

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	IL CONTRAENTE GENERALE	STRETTO DI MESSINA	STRETTO DI MESSINA
 <p>Dott. Ing. F. Colla Ordine Ingegneri Milano n° 20355</p>  <p>Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n° 15408</p>	<p>Project Manager (Ing. P.P. Marcheselli)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Direttore Generale e RUP Validazione (Ing. G. Fiammenghi)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Amministratore Delegato (Dott. P. Ciucci)</p>

<i>Unità Funzionale</i>	COLLEGAMENTI VERSANTE CALABRIA	CD0145_F0
<i>Tipo di sistema</i>	CENTRO DIREZIONALE	
<i>Raggruppamento di opere/attività</i>	OPERE CIVILI EDILI	
<i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i>	PARCHEGGIO CENTRO DIREZIONALE	
<i>Titolo del documento</i>	CORPO DI FABBRICA 1 – RELAZIONE SULLE FONDAZIONI	

CODICE	C	G	0	7	0	0	P	R	G	D	C	C	D	1	C	P	R	0	0	0	0	0	7	F0
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	R. CAFFARENA	G. SCIUTO	F. COLLA

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR0000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

INDICE

INDICE.....	3
PREMESSA.....	5
1 RIFERIMENTI NORMATIVI.....	5
2 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SUOLO	7
2.1.1 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA	7
2.1.2 PARAMETRI SISMICI DI BASE.....	8
2.1.3 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	8
2.1.3.1 COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA.....	12
2.1.3.2 COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA	13
2.1.3.3 CALCOLO COEFFICIENTI SISMICI	13
3 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	15
3.1.1 SABBIE E GHIAIE DI MESSINA.....	17
3.1.2 RIPORTO ANTROPICO.....	17
3.1.3 CONGLOMERATO DI PEZZO	18
4 MODELLO DI CALCOLO	21
4.1 PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO.....	21
4.2 CALCOLO DEL CARICO LIMITE.....	21
4.2.1 FATTORI CORRETTIVI SISMICI: PAOLUCCI E PECKER	30
4.2.2 CALCOLO CEDIMENTI ELASTICI	31
5 AZIONI TRASMESSE DALLA STRUTTURA.....	33
6 RISULTATI DI CALCOLO.....	35
6.1 VERIFICHE DI CAPACITÀ PORTANTE	35
6.2 CALCOLO DEI CEDIMENTI IN ESERCIZIO	36
7 TABULATI DI CALCOLO.....	37

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni</p>		<p><i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR0000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

PREMESSA

La presente relazione riguarda la verifica della capacità portante del terreno di fondazione del corpo di fabbrica 1 del Centro Direzionale.

L'opera in oggetto è inquadrata nel Progetto Definitivo del Ponte sullo Stretto di Messina, nell'ambito delle opere connesse ai collegamenti infrastrutturali, ferroviari e stradali lato Calabria.

Di seguito viene riportato l'inquadramento planimetrico dell'opera in questione.

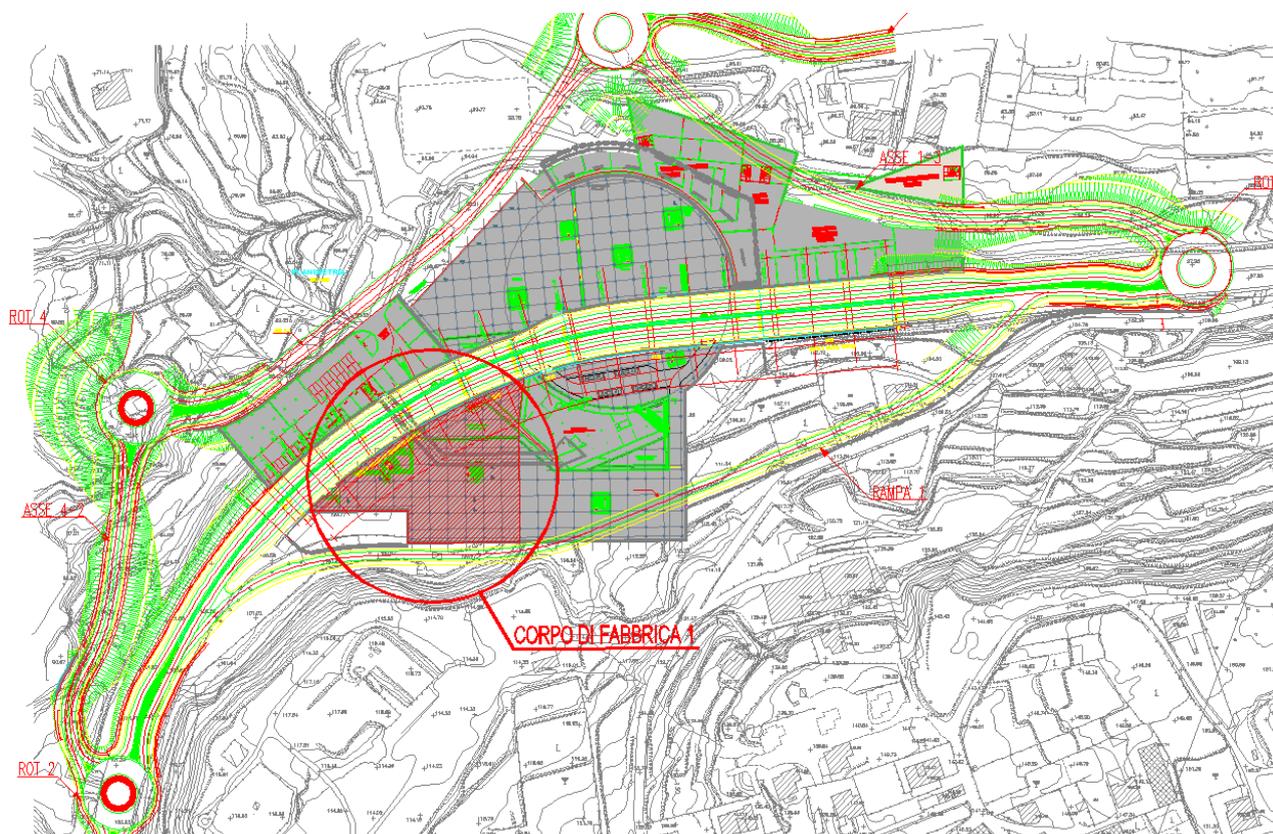


fig: Stralcio planimetrico dell'opera

1 RIFERIMENTI NORMATIVI

- 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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”
- UNI ENV 1998-1,5, 2004: “Eurocodice 8. Progettazione delle strutture per la resistenza sismica”;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR0000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

2 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SUOLO

La caratterizzazione sismica del sito in cui è inserita l'opera in oggetto viene effettuata sulla base delle indicazioni contenute nel D.M. 14/01/2008 (paragrafo 3.2). I parametri sismici di base sono stati calcolati utilizzando il foglio di calcolo dedicato "Spettri di risposta", fornito dal Consiglio Sup. LL.PP. (<http://www.cslp.it/cslp/>), inserendo le coordinate geografiche dell'intervento in corrispondenza dell'opera in progetto:

Latitudine	38,22715
Longitudine	15,645979

Tab. 2.1 : coordinate geografiche intervento

2.1.1 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

L'accelerazione orizzontale massima attesa al sito dipende dal periodo di riferimento considerato per la definizione dell'azione sismica. In base alle indicazioni riportate nel paragrafo 2.4 del D.M. 14/01/2008 e quanto riportato nei criteri di progettazione contenuti nel documento "criteri di progettazione_rev06_20101013.xls":

Tipo di costruzione	3
Vita nominale (V_N)	100 anni
Classe d'uso	IV
Coefficiente d'uso (C_U)	2

Tab. 2.2 : periodo di riferimento per l'azione sismica

Pertanto il periodo di riferimento per l'azione sismica vale:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 100 \cdot 2 = 200 \text{ anni}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR0000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

2.1.2 PARAMETRI SISMICI DI BASE

In base alla posizione del sito in esame ed al periodo di riferimento considerato, si ottengono i seguenti parametri sismici di base:

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [sec]
SLO	120	0.133	2.330	0.324
SLD	201	0.172	2.358	0.337
SLV	1898	0.444	2.488	0.421
SLC	2475	0.492	2.502	0.436

Tab. 2.3 : parametri sismici di base

- dove: T_R = periodo di ritorno associato allo Stato Limite considerato;
- a_g = accelerazione orizzontale massima in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale;
- F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

2.1.3 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante un approccio semplificato che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento indicate nella Tabella 3.2.II del D.M. 14/01/2008.

