

# 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>IL PROGETTISTA  <b>edin s.r.l.</b>  <b>società di ingegneria</b>                  Dott. Ing. M. Colasanti                  Ordine Ingegneri Roma                  N° 20684                  Dott. Ing. E. Pagani                  Ordine Ingegneri Milano                  n° 15408</p> 	<p>IL CONTRAENTE GENERALE                  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>
--	---	--	---

<p><i>Unità Funzionale</i> L'OPERA DI ATTRAVERSAMENTO  <i>Tipo di sistema</i> PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE  <i>Raggruppamento di opere/attività</i> SOTTOSTRUTTURE  <i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> _____  <i>Titolo del documento</i> RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA INDAGINI GEOGNOSTICHE</p>		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">PB0001_F0</div>
--	--	--

CODICE	C G 0 0 0 0	Q	P R	D P	I G	S 4	0 0	0 0	0 0	0 0	0 1	F0
--------	-------------	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	GL	SR	COLASANTI



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	<i>Codice documento</i> CG0000QPRDPIGS40000000001F0	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## INDICE

INDICE .....		i
1	Introduzione .....	3
2	Programma di indagine .....	5
3	Congelamento terreno versante Sicilia.....	12
4	Congelamento terreno versante Calabria.....	13
5	Prove di Laboratorio.....	14
6	Appendice.....	17
7	Bibliografia .....	18

**Allegati:**

- Figura n. 1 Fondazione Torre Sicilia
- Figura n. 2 Struttura Terminale Sicilia
- Figura n. 3 Blocco Ancoraggio Sicilia
- Figura n. 4 Fondazione Torre Calabria
- Figura n. 5 Struttura Terminale Calabria
- Figura n. 6 Blocco Ancoraggio Calabria
- Figura n. 7 Blocco Ancoraggio Calabria – Indagine sismica a riflessione



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	<i>Codice documento</i> CG0000QPRDPIGS40000000001F0	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 1 Introduzione

La presente nota tecnica ha lo scopo di definire il programma delle indagini geotecniche da eseguire per il Progetto Definitivo e per il Progetto Esecutivo. Scopo delle indagini è verificare le assunzioni del Progetto Preliminare per le fondazioni delle Torri, dei Blocchi di Ancoraggio e delle Strutture Terminali.

I risultati delle indagini geotecniche eseguite dalla Stretto di Messina S.p.A. nel periodo 1988-1992 sono riassunte ed interpretate nel documento di gara PP-2D-A24 e nei disegni PP-2D-A24001 - PP-2D-A24009, in particolare le campagne geognostiche richiamate hanno permesso di riconoscere le unità litostratigrafiche presenti nell'area dello stretto.

In generale la stratigrafia evidenzia la presenza delle unità (dalla più antica alla più recente) che di seguito si riporta, unitamente ad una sintetica descrizione delle litologie lungo il tracciato di progetto:

### Basamento cristallino

Costituisce il substrato di tutte le formazioni affioranti ed è costituito dal cristallino antico che appartiene alla falda dell'Aspromonte, corrispondente all'unità superiore del Complesso Calabride. In particolare sono interessate le Plutonici, rocce magmatiche intrusive dentro gli scisti cristallini; presentano uno stato di cataclasi più o meno spinto e uno stato di diffusa di alterazione, anche in profondità.

### Conglomerato di Pezzo

Costituito prevalentemente da conglomerati, arenarie e sabbie, inglobanti trovanti di origine granitica, talora di dimensioni ciclopica. Ha una potenza superiore a 200 m. Nelle zone di affioramento la formazione presenta un aspetto litoide con scarpate sub-verticali stabili.

### Trubi e Complesso argilloso - sabbioso

Localmente presenta la facies tipica di marne bianco – crema ma molto più frequentemente è rappresentata da marne sabbiose e/o marne argillose.

