mouse	X (m)	Y (m)	Lx (m)	Ly (m)	Q (kg/m <sup>2</sup> )
1	Cen	4.15	7.5	6	4.5	5.92

#### Combinazione 1(A1+M1)

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1.30
2	Spinta terreno	1.30
3	Spinta falda	1.30
4	Spinta sismica in x	0.00
5	Spinta sismica in y	0.00
6	Resistenza sfilamento	1.00
7	Cen	1.50

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali SLU
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione	1
3	Coesione non drenata	1
4	Peso unità volume	1
	Angolo attrito terreno rinforzo	

Tabella 12.3

#### Combinazione 2(A2+M2)

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1.00
2	Spinta terreno	1.00
3	Spinta falda	1.00
4	Spinta sismica in x	0.00
5	Spinta sismica in y	0.00
6	Resistenza sfilamento	1.00
7	Cen	1.30

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali SLU
1	Tangente angolo res. taglio	1.25
2	Coesione	1.25
3	Coesione non drenata	1.4
4	Peso unità volume	1
	Angolo attrito terreno rinforzo	

Tabella 12.4

### Combinazione 1(A1+M1)

#### Posizione rinforzi

Nr.	X (m)	y (m)	Tipo	Lunghezza a ripiegatura (m)	Lunghezza a facciata (Lf) (m)	Lunghezza a cuneo (Lr) (m)	Lunghezza a efficace (Le) (m)	Lunghezza a totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Tensione rinforzo (kg/m <sup>2</sup> )
1	0.0	0.38	(8) Striscia 50x4	---	---	0.2	5.8	6	0.45	8048354
2	0.0	1.13	(8) Striscia 50x4	---	---	0.59	5.41	6	0.45	7201304
3	0.0	1.88	(8) Striscia 50x4	---	---	0.98	5.02	6	0.45	6354250
4	0.0	2.63	(8) Striscia 50x4	---	---	1.37	4.63	6	0.45	5507184
5	0.0	3.38	(8) Striscia 50x4	---	---	1.76	4.24	6	0.45	4660083
6	0.0	4.13	(8) Striscia 50x4	---	---	2.15	3.85	6	0.45	3812921
7	0.0	4.88	(8) Striscia 50x4	---	---	2.54	3.46	6	0.45	2965672
8	0.0	5.63	(8) Striscia 50x4	---	---	2.93	3.07	6	0.45	2118314
9	0.0	6.38	(8) Striscia 50x4	---	---	3.32	2.68	6	0.225	635421.9
10	0.0	7.13	(8) Striscia 50x4	---	---	3.71	2.29	6	0.225	211644.7

Tabella 12.5

### VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per (xr1,yr1) = (6.0/0.0) m

Piano di rottura passante per (xr2,yr2) = (6.0/7.5) m

Centro di rotazione (xro,yro) = (0.0/0.0) m

#### Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato;

Qf Quota finale strato

Gamma Peso unità di volume (Kg/m<sup>3</sup>);

Eps Inclinazione dello strato (°);

Fi Angolo di resistenza a taglio;

Delta Angolo di attrito terra muro (°);

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA – CALCOLO TIPOLOGICO		Codice documento CZ0483_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

c Coesione (kg/m<sup>2</sup>);  
 $\beta$  Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	$\beta$
7.5	0.0	1900.0	0.0	35.0	23.0	0.0	0.0

#### Coefficienti di spinta ed inclinazioni

$\mu$  Angolo di direzione della spinta  
Ka Coefficiente di spinta attiva,  
Kd Coefficiente di spinta dinamica,  
Dk Coefficiente di incremento dinamico,

$\mu$	Ka	Kd	Dk
67.00	0.24	0.24	0.0

#### Spinte risultanti e punto di applicazione

Fx Forza in direzione x (Kg);  
Fy Forza in direzione y (Kg);  
Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (m);

Fx	Fy	Z(Rpx)	Z(Rpy)
Spinta attiva	12023.35	5103.61	7.5
Spinta incremento sismico	0.0	0.0	7.5
Spinta statica sovraccarico	0.0	0.0	7.5
Spinta incr. sismico sovraccarico	0.0	7500.0	0.0
Peso muro	0.0	85500.0	7.5

Momento stabilizzante 383210.2 Kgm  
Momento ribaltante 39075.89 Kgm

#### Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	15630.35	Kg
Sommatoria forze verticali	117784.7	Kg
Coefficiente di attrito	0.53	
Adesione	0.0	kg/m <sup>2</sup>
Angolo piano di scorrimento	357.0	°
Forze normali al piano di scorrimento	118441.3	Kg
Forze parall. al piano di scorrimento	9444.56	Kg
<b>Coeff. sicurezza traslazione Csd</b>	<b>6.67</b>	
<b>Traslazione verificata Csd &gt; 1</b>		

#### Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	383210.2	Kgm
Momento ribaltante	39075.89	Kgm
<b>Coeff. sicurezza ribaltamento Csv</b>	<b>9.81</b>	
<b>Muro verificato a ribaltamento Csv &gt; 1</b>		

#### Carico limite - Metodo di Vesic (1973)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA – CALCOLO TIPOLOGICO		Codice documento CZ0483_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

Somma forze in direzione x	15630.35 Kg
Somma forze in direzione y (Fy)	117784.7 Kg
Somma momenti	-344134.3 Kgm
Larghezza fondazione	6.0 m
Lunghezza	1.0 m
Eccentricità su B	0.08 m
Peso unità di volume	1800.0 Kg/m³
Angolo di resistenza al taglio	28.0 °
Coesione	0.0 kg/m²
Terreno sulla fondazione	0.85 m
Peso terreno sul piano di posa	1800.0 Kg/m³
Nq	14.72
Nc	25.8
Ng	16.72
sq	1.09
sc	1.1
sg	0.93
iq	0.85
ic	0.84
ig	0.74
Carico limite verticale (Qlim)	474526.1 Kg
<b>Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)</b>	<b>4.03</b>
<b>Carico limite verificato Csq&gt;1</b>	

### Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	2.92 m
Larghezza della fondazione	6.0 m

x = 0.0	Tensione... 21167.41 kg/m²
x = 6.0	Tensione... 18094.15 kg/m²

### Combinazione 2(A2+M2)

#### Posizione rinforzi

Nr.	X (m)	y (m)	Tipo	Lunghezza a ripiegatura (m)	Lunghezza a facciata (Lf) (m)	Lunghezza a cuneo (Lr) (m)	Lunghezza a efficace (Le) (m)	Lunghezza a totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Tensione rinforzo (kg/m²)
1	0.0	0.38	(8) Striscia 50x4	---	---	0.22	5.78	6	0.45	7846219
2	0.0	1.13	(8) Striscia 50x4	---	---	0.66	5.34	6	0.45	7020425
3	0.0	1.88	(8) Striscia 50x4	---	---	1.1	4.9	6	0.45	6194630
4	0.0	2.63	(8) Striscia 50x4	---	---	1.54	4.46	6	0.45	5368824
5	0.0	3.38	(8) Striscia 50x4	---	---	1.98	4.02	6	0.45	4542988
6	0.0	4.13	(8) Striscia 50x4	---	---	2.42	3.58	6	0.45	3717100

