

# 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 IL PROGETTISTA  
Studio FC&RR Associati s.r.l.  
Dott. Ing. F. Cavallaro  
Ordine Ingegneri Messina  
n° 1110  
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)

*Unità Funzionale* COLLEGAMENTI VERSANTE SICILIA  
*Tipo di sistema* CANTIERI  
*Raggruppamento di opere/attività* SITI DI STOCCAGGIO - CAVE  
*Opera - tratto d'opera - parte d'opera* SITI DI RECUPERO AMBIENTALE – SD.68  
*Titolo del documento* SRAS - RELAZIONE DI CALCOLO

CZ0586\_F0

CODICE

C G 2 8 0 0 P C L D S C Z C 4 S D 6 8 0 0 0 0 0 4 F 0

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	FERRO	FLERES	RUGOLO



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>SRAS - RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0586_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## INDICE

Relazione di Calcolo .....	5
1 Normativa di riferimento.....	5
2 Stato dei luoghi .....	7
3 Inquadramento geologico e geotecnico.....	9
3.1 Caratteristiche geologiche.....	9
3.2 Litotipi e successione stratigrafica.....	9
3.2.1 Terreni in situ.....	9
3.2.2 Terreni del deposito.....	9
4 Indagini geognostiche.....	10
4.1 Parametri geomeccanici.....	10
5 Caratterizzazione sismica dell'area .....	13
6 Metodi di calcolo .....	15
6.1 Parametri adottati.....	15
6.2 Stabilità d'insieme .....	15
6.3 Carico ultimo terreno-fondazione .....	15
7 Terre rinforzate .....	17
7.1 Modello di calcolo.....	17
7.2 Caratteristiche meccaniche di progetto.....	18
7.3 Stabilità d'insieme .....	18
7.4 Risultati verifiche .....	18



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>SRAS - RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0586_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## Relazione di Calcolo

La presente relazione tecnica ha in oggetto la caratterizzazione definitiva e la verifica dell'opera di sostegno in terra rinforzata collocata a valle del sito di deposito denominato SRAS.

In particolare, dopo un sintetico riepilogo di tutte le indagini eseguite e dei risultati acquisiti, si procederà alla caratterizzazione geotecnica dei vari strati rinvenuti, alla illustrazione dei diversi metodi di calcolo adottati, alla definizione delle caratteristiche meccaniche delle terre rinforzate e alle inerenti verifiche.

### 1 Normativa di riferimento

I calcoli e le verifiche sono state effettuate sulla base dei seguenti dispositivi di legge o regolamenti:

- Legge 05.11.1971 n. 1086 "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica";
- Legge 02.02.74 n.64 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche";
- D.M. 14.01.08 "Nuove norme tecniche per le costruzioni"
- Circ. 02.02.09 n. 617 "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni"



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>SRAS - RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0586_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 2 Stato dei luoghi

Il deposito in parola è ubicato nel territorio comunale di Messina, e precisamente in località Pace a monte della strada provinciale “Panoramica dello stretto”, lungo la strada d’argine della fiumara Pace.

L’area in questione è riscontrabile nella tavoletta in scala 1:25.000 denominata “MESSINA” corrispondente al Foglio 254 IV S.O. della carta d’Italia edita dall’I.G.M.. L’area interessata dal deposito è ubicata in zona basso collinare e topograficamente interessa una fascia compresa tra la quota massima di circa 185,00 mt. s.l.m. ed una quota minima di 145,00 mt..

Da una analisi morfologica a larga scala il sito in studio presenta pendenze medie che tendono a crescere verso l’asse d’impluvio, e nella parte centrale del bacino le pendenze sono molto acclivi. Ciò nonostante il sito presenta una condizione morfologica generale di stabilità. L’area da destinare a deposito di inerti, indicata con la sigla “SRAS” presenta un bacino avente una pendenza media lungo l’asse nella parte alta del 10 - 25 %, mentre nella parte centrale la pendenza media è di circa 60 – 70 %, mentre la pendenza media generale è del 33 % circa. I versanti laterali mostrano una pendenza a tratti maggiore, e fenomeni erosivi si riscontrano in corrispondenza delle zone a maggior pendenza, il tutto favorito da un terreni affioranti nell’area costituiti da sabbie e ghiaie, dunque molto incoerenti.



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>SRAS - RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0586_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### **3 Inquadramento geologico e geotecnico**

#### **3.1 Caratteristiche geologiche**

Nel sito in studio si hanno principalmente terreni di origine sedimentaria, attribuibili alle “sabbie e ghiaie della formazione di Messina”, ed interpretati come il prodotto di antichi apparati fluvio – deltizi alimentati dalla dorsale peloritana, generati dal sollevamento dell’entroterra cristallino.

