

# 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)

<p><b>IL PROGETTISTA</b></p> <p><b>Studio FC&amp;RR Associati s.r.l.</b> Dott Ing. F. Cavallaro Ordine Ingegneri Messina n° 1110 Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n° 15408</p> 	<p><b>IL CONTRAENTE GENERALE</b></p> <p>Project Manager (Ing. P.P. Marcheselli)</p>	<p><b>STRETTO DI MESSINA</b> Direttore Generale e RUP Validazione (Ing. G. Fiammenghi)</p>	<p><b>STRETTO DI MESSINA</b> Amministratore Delegato (Dott. P. Ciucci)</p>
--	---	--	--

<p><i>Unità Funzionale</i> GENERALE</p> <p><i>Tipo di sistema</i> INFRASTRUTTURE STRADALI OPERE CIVILI</p> <p><i>Raggruppamento di opere/attività</i> VIABILITA' SECONDARIA</p> <p><i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> GENERALE - V-SN3 PISTA SAN FILIPPO</p> <p><i>Titolo del documento</i> RELAZIONE GEOTECNICA</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">SS0865_F0</div>
---	--

CODICE	C G 2 8 0 0	P	R B	D S	S C	V 2	G 0	0 0	0 0	0 0	0 1	F0
--------	-------------	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----

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>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> SS0865_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## INDICE

Relazione Geotecnica .....	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 corpo del rilevato e dei rinterri .....	10
4 Indagini geognostiche .....	11
4.1 Parametri geomeccanici .....	11
5 Caratterizzazione sismica dell'area .....	13
6 Metodi di calcolo .....	15
6.1 Prescrizioni relative alla verifica di fondazioni superficiali .....	15
6.2 Prescrizioni relative alla verifica di fondazioni su pali .....	16
6.3 Carico ultimo terreno-fondazione superficiale .....	19
6.3.1 N = carico verticale .....	19
6.4 Carico ultimo terreno-pali di fondazione.....	20
6.4.1 Carico ultimo verticale .....	20
6.4.2 Portanza alla punta: Berezantzev Modificato .....	20
6.4.3 Portanza laterale .....	21
6.4.4 Carico ultimo orizzontale.....	21
7 Verifiche geotecniche.....	25
7.1 Carico ultimo terreno-fondazione .....	25



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> SS0865_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## Relazione Geotecnica

La presente relazione geotecnica definitiva ha per oggetto la caratterizzazione meccanica dei terreni interessati dalla esecuzione dei lavori in oggetto e più specificamente dalla pista di accesso, denominata V - SN3.

In particolare, dopo un sintetico riepilogo delle conoscenze geologiche dell'area, si procederà alla caratterizzazione geotecnica dei vari strati rinvenuti, alla illustrazione dei diversi metodi di calcolo adottati.

### 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>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> SS0865_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 2 Stato dei luoghi

La pista di servizio denominata V - SN3 si sviluppa lungo la sponda destra del torrente S. Filippo, nella parte terminale dell'asta torrentizia fra la SS114 e lo sbocco a mare. Segue in buona parte una viabilità esistente che viene adeguata.

Dal punto di vista della localizzazione geografica l'area in esame è posta nella parte nord-orientale della Sicilia, in prossimità della fiumara San Filippo nella zona Contesse, nella periferia sud della città di Messina. Essa è riscontrabile nella tavoletta in scala 1:25.000 denominata "SANTO STEFANO DI BRIGA" corrispondente al Foglio 254 III N.O. della carta d'Italia edita dall'I.G.M..

Sotto il profilo morfo-strutturale, nell'area rilevata non si riscontrano superficialmente fratture, faglie e cavità che possano pregiudicare la stabilità dell'area, anche perché il substrato roccioso (alternanza marnoso-arenacea del tortoniano) si riscontra a notevole profondità ed è ricoperto nell'area in studio dai depositi alluvionali recenti (sabbie limose con presenza di sporadici ciottoli), che a loro volta poggiano sui terrazzi marini (sabbie e ghiaie). Nel sito in questione non si evidenziano dissesti in atto o potenziali, e la consultazione della carta del "*Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)*" - *non indica nessun vincolo in quest'area, sia di dal punto di vista della "pericolosità che del rischio geomorfologico, che della pericolosità idraulica che per fenomeni di esondazione"*.