### Calcareniti di Vinco

La formazione è costituita da calcareniti e biocalcareniti, localmente sono presenti sottili livelli limosi, passanti a conglomerati a grana medio-fine.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	<i>Codice documento</i> CG0000QPRDPIGS40000000001F0	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

### Ghiaie di Messina

Le Ghiaie di Messina sono costituite da monotone e potenti sequenze ghiaioso – sabbiose, con rare intercalazioni sabbiose o, sporadicamente, limose (Pleistocene inferiore e medio). Talora sono presenti livelli ghiaiosi debolmente cementati. Fondamentalmente si tratta di un terreno sciolto o con un grado di cementazione molto bassa.

### Depositi sabbioso – ghiaiosi terrazzati

Sono costituiti prevalentemente da sabbie e ghiaie mal stratificate e spesso grossolane.

### Sedimenti della pianura costiera

Sono costituiti da sedimenti marini e continentali variamente interdigitali e prevalentemente sabbioso-ghiaiosi; localmente, e in particolare nella parte inferiore dell'unità, si rinvencono orizzonti limoso-torbosi.

### Coperture detritiche

Sono rappresentate da depositi recenti e/o antropici, sono costituite da terreni sabbioso – ghiaiosi di spessore modesto.

In particolare, viene di seguito evidenziata la litostratigrafia delle fondazioni e degli ancoraggi lato Sicilia e Calabria.

La fondazione lato Sicilia si inserisce nei depositi della piana costiera aventi spessore di poco superiore 70 m che poggiano sulla formazione delle ghiaie di Messina il cui spessore è superiore a 100 m.

Il blocco d'ancoraggio lato Sicilia è inserito nella formazione delle ghiaie di Messina, caratterizzato da sabbie ghiaiose che si estende fino alla profondità di oltre 150 m.

La fondazione lato Calabria risulta inserita nei depositi della piana costiera il cui spessore varia da c.a. 20 m a 30 m. Essi poggiano sulla formazione delle ghiaie di Messina.

Il terreno di fondazione del blocco d'ancoraggio lato Calabria, nell'ambito delle profondità di interesse ingegneristico è costituito dalla formazione del conglomerato di Pezzo.

Il piano di indagini è stato concepito in modo da avere le informazioni necessarie alla progettazione in un ampio volume di sottosuolo, tale da comprendere il volume significativo per le opere di fondazione previste. In particolare, le indagini sono state posizionate in modo da potere

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	<i>Codice documento</i> CG0000QPRDPIGS40000000001F0	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

effettuare la modellazione geotecnica lungo opportune sezioni longitudinali e trasversali di interesse per l'analisi del comportamento delle opere di fondazione.

Nel documento di gara GCG.F.02.03 (*Specifiche tecniche generali di progettazione: indagini geognostiche*) è riportato il programma di indagini geotecniche che è inteso come requisito minimo ai fini del progetto, e sono riportate le specifiche per le prove in sito e di laboratorio. Nello stesso documento viene specificato che il programma minimo d'indagine deve essere svolto prevalentemente nell'ambito della Progettazione Definitiva.

Nel documento di gara GCG.F.05.03 (*Requisiti e linee guida per lo sviluppo della progettazione*), al capitolo 4, è specificato il programma per prove non convenzionali di laboratorio su campioni prelevati nei depositi granulari e nel conglomerato di Pezzo.

Questo documento contiene il programma delle indagini geotecniche da eseguire per la progettazione dell'Opera di Attraversamento. Il programma di indagine soddisfa i requisiti di minimo specificati nei documenti di gara ed include un numero limitato di indagini aggiuntive, ritenute necessarie dagli scriventi per la progettazione.

Le indagini sono state raggruppate secondo le fasi di progettazione (definitiva ed esecutiva) per le quali esse si ritengono necessarie. La maggior parte delle indagini sono eseguite in fase di stesura del progetto definitivo.