#### **3.2 Litotipi e successione stratigrafica**

Si riporta di seguito una breve descrizione dei litotipi rinvenuti e una ricostruzione della successione stratigrafica; si rimanda alla citata relazione geologica documento CG2800PRXDSCZC4SD68000004 per informazioni di dettaglio.

##### **3.2.1 Terreni in situ**

Affiorano nel sito in studio e sono caratterizzati da una copertura di circa 0,50 mt. di suolo agrario, successivamente si passa a Ghiaia da grossolana a media e sabbie medio grossolane con presenza di matrice sabbiosa, con forma da sub-arrotondata ad arrotondata. In generale questa formazione presenta una immersione verso E-SE con valori di inclinazione di 20-25°. Gli elementi principali hanno una granulometria dell’ordine di 4 – 5 cm, ed all’interno di questa formazione si riscontrano anche elementi di dimensioni decimetrici. La natura di questi elementi è quasi sempre metamorfica. Sondaggi eseguiti a valle del sito in studio, dalla ditta incaricata da EUROLINK S.C.P.A., hanno evidenziato uno spessore di oltre 30 mt. (vedi colonne stratigrafiche dei sondaggi allegati S426 – S427). Da informazioni locali e dalle osservazioni in cave presenti in zona limitrofa lo spessore complessivo della formazione è di oltre 100,00 mt..

##### **3.2.2 Terreni del deposito**

Materiali provenienti da scavi all’aperto e in sotterraneo – Saranno costituiti da materiali appartenenti alle formazioni sopra descritte; quelli provenienti dallo scavo in sotterraneo potranno presentare al loro interno ridotte frazioni di cemento (inferiore al 5%) derivante dai preconsolidamenti eseguiti in avanzamento.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>SRAS - RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0586_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 4 Indagini geognostiche

In questa fase progettuale si fa principalmente riferimento a dati forniti dalla Soc. Eurolink S.C.P.A, dati acquisiti dalla ditta esecutrice dei sondaggi, in modo da poter definire le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni, e la categoria del suolo, così come richiesto dal D.M. 14-01-2008. I sondaggi a cui ci si riferisce sono i seguenti:

- Sondaggio n° S426 (perforazione a carotaggio continuo ml. 30,00);
- Sondaggio n° S427 (perforazione a carotaggio continuo ml. 45,00);

I risultati ottenuti hanno consentito di definire la successione lito-stratigrafica dell'area a valle, mentre a monte ci si basa su informazioni storiche, che dovranno essere verificate con indagini in situ in fase di progettualità esecutiva.

Durante la fase di perforazione sono state eseguite delle prove SPT, per una caratterizzazione fisico-meccanica in situ delle alluvioni. Queste sono indicate nelle colonne stratigrafiche, e qui vengono riassunte le prove fino a 9,00 ml. di profondità:

Sondaggio S426:	profondità dal p.c. 1,50 mt.:	5 – 06 – 06
	profondità dal p.c. 3,00 mt.:	5 – 08 – 08
	profondità dal p.c. 4,50 mt.:	04 – 05 – 06
	profondità dal p.c. 6,00 mt.:	06 – 09 – 11
	profondità dal p.c. 7,50 mt.:	16 – 35 – 47
	profondità dal p.c. 9,00 mt.:	42 – (rif. ln 11 cm)

Tabella 4.1: Sondaggio S426

Sondaggio S427:	profondità dal p.c. 1,50 mt.:	07 – 10 – 15
	profondità dal p.c. 3,00 mt.:	07 – 10 – 12
	profondità dal p.c. 4,50 mt.:	08 – 10 – 10
	profondità dal p.c. 6,00 mt.:	12 – 16 – 20
	profondità dal p.c. 7,50 mt.:	10 – 15 – 18
	profondità dal p.c. 9,00 mt.:	12 – 14 – 18

Tabella 4.2: Sondaggio S427

### 4.1 Parametri geomeccanici

Ancora con riferimento a quanto riportato nella relazione geologica si adotta.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>SRAS - RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0586_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Terreno in situ:

$\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3$ ;

$c' = 0 \text{ MPa}$ ;

$\varphi' = 34^\circ$

Terreno del deposito (costipato):

$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ ;

$c' = 0,0 \text{ MPa}$ ;

$\varphi' = 31$



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>SRAS - RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0586_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5 Caratterizzazione sismica dell'area

Ai fini della caratterizzazione sismica l'azione viene valutata in riferimento ad una probabilità di superamento inferiore al 10%, corrispondente alla condizione di SLV.