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

7	0.0	4.88	(8) Striscia 50x4	---	---	2.86	3.14	6	0.45	2891135
8	0.0	5.63	(8) Striscia 50x4	---	---	3.3	2.7	6	0.45	2065076
9	0.0	6.38	(8) Striscia 50x4	---	---	3.74	2.26	6	0.225	619460.4
10	0.0	7.13	(8) Striscia 50x4	---	---	4.18	1.82	6	0.225	206345.9

Tabella 12.6

### VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per (xr1,yr1) = (6.0/0.0) m

Piano di rottura passante per (xr2,yr2) = (6.0/7.5) m

Centro di rotazione (xro,yro) = (0.0/0.0) m

#### Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato;

Qf Quota finale strato

Gamma Peso unità di volume (Kg/m<sup>3</sup>);

Eps Inclinazione dello strato (°);

Fi Angolo di resistenza a taglio;

Delta Angolo di attrito terra muro (°);

c Coesione (kg/m<sup>2</sup>);

β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β
7.5	0.0	1900.0	0.0	35.0	23.0	0.0	0.0

#### Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ Angolo di direzione della spinta

Ka Coefficiente di spinta attiva,

Kd Coefficiente di spinta dinamica,

Dk Coefficiente di incremento dinamico,

μ	Ka	Kd	Dk
67.00	0.24	0.24	0.0

#### Spinte risultanti e punto di applicazione

Fx Forza in direzione x (Kg);

Fy Forza in direzione y (Kg);

Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (m);

	Fx	Fy	Z(Rpx)	Z(Rpy)
Spinta attiva	12023.35	5103.61	7.5	7.5
Spinta incremento sismico	0.0	0.0	7.5	2.5
Spinta statica sovraccarico	0.0	0.0	7.5	7.5

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Spinta incr. sismico sovraccarico	0.0	7500.0	0.0	3.75
Peso muro	0.0	85500.0	7.5	7.5

Momento stabilizzante	294777.1 Kgm
Momento ribaltante	30058.38 Kgm

#### Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	12023.35 Kg	
Sommatoria forze verticali	90603.61 Kg	
Coefficiente di attrito	0.53	
Adesione	0.0	kg/m <sup>2</sup>
Angolo piano di scorrimento	357.0 °	
Forze normali al piano di scorrimento	91108.7 Kg	
Forze parall. al piano di scorrimento	7265.05 Kg	
<b>Coeff. sicurezza traslazione Csd</b>	<b>6.67</b>	

**Traslazione verificata Csd>1**

#### Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	294777.1 Kgm
Momento ribaltante	30058.38 Kgm
<b>Coeff. sicurezza ribaltamento Csv</b>	<b>9.81</b>

**Muro verificato a ribaltamento Csv>1**

#### Carico limite - Metodo di Vesic (1973)

Somma forze in direzione x	12023.35 Kg
Somma forze in direzione y (Fy)	90603.61 Kg
Somma momenti	-264718.7 Kgm
Larghezza fondazione	6.0 m
Lunghezza	1.0 m
Eccentricità su B	0.08 m
Peso unità di volume	1800.0 Kg/m <sup>3</sup>
Angolo di resistenza al taglio	28.0 °
Coesione	0.0 kg/m <sup>2</sup>
Terreno sulla fondazione	0.85 m
Peso terreno sul piano di posa	1800.0 Kg/m <sup>3</sup>
Nq	14.72
Nc	25.8
Ng	16.72
sq	1.09
sc	1.1
sg	0.93
iq	0.85
ic	0.84
ig	0.74
Carico limite verticale (Qlim)	474526.2 Kg
<b>Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)</b>	<b>5.24</b>

**Carico limite verificato Csq>1**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0

### Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione                      2.92 m  
Larghezza della fondazione                            6.0 m

x = 0.0    Tensione... 16282.62 kg/m<sup>2</sup>  
x = 6.0    Tensione... 13918.58 kg/m<sup>2</sup>

## 12.2 Carichi variabili in posizione eccentrica 1

### Geometria

Nr.	X (m)	Y (m)
1	0.0	0.0
2	0.0	7.5
3	6.0	7.5

### Terreno rinforzo

-----  
Peso unità di volume                      1900.0 Kg/m<sup>3</sup>  
Peso unità di volume saturo              2000.0 Kg/m<sup>3</sup>  
Angolo di resistenza a taglio            35.0 °  
Coesione    0.0 kg/m<sup>2</sup>  
Angolo attrito terreno rinforzo        23.0 °  
-----

### Terreno riempimento

-----  
Peso unità di volume                      1900.0 Kg/m<sup>3</sup>  
Peso unità di volume saturo              2000.0 Kg/m<sup>3</sup>  
Angolo di resistenza a taglio            35.0 °  
Coesione    0.0 kg/m<sup>2</sup>  
Angolo inclinazione spinta              23.0 °  
-----

### Terreno fondazione

-----  
Peso unità di volume                      1800.0 Kg/m<sup>3</sup>  
Peso unità di volume saturo              1900.0 Kg/m<sup>3</sup>  
Angolo di resistenza a taglio            28.0 °  
Coesione    0.0 kg/m<sup>2</sup>  
-----

### Posizione rinforzi

Nr.	X (m)	y (m)	Tipo	Lunghezza a ripiegatura (m)	Lunghezza a facciata (Lf) (m)	Lunghezza a cuneo (Lr) (m)	Lunghezza a efficace (Le) (m)	Lunghezza a totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Tensione rinforzo (kg/m <sup>2</sup> )
1	0.0	0.38	(8) Striscia 50x4	---	---	0.2	5.8	6	0.45	6191123

**P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA**  
**– CALCOLO TIPOLOGICO**

*Codice documento*  
CZ0483\_F0

*Rev*  
F0

*Data*  
20/06/2011

2	0.0	1.13	(8) Striscia 50x4	---	---	0.59	5.41	6	0.45	5539642
3	0.0	1.88	(8) Striscia 50x4	---	---	0.98	5.02	6	0.45	4888212
4	0.0	2.63	(8) Striscia 50x4	---	---	1.37	4.63	6	0.45	4236832
5	0.0	3.38	(8) Striscia 50x4	---	---	1.76	4.24	6	0.45	3585487
6	0.0	4.13	(8) Striscia 50x4	---	---	2.15	3.85	6	0.45	2934118
7	0.0	4.88	(8) Striscia 50x4	---	---	2.54	3.46	6	0.45	2282603
8	0.0	5.63	(8) Striscia 50x4	---	---	2.93	3.07	6	0.45	1630746
9	0.0	6.38	(8) Striscia 50x4	---	---	3.32	2.68	6	0.225	489180
10	0.0	7.13	(8) Striscia 50x4	---	---	3.71	2.29	6	0.225	162718.5