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di</i>

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

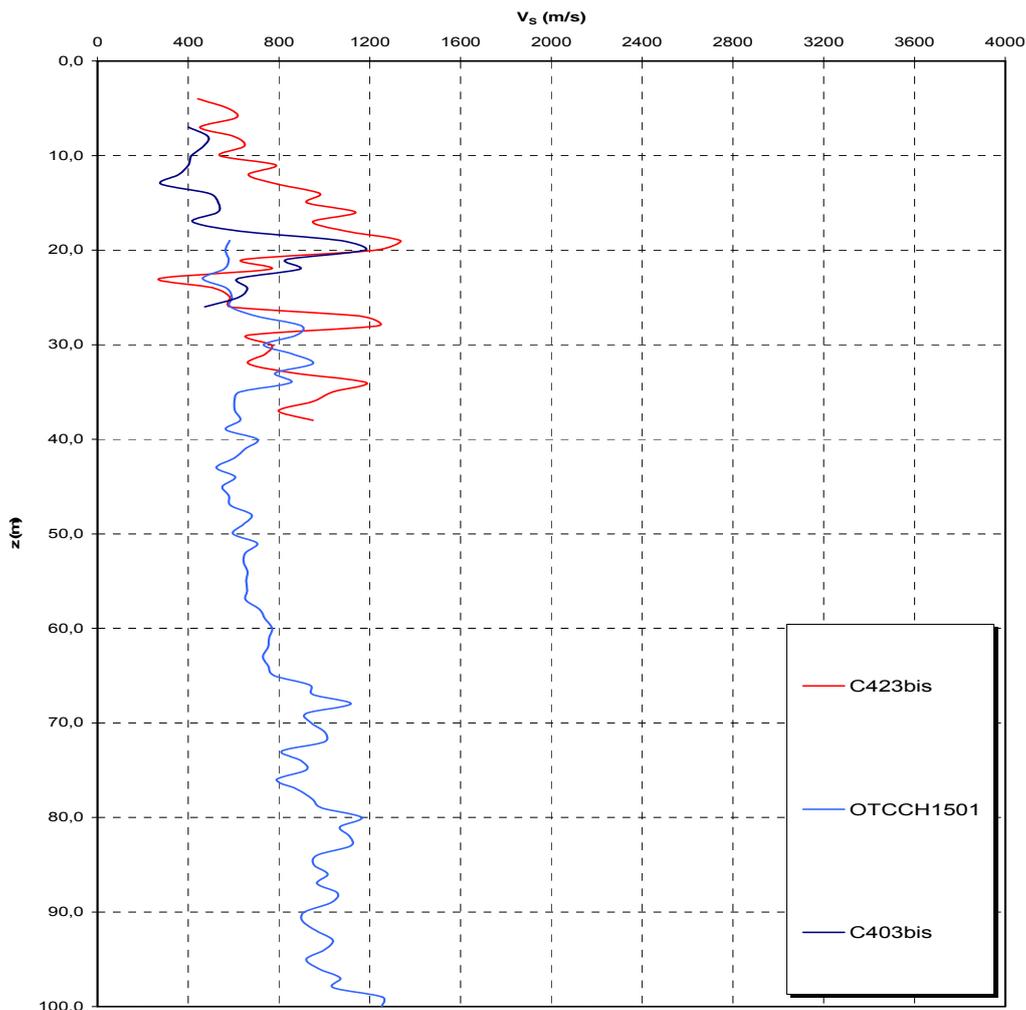
	$V_{s,30}$ compresi tra 360m/s e 800m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina media-mente consistenti, con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180m/s e 360m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i>

Tab. 2.4 : categoria suolo

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR0000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Il corpo di fabbrica 1 poggia direttamente sulla formazione del Conglomerato di Pezzo, per un'estensione planimetrica di circa 50 m dalla paratia di monte, la restante porzione di edificio è fondata sulla formazione delle Sabbie e Ghiaie di Messina per uno spessore variabile tra 0 e 15.00 m circa dal piano di imposta della platea di fondazione. Il piano di imposta della platea di fondazione si trova ad una profondità media dal piano di campagna pari a **11.50 m**.

Data l'esiguità delle prove localmente presenti, si è scelto di tenere conto anche delle prove effettuate nei sondaggi utilizzati per caratterizzare la zona in corrispondenza delle rampe di accesso alle gallerie (Rampe A/B/C/D 0-0+500). Per la caratterizzazione sismica del suolo nella zona in esame si dispone delle prove sismiche relative ai sondaggi **C403bis** **C423bis**.



Andamento delle Vs nelle verticali indagate

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Inoltre, è stato stimato il valore di $N_{spt,30}$ a partire dai dati delle prove penetrometriche in foro effettuate nei sondaggi **C404** e **C408**, prossimi all'opera in esame, per uno spessore di 30.00 m valutato, trattandosi di fondazioni superficiali, dal piano di imposta delle stesse.

□

□

$$N_{SPT,30} = \frac{\sum_{i=1,M} h_i}{\sum_{i=1,M} N_{SPT,i}}$$

h_i = Spessore in metri dello strato i-esimo

N_{SPT} = Valore di N_{spt} i-esimo

M = Numero di strati

Corpo 1 - C404

Strato	Litotipo	h_i [m]	N_{SPT}	Z	$h_i/N_{spt,i}$
h_1	Terreno di riporto	0	6	0.00	0.000
h_2	Paleosuolo	0	5	0.00	0.000
h_3	Sabbia con ghiaia	4.9	33.6	4.90	0.146
h_4	Sabbia da granito alterato	25.1	100	30.00	0.251
h_{totale}		30		$\Sigma h_i/N_{spt,i}$	0.397
$N_{spt,30} =$		30 / 0.397	=	75.60	B

Corpo 1 - C408

Strato	Litotipo	h_i [m]	N_{SPT}	Z	$h_i/N_{spt,i}$
h_1	Sabbia con ghiaia	0	45	0.00	0.000
h_2	Sabbia con ghiaia	3.9	100	3.90	0.039
h_3	Conglomerato di Pezzo	26.1	100	30.00	0.261
h_{totale}		30		$\Sigma h_i/N_{spt,i}$	0.300
$N_{spt,30} =$		30 / 0.300	=	100.00	B

Sulla base dei valori sopra riportati, si ritiene che il sottosuolo di progetto rientri nella **Categoria B**.

L'esame del sondaggio C404, mette in luce la presenza di materiali di riporto e uno strato dello spessore di circa 2.50 di limi argillosi, compreso fra 6.50 m e 8.90 m dal piano di campagna. Qualora la presenza di tale materiale fosse confermata in fase di scavo per il raggiungimento della quota di imposta, verrà eseguita l'asportazione totale di tale terreno con sostituzione a mezzo di materiale granulare adeguatamente compattato.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

2.1.3.1 COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Il coefficiente di amplificazione stratigrafica (S_s) può essere calcolato in funzione dei valori di F_0 e T_C^* relativi al sottosuolo di Categoria A, mediante le espressioni fornite nella Tabella 3.2.V del D.M. 14/01/2008.

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tab. 2.6 : espressioni di S_g e C_c

Pertanto si ha:

STATO LIMITE	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [sec]	S_s	
SLV	0.444	2.488	0.421	A	1.00
				B	1.00
				C	1.037
				D	0.90
				E	1.00

Per le componenti verticali del sisma, il coefficiente S_s assume sempre il valore unitario.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

2.1.3.2 COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

In accordo con la Tabella 3.2.IV del D.M. 14/01/2008, le caratteristiche topografiche del sito in cui sorge l'opera in progetto rientrano nella **Categoria T1**.

Tenendo conto delle condizioni topografiche ed in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, il valore del coefficiente di topografia (S_T) assume quindi un valore pari a 1.00, in accordo con quanto riportato nella Tabella 3.2.VI del D.M. 14/01/2008.

2.1.3.3 CALCOLO COEFFICIENTI SISMICI

Le **NTC 2008** calcolano i coefficienti K_h e K_v in dipendenza di vari fattori:

$$K_h = \beta \times (a_{\max}/g) \qquad K_v = \pm 0,5 \times K_h$$

β = coefficiente di riduzione accelerazione massima attesa al sito;

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

g = accelerazione di gravità;

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S S_T a_g$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica): $0.90 \leq S_S \leq 1.80$; è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

S_T (effetto di amplificazione topografica) per fondazioni in prossimità di pendii.