La struttura in oggetto ricade in classe II, con coefficiente di uso (Cu) pari a 1.0, e la vita utile associata, per opera non strategica, viene posta pari a 50 anni.

Il terreno di riferimento per la caratterizzazione sismica, nel caso di opera di sostegno di terrapieno, viene valutato in base alla tipologia di terreno naturale alla base del terrapieno. Nel caso specifico si fa riferimento a terreno di tipo C. Per quanto riguarda la cat. topografica è opportuno considerare la **categ. "T2"**.

Sulla base di tali impostazioni è possibile definire i parametri distintivi dell'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

L'azione sismica viene calcolata utilizzando la relazione classica :

$$E_d = \frac{1}{2} \gamma (1 \pm k_v) K_{AE} H^2$$

essendo

H= altezza di spinta

G= peso specifico terreno

K<sub>AE</sub>= coefficiente di spinta (statico + dinamico)

k<sub>v</sub>= coefficiente sismico verticale

Il coefficiente di spinta del terreno (K<sub>AE</sub>) viene calcolato mediante il metodo di Mononobe-Okabe:

$$K_{AE} = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\phi + \theta - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta - \theta)}{\sin(\phi + \theta - \delta) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

in cui è

φ: angolo di attrito

δ: attrito terra-muro

ψ: angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della parete

β: angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie del terreno a monte

θ: angolo di amplificazione sismica dato dalla relazione

$$\tan(\theta) = k_h / (1 \pm k_v)$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>SRAS - RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0586_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

In accordo con il DM 14.01.08 il coefficiente sismico  $k_h$  è definito dalla correlazione siffatte (pt. 7.11.6.2):

$$k_h = \beta_m a_{max}/g = \beta_m (S_s S_t a_g)/g; \quad k_v = \pm 0.5 k$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>SRAS - RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0586_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 6 Metodi di calcolo

Di seguito vengono illustrati i metodi di calcolo utilizzati per le verifiche geotecniche riportate nei paragrafi seguenti; preliminarmente si riportano i valori dei principali parametri caratteristici adottati.

### 6.1 Parametri adottati

Per le successive calcolazioni geotecniche si assume:

Terreno in situ:

$$\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3;$$

$$c' = 0,0 \text{ MPa};$$

$$\varphi' = 34^\circ$$

Terreno del deposito (costipato):

$$\gamma = 18,0 \text{ kN/m}^3;$$

$$c' = 0,0 \text{ MPa};$$

$$\varphi' = 31^\circ.$$

### 6.2 Stabilità d'insieme

Si rimanda all'allegata relazione geotecnica.

### 6.3 Carico ultimo terreno-fondazione

La valutazione della capacità portante dei terreni incoerenti è fatta in accordo alla soluzione di Brinch Hansen (1970) relativa all'area equivalente delle fondazioni.

Questa può essere definita come quella parte della fondazione reale rispetto alla quale la risultante dei carichi è baricentrata.

Indicate con  $B_0$  ed  $L_0$  le dimensioni reali di una fondazione rettangolare e con  $e_B$  ed  $e_L$  le componenti della eccentricità del carico in direzione di  $B_0$  ed  $L_0$  rispettivamente, le dimensioni equivalenti  $B$  ed  $L$  si valutano come:

$$B = B_0 - 2e_B; \quad L = L_0 - 2e_L$$

L'espressione da impiegare per il calcolo della capacità portante limite è la seguente:

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma' \times s_\gamma' \times d_\gamma' \times i_\gamma + q \times N_q' \times s_q \times d_q \times i_q$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>SRAS - RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0586_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

dove:

$\gamma$  = peso di volume efficace (in assenza di falda è uguale a quello totale)

$N\gamma'$  ;  $Nq'$  = fattori di capacità portante funzione di  $\phi$  (si veda allegato I1)

$\phi$  = angolo di attrito interno

B, L = dimensione minore e maggiore della fondazione

$q = \gamma \times D$ : pressione efficace alla quota di imposta della fondazione

D = profondità del piano di imposta della fondazione da p.c.

$$i\gamma = [1 - (0.7 \times H)/N]^{0.5}$$

- fattori di inclinazione del carico

$$iq = [1 - (0.5 \times H)/N]^{0.5}$$

H = carico orizzontale

N = carico verticale

$$s\gamma = 1 - (0.4 \times B/L) \times i\gamma$$

- fattori di forma

$$sq = 1 + (\sin \phi \times B/L) \times iq$$

$$d\gamma = 1$$

$$dq = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 D/B$$

(per  $D/B < 1$ )