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> SS0865_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 3 Inquadramento geologico e geotecnico

#### 3.1 Caratteristiche geologiche

La geologia siculo-calabra è caratterizzata dalla sua posizione, ed in particolare dalla collisione tra la placca africana e quella europea, per cui se i due continenti sono separati dal mar mediterraneo, nei fatti questi sono uniti tra loro. Questa unione è rappresentata dall'Orogene Appennino–Magrebide, che dall'Appennino attraverso l'Arco Calabro-Peloritano si estende fino alle coste del Maghreb in Africa. La cinetica che ha determinato la collisione tra queste due placche ha avuto riflessi profondi in tutto l'hinterland, ed ha profondamente modificato la geometria delle fasce orogeniche, la sutura collisionale si è estesa verso est a partire dal Pliocene medio e si esprime in affioramento mediante superfici di thrust originatesi in profondità lungo l'area di raddoppio crostale posta lungo l'area del margine tirrenico. Strutturalmente nell'area in studio non si rinvengono faglie, e prevale la facies sabbioso-conglomeratica della formazione di Messina, che in generale poggia in discordanza angolare su di un basamento metamorfico che rappresenta la formazione che affiora in modo esteso nei monti Peloritani, e su altre formazioni del substrato più antico. I sopralluoghi effettuati, estesi ad un'area più ampia di quella di stretto interesse, hanno permesso di risalire all'assetto stratigrafico ed al riconoscimento delle caratteristiche delle singole unità litologiche, in stretta connessione ed in linea con la geologia dei Monti Peloritani. Nel sito in studio si hanno principalmente terreni di origine sedimentaria, attribuibili ai depositi alluvionali recenti “sabbie limose” e queste presentano spesso delle notevoli variazioni latero-verticali. Queste sono interpretabili come il prodotto di erosione e trasporto della fiumara, avvenuto in passato ed ancora modificabile, 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 per informazioni di dettaglio.

##### 3.2.1 Terreni in situ

###### Alluvioni recenti ed attuali

Affiorano nel sito in studio, ed in buona parte della vallata in cui scorre la fiumara San Filippo, sono

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> SS0865_F0.doc	<i>Rev</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011

di entità e spessore limitato a monte, per poi aumentare notevolmente procedendo verso valle, ed in particolare nel sito in studio. Sono depositi sabbioso-limosi trasportati a valle dagli agenti esogeni, presenti nelle aste fluviali e lungo la costa vengono ridistribuiti dal moto ondoso dando origine ai depositi litorali. Il loro spessore è variabile e tende a crescere spostandoci verso la costa. Da evidenziare che vista la variabilità dell'energia di trasporto dei sedimenti nel tempo, da parte delle acque della fiumara, si ha una diversificazione latero-verticale dei sedimenti, sia granulometrica che di spessori.

#### **Terrazzi marini**

Affiorano a monte del sito in studio e sono caratterizzati da uno spessore di circa 8,00 mt. – 10,00 mt., sono posti in argine all'alveo della fiumara, con elementi costituiti da Sabbie e Ghiaie grossolane con presenza di matrice sabbiosa, con forma da sub-arrotondata ad arrotondata. E gli elementi che costituiscono questa formazione sono prevalentemente di origine metamorfica.

#### **Sabbie e ghiaie di Messina**

Affiorano a monte del sito in studio con spessori variabili, e comunque nell'ordine della decina di metri. Sono caratterizzati da Ghiaia grossolana e media con sabbie medio grossolane e presenza di matrice sabbiosa. La loro forma da sub-arrotondata ad arrotondata evidenzia il trasporto subito da questi elementi.

### **3.2.2 Terreni del corpo del rilevato e dei rinterri**

Materiali provenienti da scavi all'aperto e in sotterraneo – Saranno costituiti da materiali appartenenti alle formazioni 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; 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>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> SS0865_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 4 Indagini geognostiche

In questa fase progettuale si fa principalmente riferimento a sondaggi eseguiti in zone limitrofe a quelle in studio. I dati, orientativi e comunque cautelativi, sono descritti nei paragrafi seguenti e sono da confermare in fase esecutiva mediante l'esecuzione mirata di perforazioni meccaniche ed indagini di "Down Hole" in fori di sondaggio per la determinazione della categoria di suolo, in ottemperanza a quanto richiesto dal "D.M. 14-01-2008".