Il valore di S_T varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$$T1 (S_T = 1.0) \quad T2 (S_T = 1.20) \quad T3 (S_T = 1.20) \quad T4 (S_T = 1.40).$$

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR0000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

3 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per l'analisi dettagliata degli aspetti geologici e geomorfologici si rimanda ai seguenti elaborati:

Relazione tecnica illustrativa Indagini geognostiche	CG0800	Q	PR	D	C	RI	I5	00	00	00	00	01	A
Planimetria Indagini Geognostiche Calabria - Tavola 1	CG0800	Q	P6	D	C	RI	I5	00	00	00	00	01	A
Planimetria Indagini Geognostiche Calabria - Tavola 2	CG0800	Q	P6	D	C	RI	I5	00	00	00	00	02	A
Planimetria Indagini Geognostiche Calabria - Tavola 3	CG0800	Q	P6	D	C	RI	I5	00	00	00	00	03	A
Planimetria Indagini Geognostiche Calabria - Tavola 4	CG0800	Q	P6	D	C	RI	I5	00	00	00	00	04	A
Indagini geognostiche - Relazione generale	CG0000	P	RG	D	C	SB	C8	G0	00	00	00	01	A
Indagini geognostiche - Relazione sulle indagini sismiche	CG0000	P	RG	D	C	SB	C8	G0	00	00	00	02	A
Indagini geognostiche - Risultati prove di laboratorio	CG0000	P	RG	D	C	SB	C8	G0	00	00	00	03	A
caratterizzazione geotecnica - relazione geotecnica generale	CG0800	P	RB	D	C	SB	C8	G0	00	00	00	01	A
Relazione sismica generale	CG0800	P	RG	D	C	SB	C8	G0	00	00	00	01	A
Tracciato stradale - Ramo A													
Profilo geotecnico	CG0800	P	FZ	D	C	SB	C8	ST	00	00	00	01	A
Tracciato stradale - Ramo B													
Profilo geotecnico	CG0800	P	FZ	D	C	SB	C8	ST	00	00	00	02	A
Tracciato stradale - Ramo C													
Profilo geotecnico	CG0800	P	FZ	D	C	SB	C8	ST	00	00	00	03	A
Tracciato stradale - Ramo D													
Profilo geotecnico	CG0800	P	FZ	D	C	SB	C8	ST	00	00	00	04	A
Tracciato stradale - Rampa F													
Profilo geotecnico	CG0800	P	FZ	D	C	SB	C8	ST	00	00	00	05	A
Tracciato stradale - Rampa G													
Profilo geotecnico	CG0800	P	FZ	D	C	SB	C8	ST	00	00	00	06	A
Tracciato stradale - Rampa M													
Profilo geotecnico	CG0800	P	FZ	D	C	SB	C8	ST	00	00	00	07	A
Tracciato stradale - Rampa U													
Profilo geotecnico	CG0800	P	FZ	D	C	SB	C8	ST	00	00	00	08	A
Tracciato stradale - Rampa V													
Profilo geotecnico	CG0800	P	FZ	D	C	SB	C8	ST	00	00	00	09	A
Tracciato stradale - Ramo A accelerazione													
Profilo geotecnico	CG0800	P	FZ	D	C	SB	C8	ST	00	00	00	10	A
Tracciato stradale - Ramo C decelerazione													
Profilo geotecnico	CG0800	P	FZ	D	C	SB	C8	ST	00	00	00	11	A
Tracciato stradale - Ramo D decelerazione													
Profilo geotecnico	CG0800	P	FZ	D	C	SB	C8	ST	00	00	00	12	A

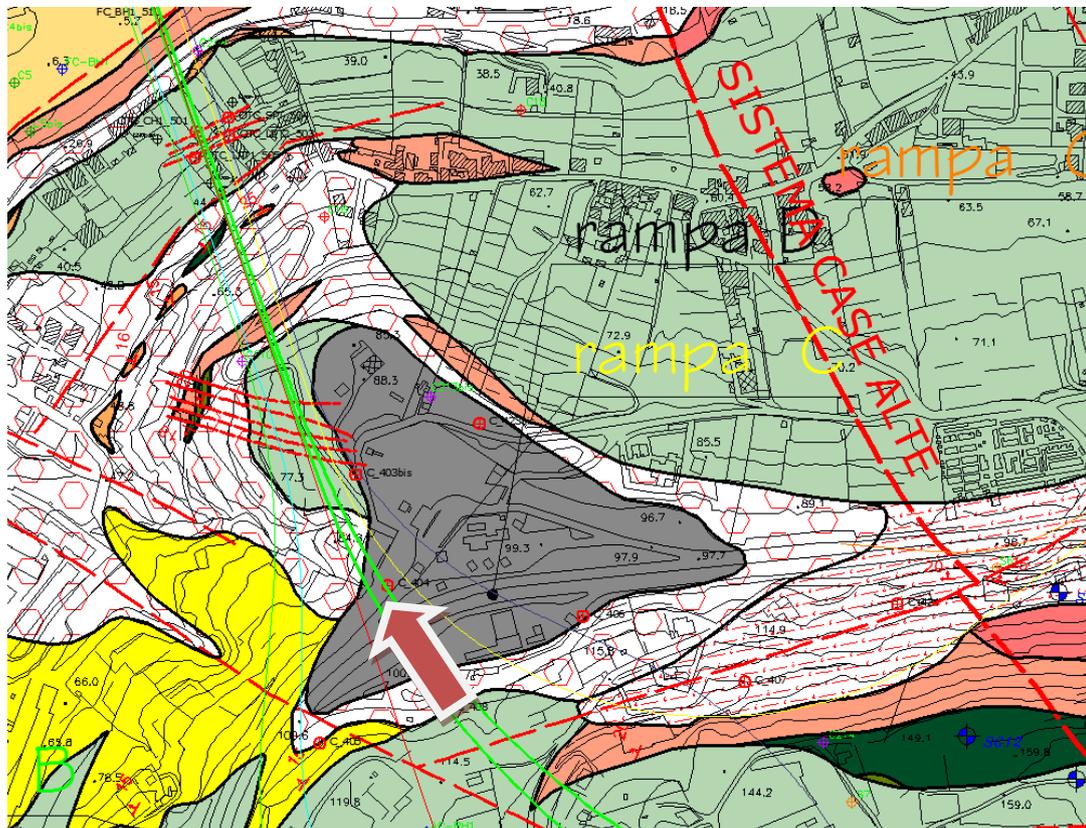
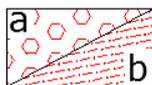


Fig. 3.1 – Stralcio della carta geologica con ubicazione della struttura



Ghiaie e sabbie di Messina.

Sabbie e ghiaie grigio giallastre, con abbondante matrice. I clasti sono da subarrotondati ad appiattiti, spesso embriciati. Sono presenti livelli e lenti di sabbie fini. Si presentano clinostratificati. Le facies sono attribuibili ad ambienti di tipo deltizio e/o conoide sottomarina. (PLEISTOCENE MEDIO)



Depositi di versante.

Depositi poco coesivi, costituiti da materiale spigoloso, poligenico ed eterometrico con matrice a grana fine (a), localmente si presenta con grossi blocchi. In località Case Alte il detrito si presenta con tessiture da medie a grossolane, subordinatamente fine, con laminazione incrociata e clinostratificato (b). (OLOCENE)



Riperto antropico.
(ATTUALE)



Conglomerato di Pezzo.

Conglomerato a matrice arenacea, da scarsamente a ben cementato, a stratificazione poco distinta, con passaggi laterali a livelli arenacei e sabbie grossolane. Gli elementi costituenti sono esclusivamente di natura cristallino-metamorfica. (TORTONIANO SUPERIORE)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR0000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

3.1.1 SABBIE E GHIAIE DI MESSINA

I materiali in oggetto sono granulometricamente descritti come ghiaie e ciottoli da sub arrotondati ad appiattiti con matrice di sabbie grossolane.