## 2 Programma di indagine

La Tabella 2.1 riassume la legenda delle indagini in sito. Nelle Tabelle 2.2-2.7 sono indicate le indagini previste per il Progetto Definitivo in corrispondenza delle fondazioni delle Torri, dei Blocchi di Ancoraggio e delle Strutture Terminali. Le Tabelle 2.8-2.11 riportano le indagini previste, in corrispondenza delle stesse opere, per il Progetto Esecutivo.

L'ubicazione delle indagini è mostrata nelle Figure 1-7, unitamente alle indagini già eseguite per il Progetto Preliminare.

Uno schema delle verticali di prelievo dei campioni indisturbati e della strumentazione necessaria per il congelamento in sito è mostrato nelle Figure 3.1 e 4.1. Per la sponda Sicilia si manterranno le prescrizioni previste nel documento di gara GCG.F.02.03, che prevede il prelievo di campioni indisturbati di diametro  $D = 300$  mm. Per la sponda Calabria, invece, l'analisi delle curve granulometriche dei depositi costieri e delle ghiaie di Messina ha mostrato che campioni indisturbati di diametro  $D = 200$  mm possono ritenersi rappresentativi del comportamento

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	<i>Codice documento</i> CG0000QPRDPIGS40000000001F0	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

meccanico dei depositi granulari (vedi nota in appendice). Ciò permette di ridurre i diametri di perforazione e di campionamento rispetto a quanto previsto nel documento di gara GCG.F.02.03. Nella Figura 4.1 sono indicate le dimensioni ridotte dei tubi guida e delle perforazioni. In entrambi i casi non si prevede l'esecuzione dell'avampozzo sino alla profondità di 15 m.

Gli allineamenti per l'indagine sismica a riflessione ad alta risoluzione (a onde P e onde S), richieste in corrispondenza del blocco di ancoraggio Calabria, sono mostrati in Figura 7. Sono previsti 5 allineamenti longitudinali e 5 allineamenti trasversali, ciascuno di lunghezza pari a 100-120 m; la spaziatura degli allineamenti è di 10-15 m. Lungo ciascun allineamento è prevista l'installazione di stringhe di 5 geofoni disposti ad interasse di 1-2 m. L'indagine sismica ad alta risoluzione deve fornire indicazioni su profondità e giacitura del conglomerato di Pezzo e sui valori della rigidità tangenziale a piccole deformazioni dei terreni compresi nell'intervallo di profondità investigato, permettendo di riconoscere l'eventuale presenza di una fascia di alterazione della formazione. Perché sia assicurata l'affidabilità dei risultati della prova è fondamentale il ricorso a personale altamente specializzato e di provata esperienza sia nella fase di esecuzione della prova, sia in quella di interpretazione dei risultati.

L'esecuzione dell'indagine geotomografica elettrica sarà eseguita solo qualora i risultati e la qualità dell'indagine sismica a riflessione ad alta risoluzione non fossero ritenuti soddisfacenti, anche alla luce di un confronto dei risultati con le misure ottenute dalle prove Cross-Hole.

Nelle prove Cross Hole, la velocità di propagazione delle onde di taglio (S) e delle onde di compressione (P) deve essere misurata ad intervalli di profondità di 1 m. L'esecuzione di prove Cross Hole su due fori, come mostrato nelle figure seguenti, è subordinato all'impiego di attrezzatura idonea ad un'individuazione accurata dei tempi di arrivo delle onde S e delle onde P, le prove cross hole verranno eseguite con sorgenti che generano separatamente impulsi P ed S, i cui dettagli verranno evidenziati nel rapporto tecnico riguardo la restituzione dei dati, le prove cross hole dovranno essere effettuate da personale tecnico altamente specializzato e di provata esperienza nel settore.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	<i>Codice documento</i> CG0000QPRDPIGS40000000001F0	<i>Rev.</i> F0