**Elenco rinforzi**

Tipo	Descrizione	Struttura (mm)	Resistenza	Fattore sicurezza resistenza
8	Striscia 50x4	Strisce Larghezza, Spessore=50/4	338 N/mm <sup>2</sup>	1

**Descrizione**

Nr.	Confermare con il pulsante destro del mouse	X (m)	Y (m)	Lx (m)	Ly (m)	Q (kg/m <sup>2</sup> )
1	Ecc.1	1.75	7.75	6	4.5	5.92

**Combinazione 1(A1+M1)**

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1.00
2	Spinta terreno	1.00
3	Spinta falda	1.00
4	Spinta sismica in x	0.00
5	Spinta sismica in y	0.00
6	Resistenza sfilamento	1.00
7	Ecc.1	1.50

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali SLU
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione	1
3	Coesione non drenata	1
4	Peso unità volume	1
	Angolo attrito terreno rinforzo	

**Combinazione 2(A2+M2)**

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1.00
2	Spinta terreno	1.00
3	Spinta falda	1.00
4	Spinta sismica in x	0.00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA – CALCOLO TIPOLOGICO		Codice documento CZ0483_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

5	Spinta sismica in y	0.00
6	Resistenza sfilamento	1.00
7	Ecc.1	1.30

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali SLU
1	Tangente angolo res. taglio	1.25
2	Coesione	1.25
3	Coesione non drenata	1.4
4	Peso unità volume	1
	Angolo attrito terreno rinforzo	

Tabella 12.7

### Combinazione 1(A1+M1)

#### Posizione rinforzi

Nr.	X (m)	y (m)	Tipo	Lunghezza a ripiegatura (m)	Lunghezza a facciata (Lf) (m)	Lunghezza a cuneo (Lr) (m)	Lunghezza efficace (Le) (m)	Lunghezza a totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Tensione rinforzo (kg/m <sup>2</sup> )
1	0.0	0.38	(8) Striscia 50x4	---	---	0.2	5.8	6	0.45	6191123
2	0.0	1.13	(8) Striscia 50x4	---	---	0.59	5.41	6	0.45	5539642
3	0.0	1.88	(8) Striscia 50x4	---	---	0.98	5.02	6	0.45	4888212
4	0.0	2.63	(8) Striscia 50x4	---	---	1.37	4.63	6	0.45	4236832
5	0.0	3.38	(8) Striscia 50x4	---	---	1.76	4.24	6	0.45	3585487
6	0.0	4.13	(8) Striscia 50x4	---	---	2.15	3.85	6	0.45	2934118
7	0.0	4.88	(8) Striscia 50x4	---	---	2.54	3.46	6	0.45	2282603
8	0.0	5.63	(8) Striscia 50x4	---	---	2.93	3.07	6	0.45	1630746
9	0.0	6.38	(8) Striscia 50x4	---	---	3.32	2.68	6	0.225	489180
10	0.0	7.13	(8) Striscia 50x4	---	---	3.71	2.29	6	0.225	162718.5

Tabella 12.8

### VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per (xr1,yr1) = (6.0/0.0) m

Piano di rottura passante per (xr2,yr2) = (6.0/7.5) m

Centro di rotazione (xro,yro) = (0.0/0.0) m

#### Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato;

Qf Quota finale strato

Gamma Peso unità di volume (Kg/m<sup>3</sup>);

Eps Inclinazione dello strato (°);

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA – CALCOLO TIPOLOGICO		Codice documento CZ0483_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

Fi Angolo di resistenza a taglio;  
 Delta Angolo di attrito terra muro (°);  
 c Coesione (kg/m<sup>2</sup>);  
 β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β
7.5	0.0	1900.0	0.0	35.0	23.0	0.0	0.0

#### Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ Angolo di direzione della spinta  
 Ka Coefficiente di spinta attiva,  
 Kd Coefficiente di spinta dinamica,  
 Dk Coefficiente di incremento dinamico,

μ	Ka	Kd	Dk
67.00	0.24	0.24	0.0

#### Spinte risultanti e punto di applicazione

Fx Forza in direzione x (Kg);  
 Fy Forza in direzione y (Kg);  
 Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (m);

Fx	Fy	Z(Rpx)	Z(Rpy)
Spinta attiva	12023.35	5103.61	7.5
Spinta incremento sismico	0.0	0.0	7.5
Spinta statica sovraccarico	0.0	0.0	7.5
Spinta incr. sismico sovraccarico	0.0	7500.0	0.0
Peso muro	0.0	85500.0	7.5

Momento stabilizzante 294777.1 Kgm  
 Momento ribaltante 30058.38 Kgm

#### Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	12023.35	Kg
Sommatoria forze verticali	90603.61	Kg
Coefficiente di attrito	0.53	
Adesione	0.0	kg/m <sup>2</sup>
Angolo piano di scorrimento	357.0	°
Forze normali al piano di scorrimento	91108.7	Kg
Forze parall. al piano di scorrimento	7265.05	Kg
<b>Coeff. sicurezza traslazione Csd</b>	<b>6.67</b>	

**Traslazione verificata Csd>1**

#### Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	294777.1	Kgm
Momento ribaltante	30058.38	Kgm
<b>Coeff. sicurezza ribaltamento Csv</b>	<b>9.81</b>	

**Muro verificato a ribaltamento Csv>1**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA – CALCOLO TIPOLOGICO		Codice documento CZ0483_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

### Carico limite - Metodo di Vesic (1973)

Somma forze in direzione x	12023.35 Kg
Somma forze in direzione y (Fy)	90603.61 Kg
Somma momenti	-264718.7 Kgm
Larghezza fondazione	6.0 m
Lunghezza	1.0 m
Eccentricità su B	0.08 m
Peso unità di volume	1800.0 Kg/m <sup>3</sup>
Angolo di resistenza al taglio	28.0 °
Coesione	0.0 kg/m <sup>2</sup>
Terreno sulla fondazione	0.85 m
Peso terreno sul piano di posa	1800.0 Kg/m <sup>3</sup>
Nq	14.72
Nc	25.8
Ng	16.72
sq	1.09
sc	1.1
sg	0.93
iq	0.85
ic	0.84
ig	0.74
Carico limite verticale (Qlim)	474526.2 Kg
<b>Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)</b>	<b>5.24</b>
<b>Carico limite verificato Csq&gt;1</b>	

### Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	2.92 m
Larghezza della fondazione	6.0 m

x = 0.0	Tensione...	16282.62 kg/m <sup>2</sup>
x = 6.0	Tensione...	13918.58 kg/m <sup>2</sup>