### 4.1 Parametri geomeccanici

Ancora con riferimento a quanto riportato nella relazione geologica si adotta, in termini di parametri caratteristici:

Terreno in situ (alluvioni recenti):

*1° livello: sabbie limose poco addensate (tra 0 e -5,0 m da p.c.):*

$\gamma = 17,0 \text{ kN/m}^3$ ;

$\gamma' = 11,0 \text{ kN/m}^3$ ;

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

$\phi_k' = 26^\circ$

*2° livello: sabbie e ghiaie grossolane mediamente addensate (tra -5,0 e -10,0 m da p.c.):*

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

$\gamma' = 11,0 \text{ kN/m}^3$ ;

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

$\phi_k' = 32^\circ$

*3° livello: sabbie e ghiaie grossolane ben addensate (al di sotto di -10,0 m da p.c.):*

$\gamma = 19,5 \text{ kN/m}^3$ ;

$\gamma' = 11,0 \text{ kN/m}^3$ ;

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

$\phi_k' = 36^\circ$

Terreno di rilevato (materiale da cava "sabbie e ghiaie con fraz. limosa"):

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

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

$\phi_k' = 30^\circ$



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	<i>Codice documento</i> SS0865_F0.doc	<i>Rev</i> F0

## 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 ( $C_u$ ) pari a 1.0, e la vita utile associata, viene posto pari a 50 anni.

Il terreno di riferimento per la caratterizzazione sismica viene valutato in base alla tipologia di terreno naturale alla base del terrapieno. Nel caso specifico si fa riferimento a terreno di tipo C. Il coefficiente di topografia è da considerarsi pari a T1.

In accordo con il DM 14.01.08 il coefficiente sismico  $k_h$  è definito dalla correlazione siffatte (pt. 7.11.3.5):