Tipo	Descrizione	Rif. GCG.F.02.03	Diametro (mm)
SPT <sup>(1)</sup>	Standard Penetration Test – determinazioni di $N_{SPT}$ con passo 1.5 m per profondità di perforazione $\leq 40$ m e passo 3.0 m per profondità comprese tra 40 e 50 m – 1 misura di rendimento energetico ogni 6 determinazioni di $N_{SPT}$	6.4.1	101 ( $\leq 150$ )
LPT1 <sup>(1)</sup>	Large Penetration Test – determinazioni di $N_{LPT}$ con passo 1.5 m per profondità di perforazione $\leq 40$ m e passo 3.0 m per profondità comprese tra 40 e 50 m – 1 misura di rendimento energetico ogni 6 determinazioni di $N_{LPT}$	6.4.3	$\geq 133$
LPT2 <sup>(1)</sup>	Large Penetration Test - determinazioni di $N_{LPT}$ con passo 1.5 m per i primi 40 m - 1 misura di rendimento energetico ogni 6 determinazioni di $N_{LPT}$ - di seguito carotaggio continuo a rotazione fino a fondo foro	6.4.3 6.3.6	$\geq 133$
LPT3 <sup>(1)</sup>	Large Penetration Test - determinazioni di $N_{LPT}$ con passo 1.5 m per i primi 40 m - 1 misura di rendimento energetico ogni 6 determinazioni di $N_{LPT}$ – distruzione di nucleo a fondo foro per installazione di 2 piezometri Casagrande a quote comprese tra -5 e -8 m s.l.m.	6.4.3 8.1.2	$\geq 133$
BH1	Prelievo di campioni disturbati ma granulometricamente integri	6.3.6	$\geq 300$
BH2	Prelievo di campioni indisturbati mediante la tecnica del congelamento in sito	6.3.3.2 6.3.3.4	300
BH3	Carotaggio continuo a rotazione fino a 50 m con rilievo televisivo – distruzione di nucleo a fondo foro per installazione di 2 piezometri Casagrande a profondità di 55 e 65 m	6.3.6 7.2.2 8.1.2	101
FP	Foro di congelamento a distruzione di nucleo	6.3.3.3	101
TH	Fori per installazione termocoppie a distruzione di nucleo	6.3.3.3	
CH1	Foro per prove Cross Hole– determinazioni di $N_{SPT}$ con passo 1.5 m per i primi 40 m, dai 40 m fino a 50 m con passo 3.0 m – 1 misura di rendimento energetico ogni 6 determinazioni di $N_{SPT}$ – di seguito a carotaggio continuo fino a fondo foro, con prelievo di campioni indisturbati. N.B.: stesso diametro per i 2 fori della CH	9.1.6 6.4.1	$\geq 101$ $\leq 150$
CH2	Foro per prove Cross Hole – a distruzione di nucleo fino a fondo foro N.B.: stesso diametro per i 2 fori della CH	9.1.6 6.4.3	$\geq 101$ $\leq 150$

Tabella 2.1 legenda indagini in sito

- (1) È necessario eseguire le misure del rendimento energetico per ciascuna delle apparecchiature utilizzate nelle prove penetrometriche e per ogni opera di fondazione (torri, blocchi e opere terminali). Quindi, se la strumentazione delle prove penetrometriche impiegata per le indagini geotecniche di un'opera di fondazione (es. Torre Sicilia) è la stessa, la misura di rendimento energetico può essere eseguita solo per una verticale di prova SPT e per una verticale di prova LPT (ad es. per la Torre Sicilia, solo prova FS SPT 501 e prova FS LPT1 503). Se invece nell'ambito dello stesso sito di indagine si utilizzano apparecchiature diverse (anche se di eguali caratteristiche nominali) le misure di rendimento energetico devono essere eseguite per ciascuna di esse.