### Combinazione 2(A2+M2)

Posizione rinforzi

Nr.	X (m)	Y (m)	Tipo	Lunghezza a ripiegatura (m)	Lunghezza a facciata (Lf) (m)	Lunghezza a cuneo (Lr) (m)	Lunghezza a efficace (Le) (m)	Lunghezza a totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Tensione rinforzo (kg/m <sup>2</sup> )
1	0.0	0.38	(8) Striscia 50x4	---	---	0.22	5.78	6	0.45	7846182
2	0.0	1.13	(8) Striscia 50x4	---	---	0.66	5.34	6	0.45	7020457
3	0.0	1.88	(8) Striscia 50x4	---	---	1.1	4.9	6	0.45	6194773
4	0.0	2.63	(8) Striscia 50x4	---	---	1.54	4.46	6	0.45	5369135
5	0.0	3.38	(8) Striscia	---	---	1.98	4.02	6	0.45	4543525

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

			50x4							
6	0.0	4.13	(8) Striscia 50x4	---	---	2.42	3.58	6	0.45	3717896
7	0.0	4.88	(8) Striscia 50x4	---	---	2.86	3.14	6	0.45	2892140
8	0.0	5.63	(8) Striscia 50x4	---	---	3.3	2.7	6	0.45	2066088
9	0.0	6.38	(8) Striscia 50x4	---	---	3.74	2.26	6	0.225	619788.4
10	0.0	7.13	(8) Striscia 50x4	---	---	4.18	1.82	6	0.225	206300.1

Tabella 12.9

### VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per (xr1,yr1) = (6.0/0.0) m

Piano di rottura passante per (xr2,yr2) = (6.0/7.5) m

Centro di rotazione (xro,yro) = (0.0/0.0) m

#### Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato;

Qf Quota finale strato

Gamma Peso unità di volume (Kg/m<sup>3</sup>);

Eps Inclinazione dello strato (°);

Fi Angolo di resistenza a taglio;

Delta Angolo di attrito terra muro (°);

c Coesione (kg/m<sup>2</sup>);

β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β
7.5	0.0	1900.0	0.0	35.0	23.0	0.0	0.0

#### Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ Angolo di direzione della spinta

Ka Coefficiente di spinta attiva,

Kd Coefficiente di spinta dinamica,

Dk Coefficiente di incremento dinamico,

μ	Ka	Kd	Dk
67.00	0.24	0.24	0.0

#### Spinte risultanti e punto di applicazione

Fx Forza in direzione x (Kg);

Fy Forza in direzione y (Kg);

Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (m);

Fx	Fy	Z(Rpx)	Z(Rpy)
Spinta attiva	12023.35	5103.61	7.5

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Spinta incremento sismico	0.0	0.0	7.5	2.5
Spinta statica sovraccarico	0.0	0.0	7.5	7.5
Spinta incr. sismico sovraccarico	0.0	7500.0	0.0	3.75
Peso muro	0.0	85500.0	7.5	7.5

Momento stabilizzante                    294777.1 Kgm  
Momento ribaltante                        30058.38 Kgm

#### Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	12023.35	Kg		
Sommatoria forze verticali	90603.61	Kg		
Coefficiente di attrito	0.53			
Adesione	0.0		kg/m <sup>2</sup>	
Angolo piano di scorrimento	357.0	°		
Forze normali al piano di scorrimento	91108.7	Kg		
Forze parall. al piano di scorrimento	7265.05	Kg		
<b>Coeff. sicurezza traslazione Csd</b>	<b>6.67</b>			
<b>Traslazione verificata Csd&gt;1</b>				

#### Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	294777.1	Kgm		
Momento ribaltante	30058.38	Kgm		
<b>Coeff. sicurezza ribaltamento Csv</b>	<b>9.81</b>			
<b>Muro verificato a ribaltamento Csv&gt;1</b>				

#### Carico limite - Metodo di Vesic (1973)

Somma forze in direzione x	12023.35	Kg		
Somma forze in direzione y (Fy)	90603.61	Kg		
Somma momenti	-264718.7	Kgm		
Larghezza fondazione	6.0	m		
Lunghezza	1.0	m		
Eccentricità su B	0.08	m		
Peso unità di volume	1800.0	Kg/m <sup>3</sup>		
Angolo di resistenza al taglio	28.0	°		
Coesione	0.0	kg/m <sup>2</sup>		
Terreno sulla fondazione	0.85	m		
Peso terreno sul piano di posa	1800.0	Kg/m <sup>3</sup>		
Nq	14.72			
Nc	25.8			
Ng	16.72			
sq	1.09			
sc	1.1			
sg	0.93			
iq	0.85			
ic	0.84			
ig	0.74			
Carico limite verticale (Qlim)	474526.2	Kg		
<b>Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)</b>	<b>5.24</b>			
<b>Carico limite verificato Csq&gt;1</b>				

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA – CALCOLO TIPOLOGICO		Codice documento CZ0483_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

### Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione                      2.92 m  
Larghezza della fondazione                            6.0 m

x = 0.0    Tensione... 16282.62 kg/m<sup>2</sup>  
x = 6.0    Tensione... 13918.58 kg/m<sup>2</sup>

### 12.3 Carichi variabili in posizine eccentrica 2

#### Geometria

Nr.	X (m)	Y (m)
1	0.0	0.0
2	0.0	7.5
3	6.0	7.5

#### Terreno rinforzo

Peso unità di volume                      1900.0 Kg/m<sup>3</sup>  
Peso unità di volume saturo                2000.0 Kg/m<sup>3</sup>  
Angolo di resistenza a taglio                35.0 °  
Coesione                                        0.0 kg/m<sup>2</sup>  
Angolo attrito terreno rinforzo                23.0 °

#### Terreno riempimento

Peso unità di volume                      1900.0 Kg/m<sup>3</sup>  
Peso unità di volume saturo                2000.0 Kg/m<sup>3</sup>  
Angolo di resistenza a taglio                35.0 °  
Coesione                                        0.0 kg/m<sup>2</sup>  
Angolo inclinazione spinta                    23.0 °

#### Terreno fondazione

Peso unità di volume                      1800.0 Kg/m<sup>3</sup>  
Peso unità di volume saturo                1900.0 Kg/m<sup>3</sup>  
Angolo di resistenza a taglio                28.0 °  
Coesione                                        0.0 kg/m<sup>2</sup>

#### Posizione rinforzi

Nr.	X (m)	Y (m)	Tipo	Lunghezza a ripiegatura (m)	Lunghezza a facciata (Lf) (m)	Lunghezza a cuneo (Lr) (m)	Lunghezza a efficace (Le) (m)	Lunghezza a totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Tensione rinforzo (kg/m <sup>2</sup> )
1	0.0	0.38	(8) Striscia 50x4	---	---	0.2	5.8	6	0.45	8048241
2	0.0	1.13	(8)	---	---	0.59	5.41	6	0.45	7201128