- Fattori di profondità

$$dq = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \arctg D/B$$

(per  $D/B > 1$ )

La capacità portante ammissibile si valuta facendo riferimento alla seguente espressione:

$$q_{amm} = q_{lim}/ETA$$

essendo ETA il coefficiente di sicurezza.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
SRAS - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CZ0586_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 7 Terre rinforzate

### 7.1 Modello di calcolo

Analogamente a quanto previsto per classici muri di sostegno, anche per le opere in terra rinforzata sono previste le verifiche di stabilità esterna, individuate come verifica a ribaltamento, scorrimento, portanza alla base e stabilità globale; in aggiunta sono da eseguirsi verifiche di stabilità interna, dettate dalla necessità di garantire i margini di sicurezza in termini di resistenza per le componenti di rinforzo costituite dalle geogriglie e lo scorrimento relativo tra gli strati componenti la struttura.

Il modello numerico viene realizzato tenendo in considerazioni i reali parametri geotecnici e una geometria globale equivalente, tale da simulare il reale effetto del terrapieno.



Figura 7.1: Definizione Geometrica

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>SRAS - RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0586_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Al fine di evitare la duplice valutazione indotta dalla presenza di verifiche puramente geotecniche e verifiche puramente strutturali, si prevede di procedere in accordo con l'approccio 2 previsto dal DM 14.01.08; in accordo con tale procedura i parametri geotecnici di calcolo corrisponderanno a quelli caratteristici, mentre verranno incrementate le azioni sollecitanti, in tal caso direttamente proporzionali al peso della massa spingente. I coefficienti di sicurezza di riferimento saranno indicati dalla categoria R3.

## 7.2 Caratteristiche meccaniche di progetto

La caratterizzazione della tipologia di terra rinforzata è direttamente correlata alle caratteristiche geometriche e resistenti della geogriglia che ne costituisce la vera e propria parte resistente.

Nel caso in analisi si considera di utilizzarsi una geogriglia tipo Italgrid 110/30, caratterizzata da resistenza a trazione longitudinale pari a 110KN/m.

Ai fini della stabilità esterna si riporta la tabella dei coeff. di sicurezza riportati dal DM.14.01.08:

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

Tabella 7.1: Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno

Ai fini delle verifiche di stabilità interna, in considerazione di mancanti riferimenti all'interno della normativa italiana, il calcolo viene effettuato nel rispetto dei coefficienti di sicurezza presenti nella vigente normativa francese e dalla T.A.I. (Terre Armée Internationale), secondo il metodo degli stati limite, che riportano:

- coeff. Sicurezza a rottura = 1.65
- coeff. Sicurezza di aderenza = 1.50

## 7.3 Stabilità d'insieme

Si rimanda all'allegata relazione geotecnica (documento CG2800PRBDSCZC2NI82000002B).

## 7.4 Risultati verifiche

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>SRAS - RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CZ0586_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

<b>Calcolo di progetto:</b>			
<i>Verifica a scorrimento:</i>	$\frac{\text{Forza resistente}}{\text{Forza agente}} = \frac{692.29}{463.72} = 1.49$	<b>Verificato</b>	
<i>Verifica a ribaltamento:</i>	$\frac{\text{Momento resistente}}{\text{Momento ribaltante}} = \frac{3,873.40}{1,280.07} = 3.03$	<b>Verificato</b>	
<i>Verifica di capacità portante:</i>	$\frac{\text{Capacità portante}}{\text{Pressione massima}} = \frac{3,434.58}{205.27} = 16.73$	<b>Verificato</b>	
<b>Riepilogo dei dati di input dei rinforzi, (dati proposti dal fornitore).</b>			
<i>Rinforzo blocco</i>	Prodotto = Italgrid		
	R a trazione = 110 kN/m		
	Coeff. interazione = 0.8		
	FS a rottura = 1.65		
FS a Pull-out = 1.5			
<i>Verifica a rottura:</i>	$\frac{\text{Resistenza massima}}{\text{Forza agente}} = 1.66$	<b>Verificato</b>	
<i>Verifica a sfilamento interno:</i>	$\frac{\text{Forza resistente}}{\text{Forza agente}} = 23.70$	<b>Verificato</b>	

Figura 7.2: Calcolo di progetto e Riepilogo dei dati