**PROGETTO DEFINITIVO**

<b>N.</b>	<b>Tipo</b>	<b>profondità (m)</b>
FS SPT 501	SPT	50
FS BH1 502	BH1	60
FS LPT1 503	LPT1	50
FS BH1 504	BH1	60
FS FP 505a	FP	35
FS BH2 505b-e	BH2	35
FS TH 505f-l	TH	30
FS CH1 506	CH1	100
FS CH2 507	CH2	100
FS CH1 508	CH1	90
FS CH2 509	CH2	90
FS LPT2 510	LPT2	80
FS LPT2 511	LPT2	80

Tabella 2.2 Fondazione Torre Sicilia (FS)

<b>N.</b>	<b>Tipo</b>	<b>profondità (m)</b>
OTS CH1 501	CH1	100
OTS CH2 502	CH2	100
OTS LPT2 503	LPT2	60
OTS SPT 504	SPT	50
OTS LPT1 505	LPT1	40

Tabella 2.3 Struttura Terminale Sicilia (OTS)

<b>N.</b>	<b>Tipo</b>	<b>profondità (m)</b>
AS CH1 501	CH1	100
AS CH2 502	CH2	100
AS LPT3 503	LPT3	80
AS CH1 504	CH1	100
AS CH2 505	CH2	100
AS LPT3 506	LPT3	80
AS LPT2 508	LPT2	80

Tabella 2.4 Blocco Ancoraggio Sicilia (AS)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>		<i>Codice documento</i> CG0000QPRDPIGS40000000001F0	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## PROGETTO DEFINITIVO

N.	Tipo	profondità (m)
FC BH1 501	BH1	60
FC LPT1 502	LPT1	50
FC SPT 503	SPT	50
FC BH1 504	BH1	60
FC FP 505a	FP	35
FC BH2 505b-e	BH2	35
FC TH 505f-i	TH	30
FC CH1 506	CH1	100
FC CH2 507	CH2	100
FC CH1 508	CH1	100
FC CH2 509	CH2	100
FC BH1 510	BH1	60*
FC BH1 512	BH1	60*
FC BH1 513	BH1	60*
FC BH1 514	BH1	60*

Tabella 2.5 Fondazione Torre Calabria (FC)

N.	Tipo	profondità (m)
OTC CH1 501	CH1	100
OTC CH2 502	CH2	100
OTC LPT2 503	LPT2**	60*
OTC SPT 504	SPT**	50*
OTC LPT1 505	LPT1	100

Tabella 2.6 Struttura Terminale Calabria (OTC)

N.	Tipo	profondità (m)
AC CH1 501	CH1	100
AC CH2 502	CH2	100
AC BH3 503	BH3	80
AC BH3 504	BH3	80
AC BH3 505	BH3	80

Tabella 2.7 Blocco Ancoraggio Calabria (AC)

(\*) o almeno 8 m nel Conglomerato di Pezzo

(\*\*) nel conglomerato di Pezzo, in dipendenza della consistenza della formazione, le prove penetrometriche verranno sostituite da prove in sito con dilatometro da roccia.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	<i>Codice documento</i> CG0000QPRDPIGS40000000001F0	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## PROGETTO ESECUTIVO

N.	Tipo	profondità (m)
PE-LPT2-1	LPT2 (nota 1)	80
PE-LPT2-2	LPT2 (nota 1)	80
PE-LPT2-3	LPT2 (nota 1)	80
PE-LPT2-4	LPT2 (nota 1)	80
PE-LPT2-5	LPT2 (nota 1)	80
PE-LPT2-6	LPT2 (nota 1)	80
PE-BH1-1	BH1 (nota 2)	80
PE-BH1-2	BH1 (nota 2)	80
PE-BH1-3	BH1 (nota 2)	80
PE-BH1-4	BH1 (nota 2)	80

Tabella 2.8 Fondazione Torre Sicilia (FS)