**P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA**  
**– CALCOLO TIPOLOGICO**

*Codice documento*  
CZ0483\_F0

*Rev*  
F0

*Data*  
20/06/2011

			Striscia 50x4 (8)	---	---	0.98	5.02	6	0.45	6354005
3	0.0	1.88	Striscia 50x4 (8)	---	---	1.37	4.63	6	0.45	5506863
4	0.0	2.63	Striscia 50x4 (8)	---	---	1.76	4.24	6	0.45	4659697
5	0.0	3.38	Striscia 50x4 (8)	---	---	2.15	3.85	6	0.45	3812500
6	0.0	4.13	Striscia 50x4 (8)	---	---	2.54	3.46	6	0.45	2965268
7	0.0	4.88	Striscia 50x4 (8)	---	---	2.93	3.07	6	0.45	2118001
8	0.0	5.63	Striscia 50x4 (8)	---	---	3.32	2.68	6	0.225	635350.9
9	0.0	6.38	Striscia 50x4 (8)	---	---	3.71	2.29	6	0.225	211690.8
10	0.0	7.13	Striscia 50x4 (8)	---	---					

#### Elenco rinforzi

Tipo	Descrizione	Struttura (mm)	Resistenza	Fattore sicurezza resistenza
8	Striscia 50x4	Strisce Larghezza, Spessore=50/4	338 N/mm <sup>2</sup>	1

#### Descrizione

Nr.	Confermare con il pulsante destro del mouse	X (m)	Y (m)	Lx (m)	Ly (m)	Q (kg/m <sup>2</sup> )
1	Ecc.1	6.55	7.5	6	4.5	5.92

#### Combinazione 1(A1+M1)

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1.30
2	Spinta terreno	1.30
3	Spinta falda	1.30
4	Spinta sismica in x	0.00
5	Spinta sismica in y	0.00
6	Resistenza sfilamento	1.00
7	Ecc.1	1.50

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali SLU
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione	1
3	Coesione non drenata	1
4	Peso unità volume	1
	Angolo attrito terreno rinforzo	

#### Combinazione 2(A2+M2)

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1.00
2	Spinta terreno	1.00
3	Spinta falda	1.00
4	Spinta sismica in x	0.00
5	Spinta sismica in y	0.00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA – CALCOLO TIPOLOGICO		Codice documento CZ0483_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

6	Resistenza sfilamento	1.00
7	Ecc.1	1.30

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali SLU
1	Tangente angolo res. taglio	1.25
2	Coesione	1.25
3	Coesione non drenata	1.4
4	Peso unità volume	1
	Angolo attrito terreno rinforzo	

Tabella 12.10

### Combinazione 1(A1+M1)

#### Posizione rinforzi

Nr.	X (m)	y (m)	Tipo	Lunghezza a ripiegatura (m)	Lunghezza a facciata (Lf) (m)	Lunghezza a cuneo (Lr) (m)	Lunghezza a efficace (Le) (m)	Lunghezza a totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Tensione rinforzo (kg/m <sup>2</sup> )
1	0.0	0.38	(8) Striscia 50x4	---	---	0.2	5.8	6	0.45	8048241
2	0.0	1.13	(8) Striscia 50x4	---	---	0.59	5.41	6	0.45	7201128
3	0.0	1.88	(8) Striscia 50x4	---	---	0.98	5.02	6	0.45	6354005
4	0.0	2.63	(8) Striscia 50x4	---	---	1.37	4.63	6	0.45	5506863
5	0.0	3.38	(8) Striscia 50x4	---	---	1.76	4.24	6	0.45	4659697
6	0.0	4.13	(8) Striscia 50x4	---	---	2.15	3.85	6	0.45	3812500
7	0.0	4.88	(8) Striscia 50x4	---	---	2.54	3.46	6	0.45	2965268
8	0.0	5.63	(8) Striscia 50x4	---	---	2.93	3.07	6	0.45	2118001
9	0.0	6.38	(8) Striscia 50x4	---	---	3.32	2.68	6	0.225	635350.9
10	0.0	7.13	(8) Striscia 50x4	---	---	3.71	2.29	6	0.225	211690.8

Tabella 12.11

### VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per (xr1,yr1) = (6.0/0.0) m

Piano di rottura passante per (xr2,yr2) = (6.0/7.5) m

Centro di rotazione (xro,yro) = (0.0/0.0) m

#### Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato;

Qf Quota finale strato

Gamma Peso unità di volume (Kg/m<sup>3</sup>);

Eps Inclinazione dello strato (°);

Fi Angolo di resistenza a taglio;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA – CALCOLO TIPOLOGICO		Codice documento CZ0483_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

Delta Angolo di attrito terra muro (°);  
c Coesione (kg/m<sup>2</sup>);  
β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β
7.5	0.0	1900.0	0.0	35.0	23.0	0.0	0.0

### Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ Angolo di direzione della spinta  
Ka Coefficiente di spinta attiva,  
Kd Coefficiente di spinta dinamica,  
Dk Coefficiente di incremento dinamico,

μ	Ka	Kd	Dk
67.00	0.24	0.24	0.0

### Spinte risultanti e punto di applicazione

Fx Forza in direzione x (Kg);  
Fy Forza in direzione y (Kg);  
Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (m);

Fx	Fy	Z(Rpx)	Z(Rpy)
Spinta attiva	12023.35	5103.61	7.5
Spinta incremento sismico	0.0	0.0	7.5
Spinta statica sovraccarico	74.92	31.8	7.5
Spinta incr. sismico sovraccarico-74.92	7500.0	0.0	3.75
Peso muro	0.0	85500.0	7.5

Momento stabilizzante 383568.0 Kgm  
Momento ribaltante 39356.85 Kgm

### Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali 15742.74 Kg  
Sommatoria forze verticali 117832.4 Kg  
Coefficiente di attrito 0.53  
Adesione 0.0 kg/m<sup>2</sup>  
Angolo piano di scorrimento 357.0 °  
Forze normali al piano di scorrimento 118494.8 Kg  
Forze parall. al piano di scorrimento 9554.29 Kg  
**Coeff. sicurezza traslazione Csd 6.59**  
**Traslazione verificata Csd>1**

### Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante 383568.0 Kgm  
Momento ribaltante 39356.85 Kgm  
**Coeff. sicurezza ribaltamento Csv 9.75**  
**Muro verificato a ribaltamento Csv>1**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA – CALCOLO TIPOLOGICO		Codice documento CZ0483_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

### Carico limite - Metodo di Vesic (1973)

Somma forze in direzione x	15742.74 Kg
Somma forze in direzione y (Fy)	117832.4 Kg
Somma momenti	-344211.1 Kgm
Larghezza fondazione	6.0 m
Lunghezza	1.0 m
Eccentricità su B	0.08 m
Peso unità di volume	1800.0 Kg/m <sup>3</sup>
Angolo di resistenza al taglio	28.0 °
Coesione	0.0 kg/m <sup>2</sup>
Terreno sulla fondazione	0.85 m
Peso terreno sul piano di posa	1800.0 Kg/m <sup>3</sup>
Nq	14.72
Nc	25.8
Ng	16.72
sq	1.09
sc	1.1
sg	0.93
iq	0.85
ic	0.84
ig	0.74
Carico limite verticale (Qlim)	473442.0 Kg
<b>Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)</b>	<b>4.02</b>
<b>Carico limite verificato Csq&gt;1</b>	

### Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	2.92 m
Larghezza della fondazione	6.0 m

x = 0.0	Tensione... 21186.41 kg/m <sup>2</sup>
x = 6.0	Tensione... 18091.06 kg/m <sup>2</sup>

### Combinazione 2(A2+M2)

#### Posizione rinforzi

Nr.	X (m)	Y (m)	Tipo	Lunghezza a ripiegatura (m)	Lunghezza a facciata (Lf) (m)	Lunghezza a cuneo (Lr) (m)	Lunghezza a efficace (Le) (m)	Lunghezza a totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Tensione rinforzo (kg/m <sup>2</sup> )
1	0.0	0.38	(8) Striscia 50x4	---	---	0.22	5.78	6	0.45	7846120
2	0.0	1.13	(8) Striscia 50x4	---	---	0.66	5.34	6	0.45	7020273
3	0.0	1.88	(8) Striscia 50x4	---	---	1.1	4.9	6	0.45	6194418
4	0.0	2.63	(8) Striscia 50x4	---	---	1.54	4.46	6	0.45	5368546
5	0.0	3.38	(8) Striscia 50x4	---	---	1.98	4.02	6	0.45	4542654
6	0.0	4.13	(8)	---	---	2.42	3.58	6	0.45	3716735

			Striscia 50x4 (8)								
7	0.0	4.88	Striscia 50x4 (8)	---	---	2.86	3.14	6	0.45	2890785	
8	0.0	5.63	Striscia 50x4 (8)	---	---	3.3	2.7	6	0.45	2064805	
9	0.0	6.38	Striscia 50x4 (8)	---	---	3.74	2.26	6	0.225	619398.8	
10	0.0	7.13	Striscia 50x4 (8)	---	---	4.18	1.82	6	0.225	206385.8	

Tabella 12.12

### VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per  $(x_{r1}, y_{r1}) = (6.0/0.0)$  m

Piano di rottura passante per  $(x_{r2}, y_{r2}) = (6.0/7.5)$  m

Centro di rotazione  $(x_{ro}, y_{ro}) = (0.0/0.0)$  m

#### Discretizzazione terreno

Q<sub>i</sub> Quota iniziale strato;

Q<sub>f</sub> Quota finale strato

Gamma Peso unità di volume (Kg/m<sup>3</sup>);

Eps Inclinazione dello strato (°);

Fi Angolo di resistenza a taglio;

Delta Angolo di attrito terra muro (°);

c Coesione (kg/m<sup>2</sup>);

β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);

Q <sub>i</sub>	Q <sub>f</sub>	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β
7.5	0.0	1900.0	0.0	35.0	23.0	0.0	0.0

#### Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ Angolo di direzione della spinta

K<sub>a</sub> Coefficiente di spinta attiva,

K<sub>d</sub> Coefficiente di spinta dinamica,

D<sub>k</sub> Coefficiente di incremento dinamico,

μ	K <sub>a</sub>	K <sub>d</sub>	D <sub>k</sub>
67.00	0.24	0.24	0.0

#### Spinte risultanti e punto di applicazione

F<sub>x</sub> Forza in direzione x (Kg);

F<sub>y</sub> Forza in direzione y (Kg);

Z(R<sub>py</sub>) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (m);

F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	Z(R <sub>px</sub> )	Z(R <sub>py</sub> )
Spinta attiva	12023.35	5103.61	7.5
Spinta incremento sismico	0.0	0.0	7.5
			2.5

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA – CALCOLO TIPOLOGICO		Codice documento CZ0483_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

Spinta statica sovraccarico	74.92	31.8	7.5	7.5
Spinta incr. sismico sovraccarico-74.92		7500.0	0.0	3.75
Peso muro	0.0	85500.0	7.5	7.5

Momento stabilizzante	295087.2 Kgm
Momento ribaltante	30301.88 Kgm

#### Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	12120.75 Kg		
Sommatoria forze verticali	90644.95 Kg		
Coefficiente di attrito	0.53		
Adesione	0.0	kg/m <sup>2</sup>	
Angolo piano di scorrimento	357.0 °		
Forze normali al piano di scorrimento	91155.08 Kg		
Forze parall. al piano di scorrimento	7360.15 Kg		
<b>Coeff. sicurezza traslazione Csd</b>	<b>6.59</b>		

**Traslazione verificata Csd>1**

#### Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	295087.2 Kgm
Momento ribaltante	30301.88 Kgm
<b>Coeff. sicurezza ribaltamento Csv</b>	<b>9.74</b>

**Muro verificato a ribaltamento Csv>1**

#### Carico limite - Metodo di Vesic (1973)

Somma forze in direzione x	12120.75 Kg
Somma forze in direzione y (Fy)	90644.95 Kg
Somma momenti	-264785.3 Kgm
Larghezza fondazione	6.0 m
Lunghezza	1.0 m
Eccentricità su B	0.08 m
Peso unità di volume	1800.0 Kg/m <sup>3</sup>
Angolo di resistenza al taglio	28.0 °
Coesione	0.0 kg/m <sup>2</sup>
Terreno sulla fondazione	0.85 m
Peso terreno sul piano di posa	1800.0 Kg/m <sup>3</sup>
Nq	14.72
Nc	25.8
Ng	16.72
sq	1.09
sc	1.1
sg	0.93
iq	0.85
ic	0.84
ig	0.73
Carico limite verticale (Qlim)	473304.9 Kg
<b>Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)</b>	<b>5.22</b>

**Carico limite verificato Csq>1**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione                      2.92 m  
Larghezza della fondazione                            6.0 m

x = 0.0    Tensione... 16299.09 kg/m<sup>2</sup>  
x = 6.0    Tensione... 13915.9 kg/m<sup>2</sup>

## 12.4 Verifica sismica

### Descrizione

Acc. sismica orizzontale    0.108  
Coef. amplificazione topografica (ST)    1  
Categoria profilo stratigrafico (S)    1.25  
Incremento delle pressioni neutre    0  
Coefficiente azione sismica orizzontale    0.031  
Coefficiente azione sismica orizzontale    0.016

### Geometria

Nr.	X (m)	Y (m)
1	0.0	0.0
2	0.0	7.5
3	6.0	7.5

### Terreno rinforzo

-----  
Peso unità di volume    1900.0 Kg/m<sup>3</sup>  
Peso unità di volume saturo    2000.0 Kg/m<sup>3</sup>  
Angolo di resistenza a taglio    35.0 °  
Coesione    0.0 kg/m<sup>2</sup>  
Angolo attrito terreno rinforzo    23.0 °  
-----

### Terreno riempimento

-----  
Peso unità di volume    1900.0 Kg/m<sup>3</sup>  
Peso unità di volume saturo    2000.0 Kg/m<sup>3</sup>  
Angolo di resistenza a taglio    35.0 °  
Coesione    0.0 kg/m<sup>2</sup>  
Angolo inclinazione spinta    23.0 °  
-----