γ (kN/m ³)	18-20
c'_{picco} (kPa)	0
φ'_{picco} (°)	38° ÷ 40° (p'ff=0-272KPa) / 35° ÷ 38° (p'ff=272-350KPa)
C_{residuo} ' (kPa)	0
φ_{cv} ' (°)	33-35°
k_o (-)	0.45-0.55
V_s (m/sec)	200 + 7 z
G'_o	$G'_o = 1780 \cdot p_a \cdot \left(\frac{p'_o}{p_a}\right)^{0.65}$
$E' *$	$E' = (17 + 40) \cdot (z)^{0.7}$
v'	0.2
K (m/s)	$10^{-4} - 10^{-5}$

TAB. 3.3 – caratteristiche sabbia e ghiaie di Messina

3.1.2 RIPORTO ANTROPICO

γ (kN/m ³)	19-21
c'_{picco} (kPa)	0
φ'_{picco} (°)	35°
C_{residuo} ' (kPa)	0
φ_{cv} ' (°)	33°
k_o (-)	1-sen φ'
E'	30 MPa
v'	0.2

TAB. 3.4 – caratteristiche del Riporto Antropico

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR0000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

3.1.3 CONGLOMERATO DI PEZZO

Il conglomerato di Pezzo è la litologia stratigraficamente più bassa della successione sedimentaria. La sua potenza è superiore ai 200 m. Il conglomerato è composto prevalentemente da clasti di graniti e gneiss cementati in matrice prevalentemente composta da frazioni arenacee fini e limose. Le dimensioni dei clasti sono eterogenee e variabili da pochi mm fino a blocchi superiori al metro, interpretati come grossi trovanti inglobati nel conglomerato. Negli affioramenti la formazione presenta un aspetto litoide con scarpate stabili. Il Conglomerato di Pezzo ha quindi generalmente caratteristiche assimilabili a quelle di rocce tenere.

γ (kN/m ³)	20-22
c' picco (kPa)	0-100
φ' picco (°)	38°÷42°
$C_{residuo}'$ (kPa)	0
φ_{cv}' (°)	33-35
k_o (-)	0.7- 0.9
V_s (m/sec)	$V_s = 280 \cdot (z)^{0.2}$
G'_o	$G'_o = 3000 \cdot p_a \cdot \left(\frac{p'_o}{p_a} \right)^{0.50}$
$E' *$	$E' = 150-300$ (z 0 -20m) $E' = 300-500$ (20 - 35m)
ν'	0.2-0.3
K (m/s)	10^{-7}

TAB. 3.5 – caratteristiche conglomerato di Pezzo

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR0000007F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

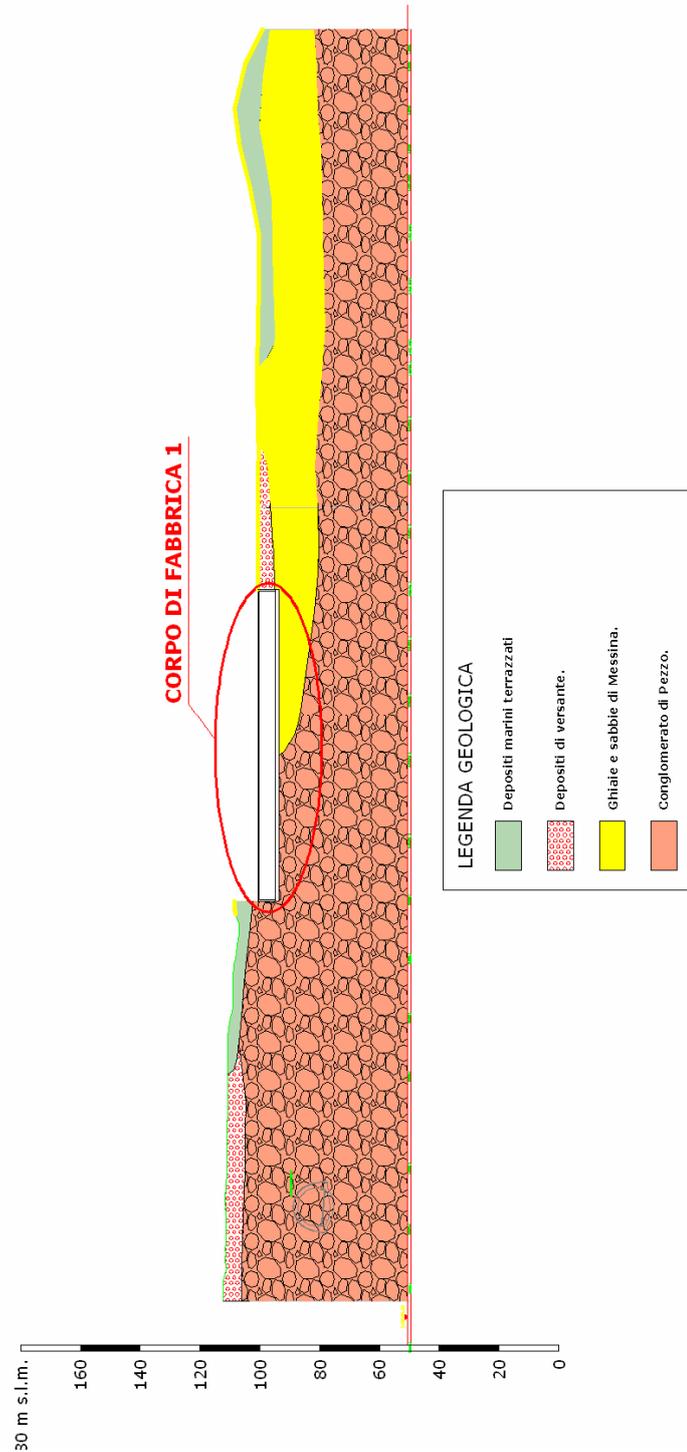


Fig. 3.4 : Profilo geotecnico

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni</p>		<p><i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR0000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4 MODELLO DI CALCOLO

4.1 PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO

Le analisi, per il calcolo della capacità portante, sono state condotte con l'ausilio del codice di calcolo commerciale "LoadCap" della Geostru.

Poiché si è in fase di progettazione definitiva, il calcolo è stato condotto cautelativamente considerando, per semplicità, una platea rettangolare equivalente e applicando le correnti formulazioni di letteratura. Si rimanda alla fase esecutiva una stima più specifica delle caratteristiche di portanza e deformative dei terreni di fondazione, la valutazione della quale implica modelli di calcolo e di interazione terreno struttura più sofisticati per la cui taratura si rende necessario il livello geognostico di approfondimento tipico delle successive fasi di progettazione. Il software effettua il calcolo con i diversi metodi elencati nel paragrafo successivo, individuando quello che fornisce il valore più basso del carico limite.

4.2 CALCOLO DEL CARICO LIMITE

Il carico limite di una fondazione superficiale può essere definito con riferimento a quel valore massimo del carico per il quale in nessun punto del sottosuolo si raggiunge la condizione di rottura (metodo di Frolich), oppure con riferimento a quel valore del carico, maggiore del precedente, per il quale il fenomeno di rottura si è esteso ad un ampio volume del suolo (metodo di Prandtl e successivi).

Prandtl ha studiato il problema della rottura di un semispazio elastico per effetto di un carico applicato sulla sua superficie con riferimento all'acciaio, caratterizzando la resistenza a rottura con una legge del tipo:

$$\tau = c + \sigma \times \operatorname{tg} \varphi \quad \text{valida anche per i terreni.}$$

Le ipotesi e le condizioni introdotte dal Prandtl sono le seguenti:

- Materiale privo di peso e quindi $\gamma=0$
- Comportamento rigido - plastico
- Resistenza a rottura del materiale esprimibile con la relazione $\tau=c + \sigma \times \operatorname{tg} \varphi$
- Carico uniforme, verticale ed applicato su una striscia di lunghezza infinita e di larghezza

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR0000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

2b (stato di deformazione piana)

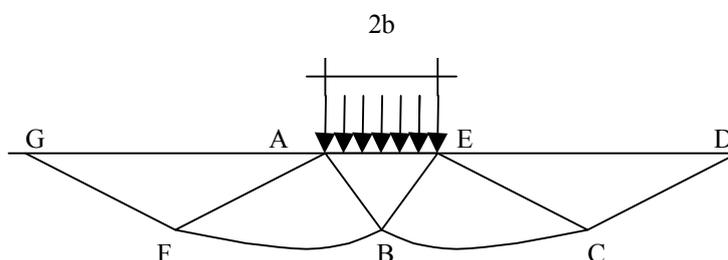
- Tensioni tangenziali nulle al contatto fra la striscia di carico e la superficie limite del semispazio.