N.	Tipo	profondità (m)
PE-LPT2-7	LPT2 (nota 3)	80
PE-LPT2-8	LPT2 (nota 3)	80
PE-LPT2-9	LPT2 (nota 3)	80
PE-LPT2-10	LPT2 (nota 3)	80
PE-LPT2-11	LPT2 (nota 3)	80
PE-LPT2-12	LPT2 (nota 3)	80

Tabella 2.9 Blocco Ancoraggio Sicilia (AS)

N.	Tipo	profondità (m)
PE-LPT1-1	LPT1 (nota 4)	60
PE-LPT1-2	LPT1 (nota 4)	60
PE-LPT1-3	LPT1 (nota 4)	60
PE-LPT1-4	LPT1 (nota 4)	60
PE-BH1-1	BH1 (nota 5)	60
PE-BH1-2	BH1 (nota 5)	60
PE-BH1-3	BH1 (nota 5)	60
PE-BH1-4	BH1 (nota 5)	60
PE-BH1-5	BH1 (nota 5)	60
PE-BH1-6	BH1 (nota 5)	60

Tabella 2.10 Fondazione Torre Calabria (FC)

N.	Tipo	profondità (m)
PE-LPT2-1	LPT2 (nota 6)	80
PE-LPT2-2	LPT2 (nota 6)	80
PE-LPT2-3	LPT2 (nota 6)	80
PE-LPT2-4	LPT2 (nota 6)	80
PE-LPT2-5	LPT2 (nota 6)	80
PE-LPT2-6	LPT2 (nota 6)	80

Tabella 2.11 Blocco Ancoraggio Calabria (AC)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	<i>Codice documento</i> CG0000QPRDPIGS40000000001F0	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

(nota 1) determinazione di NLPT con passo 1.5m per  $z < 40m$  e passo 3.0m per  $40 < z < 50$ . Misure di ER ogni 6 determinazioni. Di seguito, carotaggio continuo fino a fondo foro

(nota 2) prelievo di campioni disturbati ma granulometricamente integri

(nota 3) determinazione di NLPT con passo 1.5m per  $z < 40m$ . Misure di ER ogni 6 determinazioni. Di seguito, carotaggio continuo fino a fondo foro

(nota 4) determinazione di NLPT con passo 1.5m per  $z < 40m$ . Misure di ER ogni 6 determinazioni. Di seguito, carotaggio continuo fino a fondo foro. Profondità max 60m o almeno 8m nel Conglomerato di Pezzo. Le prove penetrometriche si intendono eseguite solo nei depositi granulari

(nota 5) prelievo di campioni disturbati, ma granulometricamente integri. Profondità max 60m o almeno 8m nel Conglomerato di Pezzo

(nota 6) determinazione di NLPT con passo 1.5m sino al Conglomerato di Pezzo. Di seguito, carotaggio continuo fino a fondo foro

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	<i>Codice documento</i> CG0000QPRDPIGS40000000001F0	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

### 3 Congelamento terreno versante Sicilia

Lo schema adottato per il congelamento lato Sicilia è quello riportato nella seguente figura n. 3.1. In accordo con il documento contrattuale GCG.F.02.03 (*Specifiche tecniche generali di progettazione: indagini geognostiche*) è stato installato il cantiere per l'attività del congelamento e dopo l'ultimazione di tutte le attività propedeutiche, in data 09/08/2010 si è dato avvio all'immissione di azoto dal foro centrale secondo lo schema richiamato nel documento sopra citato. Non avendo ottenuto i risultati attesi sulla base della metodologia applicata secondo il programma previsto, redatto sulla base delle specifiche tecniche contrattuali, sono stati eseguiti n. 2 fori aggiuntivi (fori D, riportati nel seguente schema) in cui immettere azoto al fine di raggiungere le temperature necessarie per l'inizio del prelievo dei campioni.