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

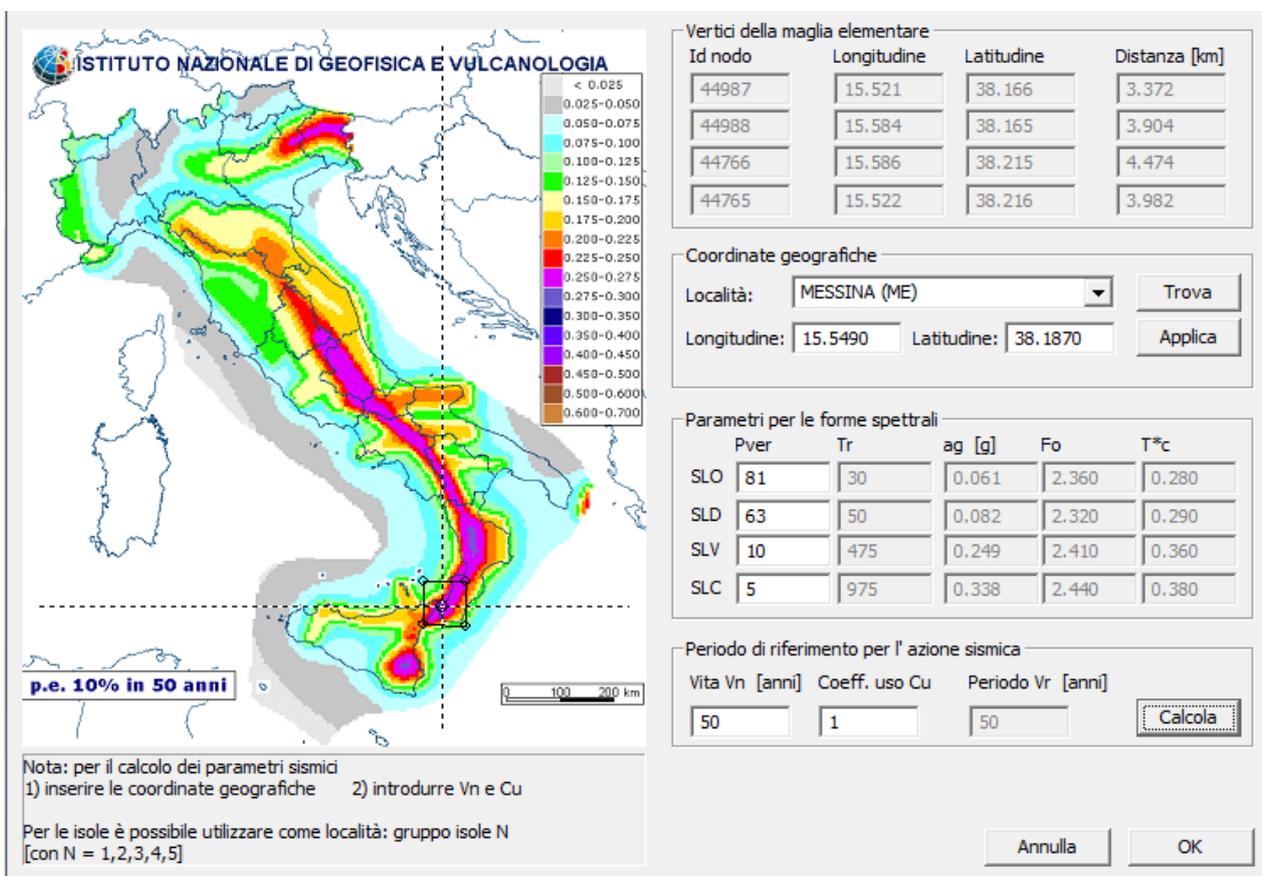


Figura 5.1: Valutazione della pericolosità sismica.



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> SS0865_F0.doc	<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; preliminarmente si riportano i valori dei principali riferimenti normativi relativi alle tipologie di fondazione presenti e i relativi metodi di calcolo.

Relativamente ai metodi di calcolo si evidenzia l'estensione di procedure classiche alla formulazione richiesta dalla normativa di riferimento, utilizzando i parametri di resistenza di calcolo per la determinazione di tutte le componenti di resistenza.

### 6.1 Prescrizioni relative alla verifica di fondazioni superficiali

La verifica della portanza di fondazioni superficiali viene condotta in accordo con le prescrizioni del DM 14.01.08, con riferimento alle due combinazioni di carico previste nell'approccio 1 (Comb.1 per verifiche strutturali e Comb.2 per verifiche geotecniche), considerando rispettivamente:

condizione statica → (Cap.6.4.2, C.6.4.2.1)

comb.1: A1-M1-R1 (STR)

**comb.2: A2-M2-R2 (GEO)**

condizione sismica → (Cap.7.11)

comb.1:A1-M1-R1 con A1 posto pari all'unità (7.11.1)

**comb.2: A2-M1-R2** con A2 posti pari all'unità (7.11.1) e le resistenze pari a R3 (7.11.5.3)

facendo riferimenti ai coefficienti di combinazione riportati nel seguito (DM 14.01.08 Cap.6).

In accordo con la logica degli stati limite, la condizione di verifica si riterrà soddisfatta se vera la condizione:

$$E_d < R_d$$

$$\text{con } E_d = E \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right] \quad \text{e} \quad R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

nelle quali i valori caratteristici sono contraddistinti dal pedice "k" ed i valori di calcolo dal pedice "d".

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	<i>Codice documento</i> SS0865_F0.doc	<i>Rev</i> 0

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

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

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

**Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_\varphi$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Nella tabella seguente si riportano i coefficienti parziali di sicurezza per la determinazione dei valori di calcolo della portanza (valida per fondazioni superficiali di opere di sostegno):

**Tabella 6.5.I - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno.**

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

## 6.2 Prescrizioni relative alla verifica di fondazioni su pali

La verifica della portanza dei pali di fondazione viene condotta in accordo con le prescrizioni del DM 14.01.08, con riferimento alle due combinazioni di carico previste nell'approccio 1 (Comb.1 per verifiche strutturali e Comb.2 per verifiche geotecniche), considerando rispettivamente:

condizione statica → (Cap.6.4.3, C.6.4.3.1)

comb.1: A1-M1-R1 (STR)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> SS0865_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**comb.2: A2-M1-R2 (GEO)**

condizione sismica → (Cap.7.11)

comb.1:A1-M1-R1 con A1 posto pari all'unità (7.11.1)

**comb.2: A2-M1-R3** con A2 posti pari all'unità (7.11.1) e le resistenze pari a R3 (7.11.5.3)

facendo riferimenti ai coefficienti di combinazione riportati nel seguito (DM 14.01.08 Cap.6).

In accordo con la logica degli stati limite, la condizione di verifica si riterrà soddisfatta se vera la condizione:

$$E_d < R_d$$

$$\text{con } E_d = E \left[ \gamma_F F_{ki}; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right] \text{ e } R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F F_{ki}; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

nelle quali i valori caratteristici sono contraddistinti dal pedice "k" ed i valori di calcolo dal pedice "d".