All'atto della rottura si verifica la plasticizzazione del materiale racchiuso fra la superficie limite del semispazio e la superficie *GFBCD*.

Nel triangolo *AEB* la rottura avviene secondo due famiglie di segmenti rettilinei ed inclinati di $45^\circ + \varphi/2$ rispetto all'orizzontale.

Nelle zone *ABF* e *EBC* la rottura si produce lungo due famiglie di linee, l'una costituita da segmenti rettilinei passanti rispettivamente per i punti *A* ed *E* e l'altra da archi di due famiglie di spirali logaritmiche.

I poli di queste sono i punti *A* ed *E*. Nei triangoli *AFG* e *ECD* la rottura avviene su segmenti inclinati di $\pm(45^\circ + \varphi/2)$ rispetto alla verticale.



Individuato così il volume di terreno portato a rottura dal carico limite, questo può essere calcolato scrivendo la condizione di equilibrio fra le forze agenti su qualsiasi volume di terreno delimitato in basso da una qualunque delle superfici di scorrimento.

Si arriva quindi ad una equazione $q = B \times c$, dove il coefficiente *B* dipende soltanto dall'angolo di attrito φ del terreno.

$$B = \cot g \varphi \left[e^{\frac{\pi \operatorname{tg} \varphi}{2} (45^\circ + \varphi/2)} - 1 \right]$$

Per $\varphi = 0$ il coefficiente *B* risulta pari a 5.14, quindi $q = 5.14 \times c$.

Nell'altro caso particolare di terreno privo di coesione ($c=0$, $\gamma \neq 0$) risulta $q=0$, secondo la teoria di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Prandtl, non sarebbe dunque possibile applicare nessun carico sulla superficie limite di un terreno incoerente.

Da questa teoria, anche se non applicabile praticamente, hanno preso le mosse tutte le ricerche ed i metodi di calcolo successivi.

Infatti **Caquot** si pose nelle stesse condizioni di Prandtl ad eccezione del fatto che la striscia di carico non è più applicata sulla superficie limite del semispazio, ma a una profondità h , con $h \leq 2b$; il terreno compreso tra la superficie e la profondità h ha le seguenti caratteristiche: $\gamma \neq 0$, $\varphi = 0$, $c = 0$ e cioè sia un mezzo dotato di peso ma privo di resistenza.

Risolvendo le equazioni di equilibrio si arriva all'espressione:

$$q = A \times \gamma_1 + B \times c$$

che è sicuramente è un passo avanti rispetto a Prandtl, ma che ancora non rispecchia la realtà.

Metodo di Terzaghi (1955)

Terzaghi, proseguendo lo studio di Caquot, ha apportato alcune modifiche per tenere conto delle effettive caratteristiche dell'insieme opera di fondazione-terreno.

Sotto l'azione del carico trasmesso dalla fondazione il terreno che si trova a contatto con la fondazione stessa tende a sfuggire lateralmente, ma ne è impedito dalle resistenze tangenziali che si sviluppano fra la fondazione ed il terreno. Ciò comporta una modifica dello stato tensionale nel terreno posto direttamente al di sotto della fondazione; per tenerne conto **Terzaghi** assegna ai lati AB ed EB del cuneo di Prandtl una inclinazione ψ rispetto all'orizzontale, scegliendo il valore di ψ in funzione delle caratteristiche meccaniche del terreno al contatto terreno-opera di fondazione.

L'ipotesi $\gamma_2 = 0$ per il terreno sotto la fondazione viene così superata ammettendo che le superfici di rottura restino inalterate, l'espressione del carico limite è quindi:

$$q = A \times \gamma \times h + B \times c + C \times \gamma \times b$$

in cui C è un coefficiente che risulta funzione dell'angolo di attrito φ del terreno posto al di sotto del

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

piano di posa e dell'angolo φ prima definito;

b è la semilarghezza della striscia.

Inoltre, basandosi su dati sperimentali, *Terzaghi* passa dal problema piano al problema spaziale introducendo dei fattori di forma.

Un ulteriore contributo è stato apportato da *Terzaghi* sull'effettivo comportamento del terreno.

Nel metodo di Prandtl si ipotizza un comportamento del terreno rigido-plastico, *Terzaghi* invece ammette questo comportamento nei terreni molto compatti.

In essi, infatti, la curva carichi-cedimenti presenta un primo tratto rettilineo, seguito da un breve tratto curvilineo (comportamento elasto-plastico); la rottura è istantanea ed il valore del carico limite risulta chiaramente individuato (rottura generale).

In un terreno molto sciolto invece la relazione carichi-cedimenti presenta un tratto curvilineo accentuato fin dai carichi più bassi per effetto di una rottura progressiva del terreno (rottura locale); di conseguenza l'individuazione del carico limite non è così chiara ed evidente come nel caso dei terreni compatti.

Per i terreni molto sciolti, *Terzaghi* consiglia di prendere in considerazione il carico limite il valore che si calcola con la formula precedente introducendo però dei valori ridotti delle caratteristiche meccaniche del terreno e precisamente:

$$tg\varphi_{rid} = 2/3 \times tg\varphi \text{ e } c_{rid} = 2/3 \times c$$

Esplicitando i coefficienti della formula precedente, la formula di *Terzaghi* può essere scritta:

$$q_{ult} = c \times N_c \times s_c + \gamma \times D \times N_q + 0.5 \times \gamma \times B \times N_\gamma \times s_\gamma$$

dove:

$$N_q = \frac{a^2}{2 \cos^2 (45 + \varphi/2)}$$

$$a = e^{(0.75\pi - \varphi/2) \tan \varphi}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$$

$$N_\gamma = \frac{\tan \varphi}{2} \left(\frac{K p \gamma}{\cos^2 \varphi} - 1 \right)$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Formula di Meyerhof (1963)

Meyerhof propose una formula per il calcolo del carico limite simile a quella di Terzaghi.; le differenze consistono nell'introduzione di ulteriori coefficienti di forma.

Egli introdusse un coefficiente s_q che moltiplica il fattore N_q , fattori di profondità d_i e di pendenza i_j per il caso in cui il carico trasmesso alla fondazione è inclinato sulla verticale.

I valori dei coefficienti N furono ottenuti da Meyerhof ipotizzando vari archi di prova BF (v. meccanismo Prandtl) , mentre il taglio lungo i piani AF aveva dei valori approssimati.

I fattori di forma tratti da Meyerhof sono di seguito riportati, insieme all'espressione della formula.

$$\begin{aligned}
 \text{Carico verticale} \quad q_{ult} &= c \times N_c \times s_c \times d_c + \gamma \times D \times N_q \times s_q \times d_q + 0.5 \times \gamma \times B \times N_\gamma \times s_\gamma \times d_\gamma \\
 \text{Carico inclinato} \quad q_{ult} &= c \times N_c \times i_c \times d_c + \gamma \times D \times N_q \times i_q \times d_q + 0.5 \times \gamma \times B \times N_\gamma \times i_\gamma \times d_\gamma
 \end{aligned}$$

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan^2(45 + \varphi / 2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\varphi)$$

fattore di forma:

$$s_c = 1 + 0.2k_p \frac{B}{L} \quad \text{per } \varphi > 10$$

$$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1k_p \frac{B}{L} \quad \text{per } \varphi = 0$$

fattore di profondità:

$$d_c = 1 + 0.2\sqrt{k_p} \frac{D}{B}$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1\sqrt{k_p} \frac{D}{B} \quad \text{per } \varphi > 10$$

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad \text{per } \varphi = 0$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

inclinazione:

$$i_c = i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta}{90}\right)^2$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta}{\varphi}\right)^2 \quad \text{per } \varphi > 0$$

$$i_\gamma = 0 \quad \text{per } \varphi = 0$$

dove :

$$K_p = \tan^2(45^\circ + \varphi/2)$$

θ = Inclinazione della risultante sulla verticale.

Formula di Hansen (1970)

E' una ulteriore estensione della formula di *Meyerhof*, le estensioni consistono nell'introduzione di b_j che tiene conto della eventuale inclinazione sull'orizzontale del piano di posa e un fattore g_j per terreno in pendenza.