### Terreno fondazione

-----  
Peso unità di volume    1800.0 Kg/m<sup>3</sup>  
Peso unità di volume saturo    1900.0 Kg/m<sup>3</sup>  
Angolo di resistenza a taglio    28.0 °  
Coesione    0.0 kg/m<sup>2</sup>  
-----

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0

-----

**Posizione rinforzi**

Nr.	X (m)	y (m)	Tipo	Lunghezza ripiegatura (m)	Lunghezza facciata (Lf) (m)	Lunghezza a cuneo (Lr) (m)	Lunghezza efficace (Le) (m)	Lunghezza totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Tensione rinforzo (kg/m <sup>2</sup> )
1	0.0	0.38	(8) Striscia 50x4	---	---	0.2	5.8	6	0.45	6575402
2	0.0	1.13	(8) Striscia 50x4	---	---	0.59	5.41	6	0.45	5883253
3	0.0	1.88	(8) Striscia 50x4	---	---	0.98	5.02	6	0.45	5191106
4	0.0	2.63	(8) Striscia 50x4	---	---	1.37	4.63	6	0.45	4498960
5	0.0	3.38	(8) Striscia 50x4	---	---	1.76	4.24	6	0.45	3806811
6	0.0	4.13	(8) Striscia 50x4	---	---	2.15	3.85	6	0.45	3114664
7	0.0	4.88	(8) Striscia 50x4	---	---	2.54	3.46	6	0.45	2422516
8	0.0	5.63	(8) Striscia 50x4	---	---	2.93	3.07	6	0.45	1730369
9	0.0	6.38	(8) Striscia 50x4	---	---	3.32	2.68	6	0.225	519110.6
10	0.0	7.13	(8) Striscia 50x4	---	---	3.71	2.29	6	0.225	173036.9

**Elenco rinforzi**

Tipo	Descrizione	Struttura (mm)	Resistenza	Fattore sicurezza resistenza
8	Striscia 50x4	Strisce Larghezza, Spessore=50/4	338 N/mm <sup>2</sup>	1

**Combinazione 1(A1+M1)**

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1.00
2	Spinta terreno	1.00
3	Spinta falda	1.00
4	Spinta sismica in x	1.00
5	Spinta sismica in y	1.00
6	Resistenza sfilamento	1.00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali SLU
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione	1
3	Coesione non drenata	1
4	Peso unità volume	1
	Angolo attrito terreno rinforzo	

**Combinazione 2(A2+M2)**

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1.00
2	Spinta terreno	1.00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA – CALCOLO TIPOLOGICO		Codice documento CZ0483_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

3	Spinta falda	1.00
4	Spinta sismica in x	1.00
5	Spinta sismica in y	1.00
6	Resistenza sfilamento	1.00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali SLU
1	Tangente angolo res. taglio	1.25
2	Coesione	1.25
3	Coesione non drenata	1.4
4	Peso unità volume	1
	Angolo attrito terreno rinforzo	

Tabella 12.13

### Combinazione 1(A1+M1)

#### Posizione rinforzi

Nr.	X (m)	y (m)	Tipo	Lunghezza a ripiegatura (m)	Lunghezza a facciata (Lf) (m)	Lunghezza a cuneo (Lr) (m)	Lunghezza a efficace (Le) (m)	Lunghezza a totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Tensione rinforzo (kg/m <sup>2</sup> )
1	0.0	0.38	(8) Striscia 50x4	---	---	0.2	5.8	6	0.45	6575402
2	0.0	1.13	(8) Striscia 50x4	---	---	0.59	5.41	6	0.45	5883253
3	0.0	1.88	(8) Striscia 50x4	---	---	0.98	5.02	6	0.45	5191106
4	0.0	2.63	(8) Striscia 50x4	---	---	1.37	4.63	6	0.45	4498960
5	0.0	3.38	(8) Striscia 50x4	---	---	1.76	4.24	6	0.45	3806811
6	0.0	4.13	(8) Striscia 50x4	---	---	2.15	3.85	6	0.45	3114664
7	0.0	4.88	(8) Striscia 50x4	---	---	2.54	3.46	6	0.45	2422516
8	0.0	5.63	(8) Striscia 50x4	---	---	2.93	3.07	6	0.45	1730369
9	0.0	6.38	(8) Striscia 50x4	---	---	3.32	2.68	6	0.225	519110.6
10	0.0	7.13	(8) Striscia 50x4	---	---	3.71	2.29	6	0.225	173036.9

Tabella 12.14

### VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per (xr1,yr1) = (6.0/0.0) m

Piano di rottura passante per (xr2,yr2) = (6.0/7.5) m

Centro di rotazione (xro,yro) = (0.0/0.0) m

#### Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato;

Qf Quota finale strato

Gamma Peso unità di volume (Kg/m<sup>3</sup>);

Eps Inclinazione dello strato (°);

Fi Angolo di resistenza a taglio;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA – CALCOLO TIPOLOGICO		Codice documento CZ0483_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

Delta Angolo di attrito terra muro (°);  
c Coesione (kg/m<sup>2</sup>);  
β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β
7.5	0.0	1900.0	0.0	35.0	23.0	0.0	0.0

#### Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ Angolo di direzione della spinta  
Ka Coefficiente di spinta attiva,  
Kd Coefficiente di spinta dinamica,  
Dk Coefficiente di incremento dinamico,

μ	Ka	Kd	Dk
67.00	0.24	0.26	0.02

#### Spinte risultanti e punto di applicazione

Fx Forza in direzione x (Kg);  
Fy Forza in direzione y (Kg);  
Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (m);

Fx	Fy	Z(Rpx)	Z(Rpy)
Spinta attiva	12023.35	5103.61	7.5
Spinta incremento sismico	881.45	374.15	7.5
Spinta statica sovraccarico	0.0	0.0	7.5
Spinta incr. sismico sovraccarico	0.0	7500.0	0.0
Peso muro	2650.5	85500.0	7.5

Momento stabilizzante 297583.3 Kgm  
Momento ribaltante 42201.38 Kgm

#### Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali 15555.3 Kg  
Sommatoria forze verticali 90977.77 Kg  
Coefficiente di attrito 0.53  
Adesione 0.0 kg/m<sup>2</sup>  
Angolo piano di scorrimento 357.0 °  
Forze normali al piano di scorrimento 91667.19 Kg  
Forze parall. al piano di scorrimento 10772.57 Kg  
**Coeff. sicurezza traslazione Csd 4.52**  
**Traslazione verificata Csd>1**

#### Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante 297583.3 Kgm  
Momento ribaltante 42201.38 Kgm  
**Coeff. sicurezza ribaltamento Csv 7.05**  
**Muro verificato a ribaltamento Csv>1**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA – CALCOLO TIPOLOGICO		Codice documento CZ0483_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