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

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

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

**Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_\varphi$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

In tab. 6.2.II si riportano i coefficienti parziali di sicurezza per la determinazione dei valori di calcolo dei parametri geotecnici

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	<i>Codice documento</i> SS0865_F0.doc	<i>Rev</i> 0

**Tabella 6.4.II** – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	$\gamma_t$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

(\*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

**Tabella 6.4.IV** – Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate.

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

In Tab.6.4.IV (6.4.3.1.1) si riportano i coefficienti di sicurezza da utilizzarsi per la riduzione dei valori di resistenza, sia per portanza verticale che orizzontale, dedotti direttamente dai valori caratteristici dei parametri geotecnici o da prove in sito.

**Tabella 6.4.VI** - Coefficienti parziali  $\gamma_T$  per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali.

COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
$\gamma_T = 1,0$	$\gamma_T = 1,6$	$\gamma_T = 1,3$

Al fine di rendere indubbia la procedura di calcolo riportata nella sezione successiva si evidenzia come la determinazione della portanza caratteristica ( $R_k$ ), in funzione della procedura analitica seguita, venga condotta :

- valutandone la consistenza a partire da metodi analitici basati su valori di calcolo dei parametri geotecnici caratteristici ( $x_k$ );
- dividendo la resistenza ottenuta per i fattori di correlazione ( $\xi$ )
- dividendo infine il valore caratteristico della portanza ( $R_k$ ) così determinata, per il coefficiente di sicurezza  $\gamma_R$ , ottenendo il valore della portanza di calcolo  $R_d$ .

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> SS0865_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 6.3 Carico ultimo terreno-fondazione superficiale

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

$$B = B_o - 2e_B; \quad L = L_o - 2e_L$$

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

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

dove:

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

$N_\gamma$ ;  $N_q$  = fattori di capacità portante funzione di  $\phi_d$

$\phi_d$  = valore di calcolo dell'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.

$$i_\gamma = [1 - (0.7 \times H)/N]^{5/2}$$

fattori di inclinazione del carico

$$i_q = [1 - (0.5 \times H)/N]^{5/2}$$

$H_d$  = carico orizzontale di calcolo

#### 6.3.1 N = carico verticale

$$s_\gamma = 1 - (0.4 B/L) \times 1_\gamma$$

fattori di forma

$$s_q = 1 + (\sin \phi_d B/L) \times i_q$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> SS0865_F0.doc	<i>Rev</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011

$$d\gamma = 1$$

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

(per  $D/B \leq 1$ )

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

(per  $D/B > 1$ )

Fattori di profondità

La capacità portante limite verrà ottenuta valutando i coefficienti di Brinch Hansen, ed i relativi parametri correttivi, in funzione dei valori di calcolo dei parametri geotecnici, con riferimento ai coefficienti di sicurezza M2. Il valore di calcolo della portanza risulterà infine divisa per il coefficiente parziale di sicurezza  $\gamma_{R2}$ :

$$Q_{Rd} = Q_{lim} / \gamma_{R2}$$

essendo  $\gamma_{R2}$  il coefficiente di sicurezza pari a 1.8.

## 6.4 Carico ultimo terreno-pali di fondazione

### 6.4.1 Carico ultimo verticale

Si esamina la determinazione del carico ultimo del complesso palo terreno in terreni incoerenti.

In generale il carico ultimo verticale è fornito dalla seguente espressione:

$$Q_{ult} = Q_{lat} + Q_{punta}$$

I simboli sopra elencati assumono il seguente significato:

$Q_{lat} = \sum A_{si} s_i$  – contributo della superficie laterale alla portata limite del palo;

$Q_p = A_p p$  – contributo dell'area di base alla portata limite del palo;

$s_i$  – aderenza laterale limite media dello strato  $i$  – esimo;

$A_{si}$  – superficie laterale del palo lungo lo strato  $i$  – esimo;

$p$  – pressione limite alla base del palo;

$A_p$  – area di base del palo

### 6.4.2 Portanza alla punta: Berezantzev Modificato

Il metodo è prevalentemente dedicato alla caratterizzazione della portanza alla punta di pali di grande diametro, mediante la definizione di appositi coefficienti correttivi  $N_p^*$ , variabili in funzione