La formula di Hansen vale per qualsiasi rapporto D/B , quindi sia per fondazioni superficiali che profonde, ma lo stesso autore introdusse dei coefficienti per meglio interpretare il comportamento reale della fondazione, senza di essi, infatti, si avrebbe un aumento troppo forte del carico limite con la profondità.

Per valori di $D/B < 1$

$$d_c = 1 + 0.4 \frac{D}{B}$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \varphi (1 - \sin \varphi)^2 \frac{D}{B}$$

Per valori $D/B > 1$:

$$d_c = 1 + 0.4 \tan^{-1} \frac{D}{B}$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \varphi (1 - \sin \varphi)^2 \tan^{-1} \frac{D}{B}$$

Nel caso $\varphi = 0$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

D/B	0	1	1.1	2	5	10	20	100
d' _c	0	0.40	0.33	0.44	0.55	0.59	0.61	0.62

Nei fattori seguenti le espressioni con apici (') valgono quando $\varphi=0$.

Fattore di forma:

$$s'_c = 0.2 \frac{B}{L}$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{B}{L}$$

$$s_c = 1 \quad \text{per fondazioni nastriformi}$$

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \varphi$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$$

Fattore di profondità:

$$d'_c = 0.4k$$

$$d_c = 1 + 0.4k$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \varphi (1 - \sin \varphi) k$$

$$d_\gamma = 1 \quad \text{per qualsiasi } \varphi$$

$$k = \frac{D}{B} \quad \text{se } \frac{D}{B} \leq 1$$

$$k = \tan^{-1} \frac{D}{B} \quad \text{se } \frac{D}{B} > 1$$

Fattori di inclinazione del carico

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$i'_c = 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{A_f c_a}}$$

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

$$i_q = \left(1 - \frac{0.5H}{V + A_f c_a \cot \varphi} \right)^5$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{0.7H}{V + A_f c_a \cot \varphi} \right)^5 \quad (\eta = 0)$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{(0.7 - \eta/450)H}{V + A_f c_a \cot \varphi} \right)^5 \quad (\eta > 0)$$

Fattori di inclinazione del terreno (fondazione su pendio):

$$g'_c = \frac{\beta}{147}$$

$$g_c = 1 - \frac{\beta}{147}$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0.5 \tan \beta)^5$$

Fattori di inclinazione del piano di fondazione (base inclinata)

$$b'_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$b_q = \exp(-2\eta \tan \varphi)$$

$$b_\gamma = \exp(-2.7\eta \tan \varphi)$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Formula di Vesic (1975)

La formula di Vesic è analoga alla formula di Hansen, con N_q ed N_c come per la formula di Meyerhof ed N_γ come sotto riportato:

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \cdot \tan(\varphi)$$

I fattori di forma e di profondità che compaiono nelle formule del calcolo della capacità portante sono uguali a quelli proposti da Hansen; alcune differenze sono invece riportate nei fattori di inclinazione del carico, del terreno (fondazione su pendio) e del piano di fondazione (base inclinata).

Formula Brich-Hansen (EC 7 – EC 8)

Affinché una fondazione possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale, per tutte le combinazioni di carico relative allo SLU (stato limite ultimo), deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$V_d \leq R_d$$

Dove V_d è il carico di progetto allo SLU, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso della fondazione stessa; 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

$s_c = 1 + 0,2 (B'/L')$ per fondazioni rettangolari

$s_c = 1,2$ Per fondazioni quadrate o circolari.

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

$$i_c = 0,5 \left(1 + \sqrt{1 - H/A' c_u} \right)$$

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Dove:

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

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

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

Fattori di forma:

$$s_q = 1 + (B'/L') \sin \phi' \text{ per forma rettangolare}$$

$$s_q = 1 + \sin \phi' \text{ per forma quadrata o circolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3(B'/L') \text{ per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 0,7 \text{ per forma quadrata o circolare}$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1) \text{ per forma rettangolare, quadrata o circolare.}$$

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

$$i_q = i_{\square} = 1 - H / (V + A' c' \cot \phi') \qquad i_c = (i_q N_q - 1) / (N_q - 1)$$

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

$$i_q = [1 - 0,7H / (V + A' c' \cot \phi')]^3$$

$$i_\gamma = [1 - H / (V + A' c' \cot \phi')]^3$$

$$i_c = (i_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$$

Oltre ai fattori correttivi di cui sopra sono considerati quelli complementari della profondità del piano di posa e dell'inclinazione del piano di posa e del piano campagna (Hansen).

4.2.1 FATTORI CORRETTIVI SISMICI: PAOLUCCI E PECKER

Per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma sulla determinazione del q_{lim} vengono introdotti i fattori correttivi z:

$$z_q = \left(1 - \frac{k_h}{\tan \phi}\right)^{0,35}$$

$$z_c = 1 - 0,32 \cdot k_h$$

$$z_\gamma = z_q$$

Dove k_h è il coefficiente sismico orizzontale.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4.2.2 CALCOLO CEDIMENTI ELASTICI

I cedimenti di una fondazione rettangolare di dimensioni B×L posta sulla superficie di un semispazio elastico si possono calcolare in base ad una equazione basata sulla teoria dell'elasticità (Timoshenko e Goodier (1951)):

$$\Delta H = q_0 B' \frac{1-\mu^2}{E_s} \left(I_1 + \frac{1-2\mu}{1-\mu} I_2 \right) I_F \quad (1)$$

dove:

q_0 = Intensità della pressione di contatto

B' = Minima dimensione dell'area reagente,

E e μ = Parametri elastici del terreno.

I_j = Coefficienti di influenza dipendenti da: L'/B' , spessore dello strato H , coefficiente di Poisson μ , profondità del piano di posa D ;

I coefficienti I_1 e I_2 si possono calcolare utilizzando le equazioni fornite da *Steinbrenner (1934)* (V. Bowles), in funzione del rapporto L'/B' ed H/B , utilizzando $B'=B/2$ e $L'=L/2$ per i coefficienti relativi al centro e $B'=B$ e $L'=L$ per i coefficienti relativi al bordo.

Il coefficiente di influenza I_F deriva dalle equazioni di *Fox (1948)*, che indicano il cedimento si riduce con la profondità in funzione del coefficiente di *Poisson* e del rapporto L/B .

In modo da semplificare l'equazione (1) si introduce il coefficiente I_S :

$$I_S = I_1 + \frac{1-2\mu}{1-\mu} I_2$$

Il cedimento dello strato di spessore H vale:

$$\Delta H = q_0 B' \frac{1-\mu^2}{E_s} I_S I_F$$

Per meglio approssimare i cedimenti si suddivide la base di appoggio in modo che il punto si trovi in corrispondenza di uno spigolo esterno comune a più rettangoli. In pratica si moltiplica per un fattore pari a 4 per il calcolo dei cedimenti al centro e per un fattore pari a 1 per i

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

cedimenti al bordo.

Nel calcolo dei cedimenti si considera una profondità del bulbo delle tensioni pari a $5B$, se il substrato roccioso si trova ad una profondità maggiore.

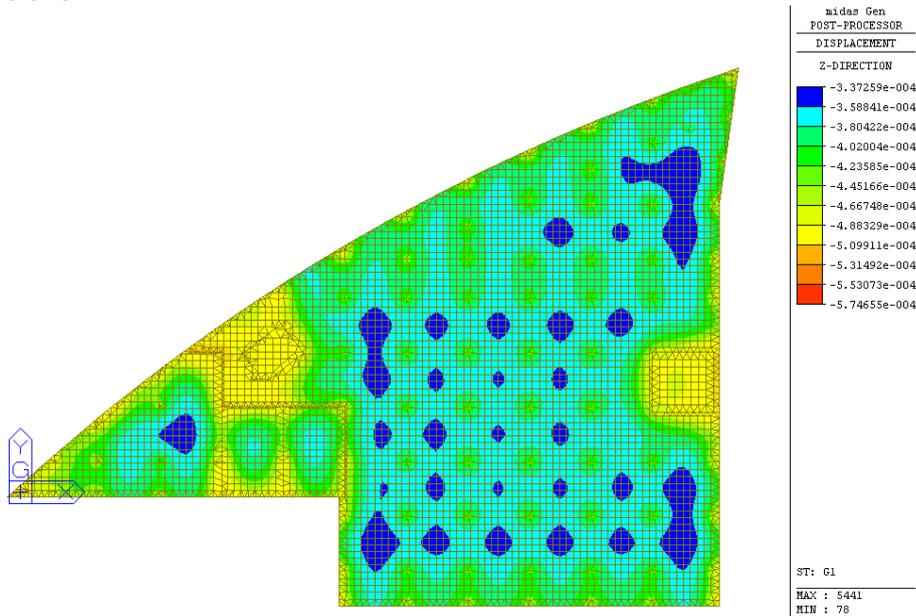
A tal proposito viene considerato substrato roccioso lo strato che ha un valore di E pari a 10 volte dello strato soprastante.