### Carico limite - Metodo di Vesic (1973)

Somma forze in direzione x	15555.3 Kg
Somma forze in direzione y (Fy)	90977.77 Kg
Somma momenti	-255381.9 Kgm
Larghezza fondazione	6.0 m
Lunghezza	1.0 m
Eccentricità su B	0.19 m
Peso unità di volume	1800.0 Kg/m <sup>3</sup>
Angolo di resistenza al taglio	28.0 °
Coesione	0.0 kg/m <sup>2</sup>
Terreno sulla fondazione	0.85 m
Peso terreno sul piano di posa	1800.0 Kg/m <sup>3</sup>
Nq	14.72
Nc	25.8
Ng	16.72
sq	1.09
sc	1.1
sg	0.93
iq	0.81
ic	0.79
ig	0.67
Carico limite verticale (Qlim)	405768.5 Kg
<b>Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)</b>	<b>4.46</b>
<b>Carico limite verificato Csq&gt;1</b>	

### Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	2.81 m
Larghezza della fondazione	6.0 m

x = 0.0

Tensione... 18088.2 kg/m<sup>2</sup>

x = 6.0

Tensione... 12237.72 kg/m<sup>2</sup>

### Combinazione 2(A2+M2)

#### Posizione rinforzi

Nr.	X (m)	Y (m)	Tipo	Lunghezza a ripiegatura (m)	Lunghezza a facciata (Lf) (m)	Lunghezza a cuneo (Lr) (m)	Lunghezza a efficace (Le) (m)	Lunghezza a totale (Lt) (m)	Interasse (m)	Tensione rinforzo (kg/m <sup>2</sup> )
1	0.0	0.38	(8) Striscia 50x4	---	---	0.22	5.78	6	0.45	8279471
2	0.0	1.13	(8) Striscia 50x4	---	---	0.66	5.34	6	0.45	7407947
3	0.0	1.88	(8) Striscia 50x4	---	---	1.1	4.9	6	0.45	6536424
4	0.0	2.63	(8) Striscia 50x4	---	---	1.54	4.46	6	0.45	5664901
5	0.0	3.38	(8) Striscia 50x4	---	---	1.98	4.02	6	0.45	4793378
6	0.0	4.13	(8)	---	---	2.42	3.58	6	0.45	3921854

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>			
		<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>	<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

			Striscia 50x4 (8)								
7	0.0	4.88	Striscia 50x4 (8)	---	---	2.86	3.14	6	0.45	3050331	
8	0.0	5.63	Striscia 50x4 (8)	---	---	3.3	2.7	6	0.45	2178808	
9	0.0	6.38	Striscia 50x4 (8)	---	---	3.74	2.26	6	0.225	653642.4	
10	0.0	7.13	Striscia 50x4 (8)	---	---	4.18	1.82	6	0.225	217880.8	

Tabella 12.15

### VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per  $(x_{r1}, y_{r1}) = (6.0/0.0)$  m

Piano di rottura passante per  $(x_{r2}, y_{r2}) = (6.0/7.5)$  m

Centro di rotazione  $(x_{ro}, y_{ro}) = (0.0/0.0)$  m

#### Discretizzazione terreno

Q<sub>i</sub> Quota iniziale strato;

Q<sub>f</sub> Quota finale strato

Gamma Peso unità di volume (Kg/m<sup>3</sup>);

Eps Inclinazione dello strato (°);

Fi Angolo di resistenza a taglio;

Delta Angolo di attrito terra muro (°);

c Coesione (kg/m<sup>2</sup>);

β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);

Q <sub>i</sub>	Q <sub>f</sub>	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β
7.5	0.0	1900.0	0.0	35.0	23.0	0.0	0.0

#### Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ Angolo di direzione della spinta

K<sub>a</sub> Coefficiente di spinta attiva,

K<sub>d</sub> Coefficiente di spinta dinamica,

D<sub>k</sub> Coefficiente di incremento dinamico,

μ	K <sub>a</sub>	K <sub>d</sub>	D <sub>k</sub>
67.00	0.24	0.26	0.02

#### Spinte risultanti e punto di applicazione

F<sub>x</sub> Forza in direzione x (Kg);

F<sub>y</sub> Forza in direzione y (Kg);

Z(R<sub>py</sub>) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (m);

F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	Z(R <sub>px</sub> )	Z(R <sub>py</sub> )
Spinta attiva	12023.35	5103.61	7.5
Spinta incremento sismico	881.45	374.15	7.5
			2.5

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA – CALCOLO TIPOLOGICO		Codice documento CZ0483_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

Spinta statica sovraccarico	0.0	0.0	7.5	7.5
Spinta incr. sismico sovraccarico	0.0	7500.0	0.0	3.75
Peso muro	2650.5	85500.0	7.5	7.5

Momento stabilizzante	297583.3 Kgm
Momento ribaltante	42201.38 Kgm

#### Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	15555.3 Kg	
Sommatoria forze verticali	90977.77 Kg	
Coefficiente di attrito	0.53	
Adesione	0.0	kg/m <sup>2</sup>
Angolo piano di scorrimento	357.0 °	
Forze normali al piano di scorrimento	91667.19 Kg	
Forze parall. al piano di scorrimento	10772.57 Kg	
<b>Coeff. sicurezza traslazione Csd</b>	<b>4.52</b>	

**Traslazione verificata Csd>1**

#### Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	297583.3 Kgm
Momento ribaltante	42201.38 Kgm
<b>Coeff. sicurezza ribaltamento Csv</b>	<b>7.05</b>

**Muro verificato a ribaltamento Csv>1**

#### Carico limite - Metodo di Vesic (1973)

Somma forze in direzione x	15555.3 Kg
Somma forze in direzione y (Fy)	90977.77 Kg
Somma momenti	-255381.9 Kgm
Larghezza fondazione	6.0 m
Lunghezza	1.0 m
Eccentricità su B	0.19 m
Peso unità di volume	1800.0 Kg/m <sup>3</sup>
Angolo di resistenza al taglio	28.0 °
Coesione	0.0 kg/m <sup>2</sup>
Terreno sulla fondazione	0.85 m
Peso terreno sul piano di posa	1800.0 Kg/m <sup>3</sup>
Nq	14.72
Nc	25.8
Ng	16.72
sq	1.09
sc	1.1
sg	0.93
iq	0.81
ic	0.79
ig	0.67
Carico limite verticale (Qlim)	405768.5 Kg
<b>Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)</b>	<b>4.46</b>

**Carico limite verificato Csq>1**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-SN1- OPERE DI SOSTEGNO – MURI IN TA</b> <b>– CALCOLO TIPOLOGICO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0483_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### Tensioni sul terreno

---

Ascissa centro sollecitazione	2.81 m
Larghezza della fondazione	6.0 m

x = 0.0	Tensione... 18088.2 kg/m <sup>2</sup>
x = 6.0	Tensione... 12237.72 kg/m <sup>2</sup>