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> SS0865_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

del rapporto tra lunghezza e diametro del palo e dell'angolo di attrito del terreno di infissione.

$$P_{lim} = N_p^* \sigma'_v A_p$$

$N_p^*$  : *fattore di capacità portante*

$A_p$ : *area sezione palo*

$\sigma'_v$ : *tensione efficace a quota punta palo*

### **6.4.3 Portanza laterale**

Ai fini del calcolo del contributo di portanza laterale si considera la definizione della resistenza superficiale alla profondità z espressa mediante la relazione:

$$s(z) = k \mu \sigma'_v(z)$$

essendo

$$k = \text{tg}(\phi_d')$$

$\mu$  = *fattore di addensamento relativo al tipo di palo*

### **6.4.4 Carico ultimo orizzontale**

Si applica la teoria proposta da Broms nel 1964 per pali impediti di ruotare in testa. Si esamina separatamente il caso di terreno coesivo e di terreno incoerente.

Il palo viene considerato impedito di ruotare in testa per la presenza di plinti di notevole rigidità.

Il campo dei valori L/d che compete ai diversi meccanismi di rottura sarà funzione del valore  $M_y$  (momento flettente di plasticizzazione del palo).

Si giunge così alla determinazione di Hult

Per la determinazione delle sollecitazioni che cimentano i pali si applica il metodo proposto da Matlock – Reese (1950) per la verifica di pali soggetti a carichi orizzontali.

Di seguito si illustra brevemente il metodo sopracitato.

Deformazioni e sollecitazioni lungo l'asse dell'elemento di fondazione libero in testa possono essere valutate secondo le seguenti espressioni che si rifanno al modello di terreno alla Winkler:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> SS0865_F0.doc	<i>Rev</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011

$$y(z) = (T^2/EJ) (H_o T A_y + M_o B_y)$$

$$M(z) = H_o T A_m + M_o B_m$$

$$\vartheta(z) = (T/EJ) (H_o T A_\vartheta + M_o B_\vartheta)$$

I termini sopra riportati hanno il seguente significato:

$y(z)$ ,  $M(z)$ ,  $\vartheta_d(z)$  = rispettivamente spostamento orizzontale, momento flettente e rotazione a distanza  $z$  della testa del palo

$H_o$ ,  $M_o$  = rispettivamente forza orizzontale e momento flettente agenti in corrispondenza della testa del palo.

$E$  = modulo elastico del materiale costituente il palo.

$J$  = momento di inerzia della sezione del palo.

$T$  = lunghezza caratteristica del sistema palo-terreno.

Nel caso di modulo  $E_s$  costante ( $E_s = E_{so}$ ), come la situazione in parola, si ha:

$$T = [EJ/E_{so}]^{0.25}$$

I valori dei coefficienti  $A_y$ ,  $B_y$ ,  $A_m$ ,  $B_m$ ,  $A_\vartheta$ ,  $B_\vartheta$  sono riportati in allegato F1 con riferimento al caso di modulo di reazione orizzontale costante con la profondità.

Indipendentemente dai valori di  $L/T$  per cui sono state calcolate, queste tabelle sono applicabili senza sensibile errore per valori di  $L/T > 4$  ( $L$  = lunghezza del palo).

Qualora l'elemento di fondazione sia vincolato alla rotazione in sommità (possibili solo spostamenti orizzontali), ponendo la condizione:

$$\vartheta_d z = 0 = 0$$

si determinerà il momento flettente agente in corrispondenza della testa del palo.

Risolvendo l'espressione risulta:

$$M_o = -H_o T [A_\vartheta(z=0)]/[B_\vartheta(z=0)]$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> SS0865_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Analogamente, se l'elemento fosse vincolato alla traslazione, si determinerà l'effetto di un momento flettente applicato, individuando con le stesse formule prima indicate, la forza  $H_0$  incognita agente come reazione vincolare sulla testa dell'elemento verticale imponendo la condizione:

$$y(z=0) = 0$$

si ottiene risolvendo:

$$H_0 = -M_0 [B_y(z=0)] / [T A_y(z=0)]$$



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> SS0865_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## **7 Verifiche geotecniche**

### **7.1 Carico ultimo terreno-fondazione**

Si rimanda alla relazione di calcolo ove vengono riportate tutte le verifiche delle fondazioni delle opere in parola.