Il modulo elastico per terreni stratificati viene calcolato come media pesata dei moduli elastici degli strati interessati dal cedimento immediato.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR0000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

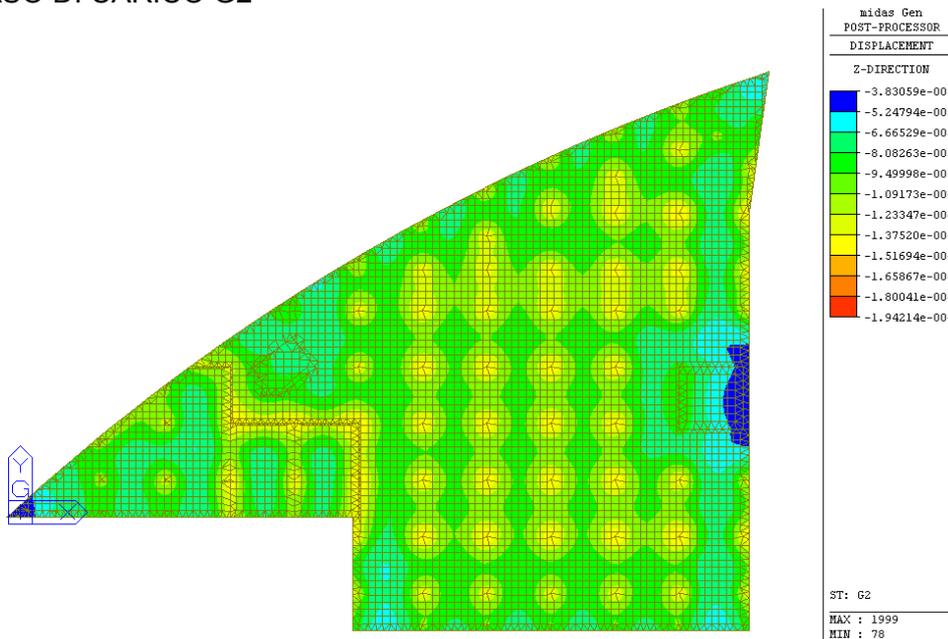
5 AZIONI TRASMESSE DALLA STRUTTURA

CASO DI CARICO G1



La pressione di picco è pari a: 28.73 KN/m²

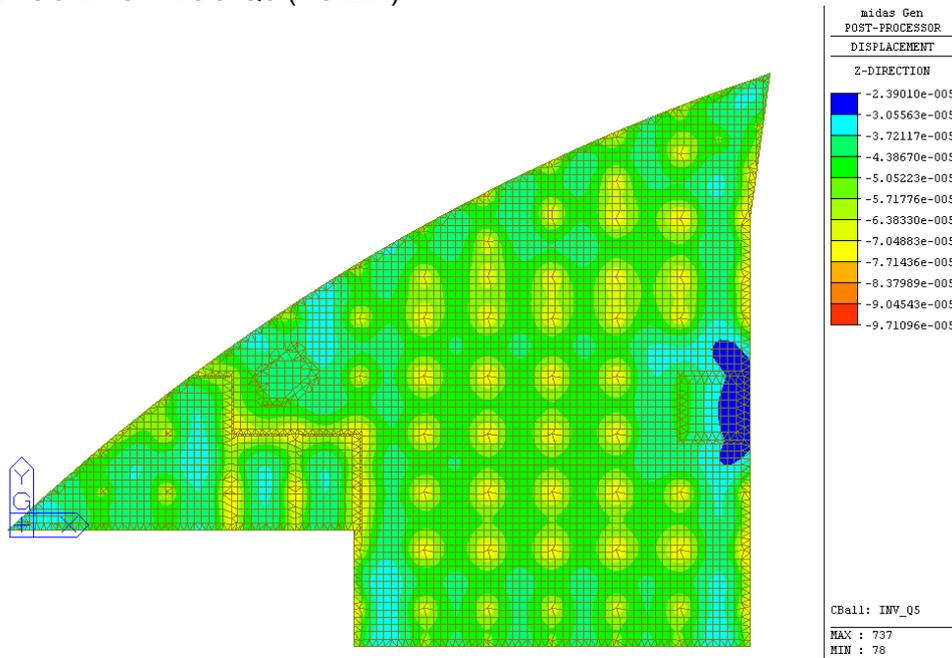
CASO DI CARICO G2



La pressione di picco è pari a: 9.71 KN/m²

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR0000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

CASO DI CARICO Q5 (FOLLA)



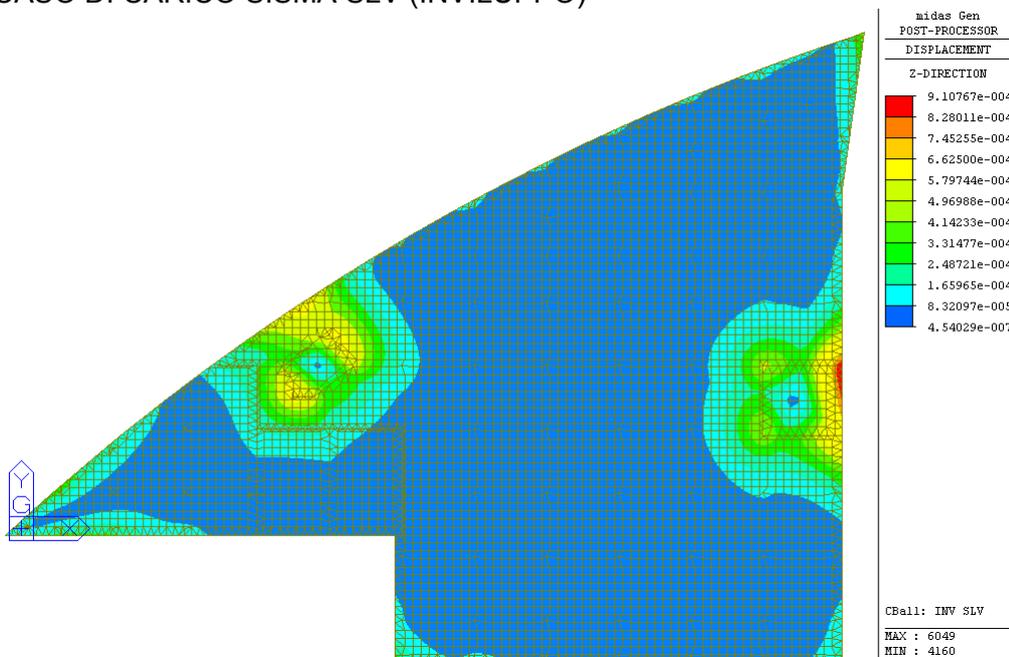
La pressione di picco è pari a: 4.85 KN/m²

CASO DI CARICO Q1 (TRAFFICO)

La pressione di picco è pari a: 2.14 KN/m²

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR0000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

CASO DI CARICO SISMA SLV (INVILUPPO)



La pressione di picco è pari a: 45.53 KN/m²

6 RISULTATI DI CALCOLO

6.1 VERIFICHE DI CAPACITÀ PORTANTE

La verifica è stata condotta con riferimento al collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno, con riferimento alle seguenti combinazioni di carico, di cui vengono riportati i risultati relativi alle combinazioni più sfavorevoli:

	COMBINAZIONE	CARICO [kPa]
A1+M1+R3	1,3 G1 + 1,5G2+1.35Q1	54.80
	1,3G1+1,5G2+1,5Q1	55.12
SISMA	G1+G2+0,6 Q1 +SLVinv	85.25
S.L.E	G1+G2+0,6 Q5	41.35

La combinazione di carico in esercizio S.L.E. è utilizzata per il calcolo dei cedimenti elastici.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR0000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Il calcolo è stato condotto assumendo una profondità dello stato sabbioso pari a 15.00 m.

I risultati delle analisi sono di seguito riassunti:

Nome combinazione	Autore	Carico limite [Qult] (kN/m ²)	Resistenza di progetto [Rd] (kN/m ²)	Tensione [Ed] (kN/m ²)	Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed]	Condizione di verifica [Ed<Rd]	Tipo rottura
A1+M1+R3							
	HANSEN (1970)	13852.81	6022.96	55.12	251.32	Verificata	* Rottura per punzonamento ; Ir=147.362; Icrit=262.329
	TERZAGHI (1955)	22106.90	9611.70	55.12	401.07	Verificata	* Rottura per punzonamento ; Ir=147.362; Icrit=262.329
	MEYERHOF (1963)	23752.31	10327.09	55.12	430.92	Verificata	* Rottura per punzonamento ; Ir=147.362; Icrit=262.329
	VESIC (1975)	13964.88	6071.69	55.12	253.35	Verificata	* Rottura per punzonamento ; Ir=147.362; Icrit=262.329
	Brinch - Hansen 1970	14641.42	6365.84	55.12	265.63	Verificata	* Rottura per punzonamento ; Ir=147.362; Icrit=262.329
Sisma							
	HANSEN (1970)	3276.79	1424.69	85.25	38.44	Verificata	* Rottura per punzonamento ; Ir=147.362; Icrit=262.329
	TERZAGHI (1955)	4415.63	1919.84	85.25	51.8	Verificata	* Rottura per punzonamento ; Ir=147.362; Icrit=262.329
	MEYERHOF (1963)	4654.98	2023.91	85.25	54.6	Verificata	* Rottura per punzonamento ; Ir=147.362; Icrit=262.329
*	VESIC (1975)	3007.33	1307.53	85.25	35.28	Verificata	* Rottura per punzonamento ; Ir=147.362; Icrit=262.329
	Brinch - Hansen 1970	3327.54	1446.76	85.25	39.03	Verificata	* Rottura per punzonamento ; Ir=147.362; Icrit=262.329

Da tale confronto risulta che le azioni di calcolo sono in ogni punto inferiori al valore della resistenza del terreno e pertanto la verifica risulta soddisfatta.

6.2 CALCOLO DEI CEDIMENTI IN ESERCIZIO

Per quanto concerne invece lo Stato limite di Esercizio, si riportano di seguito i valori del cedimenti

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

elastici stimati.

=====	
Pressione normale di progetto	99.05 kN/m ²
Spessore dello strato	15.0 m
Profondità substrato roccioso	15.0 m
Modulo Elastico	70000.0 kN/m ²
Coefficiente di Poisson	0.2
=====	
Coefficiente di influenza I1	0.13
Coefficiente di influenza I2	0.11
Coefficiente di influenza Is	0.21
=====	
Cedimento al centro della fondazione	10.83 mm
=====	
Coefficiente di influenza I1	0.04
Coefficiente di influenza I2	0.08
Coefficiente di influenza Is	0.1
Cedimento al bordo	2.69 mm

7 TABULATI DI CALCOLO

DATI GENERALI

=====	
Azione sismica	NTC 2008
Lat./ Long. [WGS84]	38.229234/15.647599
Larghezza fondazione	30.0 m
Lunghezza fondazione	55.0 m
Profondità piano di posa	1.0 m
Altezza di incastro	1.0 m
=====	

SISMA

=====	
Accelerazione massima (ag/g)	0.444
Effetto sismico secondo	NTC(C7.11.5.3.1)
Fattore di struttura [q]	3
Periodo fondamentale vibrazione [T]	0.323

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		Codice documento CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0	Rev F0	Data 20/06/2011

15.0	19.0	20.0	38.0	38	0.0	0.0	0.0	70000.0	0.0	Sabbie e ghiaie di Messina
20.0	21.0	22.0	40.0	40	0.0	0.0	0.0	150000	0.0	Conglomerato di Pezzo

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazioni	Pressione normale di progetto [kN/m ²]	Tipo
1	A1+M1+R3	55.12	Progetto
2	Sisma	85.25	Progetto
3	S.L.E.	41.35	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Capacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2.3	1.1
2	Si	1	1	1	1	1	2.3	1.1
3	No	1	1	1	1	1	1	1

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...Sisma

Autore: VESIC (1975)

Carico limite [Qult]	3007.33 kN/m ²
Resistenza di progetto [Rd]	1307.53 kN/m ²
Tensione [Ed]	85.25 kN/m ²
Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed]	35.28
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 120293.0 kN/m³

A1+M1+R3

Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	48.93
Fattore [Nc]	61.35
Fattore [Ng]	56.17
Fattore forma [Sc]	1.44
Fattore profondità [Dc]	1.01
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.43
Fattore profondità [Dq]	1.01
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.78
Fattore profondità [Dg]	1.0

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	13852.81 kN/m ²
Resistenza di progetto	6022.96 kN/m ²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	61.55
Fattore [Nc]	77.5
Fattore [Ng]	73.47
Fattore forma [Sc]	1.0
Fattore forma [Sg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	22106.9 kN/m ²
Resistenza di progetto	9611.7 kN/m ²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

Autore: MEYERHOF (1963) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	48.93
Fattore [Nc]	61.35
Fattore [Ng]	64.07
Fattore forma [Sc]	1.46
Fattore profondità [Dc]	1.01
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.23
Fattore profondità [Dq]	1.01
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore forma [Sg]	1.23
Fattore profondità [Dg]	1.01
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	23752.31 kN/m ²
Resistenza di progetto	10327.09 kN/m ²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Autore: VESIC (1975) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	48.93
Fattore [Nc]	61.35
Fattore [Ng]	78.02
Fattore forma [Sc]	1.44
Fattore profondità [Dc]	1.01
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.43
Fattore profondità [Dq]	1.01
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.78
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	13964.88 kN/m ²
Resistenza di progetto	6071.69 kN/m ²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	48.93
Fattore [Nc]	61.35
Fattore [Ng]	56.17
Fattore forma [Sc]	1.34
Fattore profondità [Dc]	1.01
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.34
Fattore profondità [Dq]	1.01
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.84
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	14641.42 kN/m ²
Resistenza di progetto	6365.84 kN/m ²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

Sisma

Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	48.93
Fattore [Nc]	61.35
Fattore [Ng]	56.17
Fattore forma [Sc]	1.44
Fattore profondità [Dc]	1.01
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.43
Fattore profondità [Dq]	1.01
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.78
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	0.16
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	3276.79 kN/m ²
Resistenza di progetto	1424.69 kN/m ²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	61.55
Fattore [Nc]	77.5
Fattore [Ng]	73.47
Fattore forma [Sc]	1.0
Fattore forma [Sg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	0.16
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Corpo di fabbrica 1 – Relazione sulle fondazioni		<i>Codice documento</i> CG0700PRGDCCD1CPR00000007F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

=====
Carico limite 4415.63 kN/m²
Resistenza di progetto 1919.84 kN/m²

=====
Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata
=====

Autore: MEYERHOF (1963) (Condizione drenata)

=====
Fattore [Nq] 48.93
Fattore [Nc] 61.35
Fattore [Ng] 64.07
Fattore forma [Sc] 1.46
Fattore profondità [Dc] 1.01
Fattore inclinazione carichi [Ic] 1.0
Fattore forma [Sq] 1.23
Fattore profondità [Dq] 1.01
Fattore inclinazione carichi [Iq] 1.0
Fattore forma [Sg] 1.23
Fattore profondità [Dg] 1.01
Fattore inclinazione carichi [Ig] 1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq] 1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg] 0.16
Fattore correzione sismico inerziale [zc] 1.0
=====

=====
Carico limite 4654.98 kN/m²
Resistenza di progetto 2023.91 kN/m²

=====
Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata
=====

Autore: VESIC (1975) (Condizione drenata)

=====
Fattore [Nq] 48.93
Fattore [Nc] 61.35
Fattore [Ng] 78.02
Fattore forma [Sc] 1.44
Fattore profondità [Dc] 1.01
Fattore inclinazione carichi [Ic] 1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc] 1.0
Fattore inclinazione base [Bc] 1.0
Fattore forma [Sq] 1.43
Fattore profondità [Dq] 1.01
Fattore inclinazione carichi [Iq] 1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq] 1.0
Fattore inclinazione base [Bq] 1.0
Fattore forma [Sg] 0.78
Fattore profondità [Dg] 1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig] 1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg] 1.0
Fattore inclinazione base [Bg] 1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq] 1.0
=====