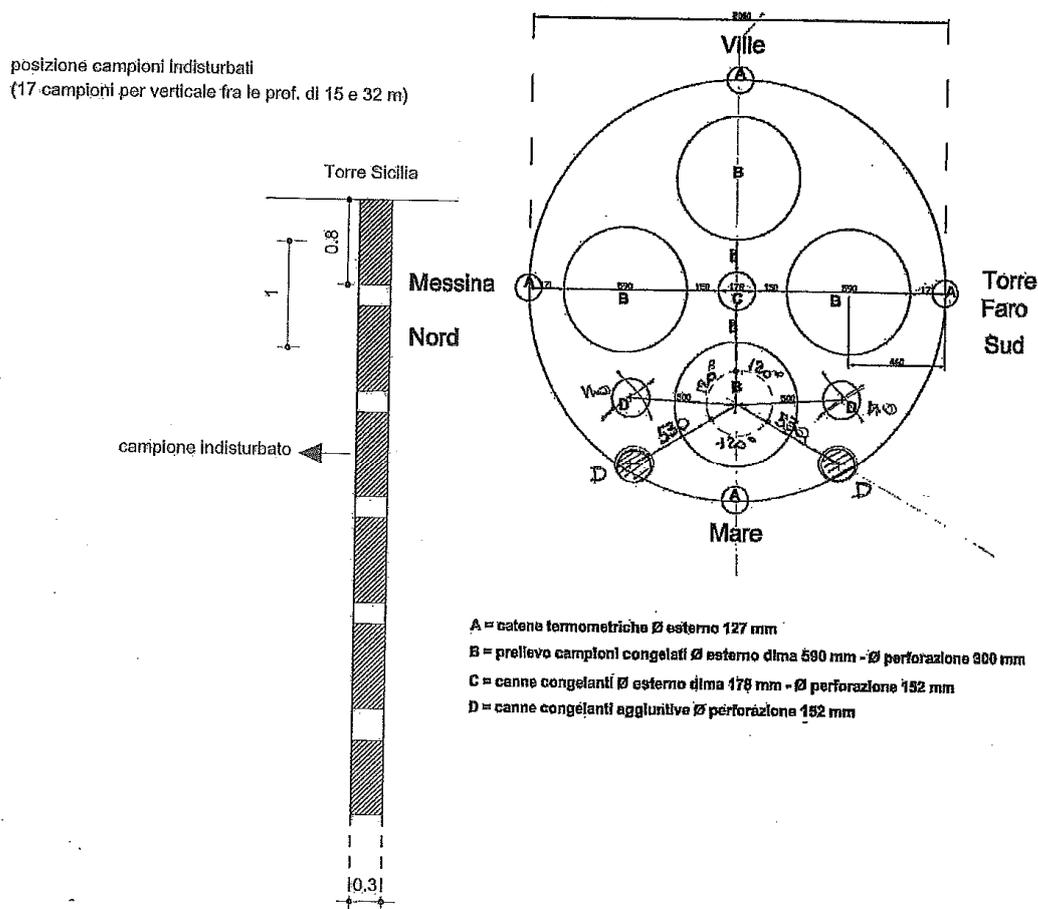


Figura 3.1- schema congelamento e prelievo campioni congelati lato Sicilia

## 4 Congelamento terreno versante Calabria

Alla luce dell'esperienza maturata con il congelamento lato Sicilia, nel versante calabro sarà adottato uno schema di congelamento che prevede una triade di sonda congelatrici ubicate nel vertice di un triangolo equilatero di 900 – 1000 mm (Figura 4.1). Le perforazioni per il carotaggio sono previste all'interno di questi triangoli, mentre le sonde termometriche sono situate sui cateti esterni, disposte secondo una maglia a quinconce disposte per due file parallele all'asse dei carotaggi per il prelievo dei campioni congelati, come meglio dettagliato nel seguente schema.

posizione campioni indisturbati  
(17 campioni per verticale fra le prof. di 15 e 32 m)

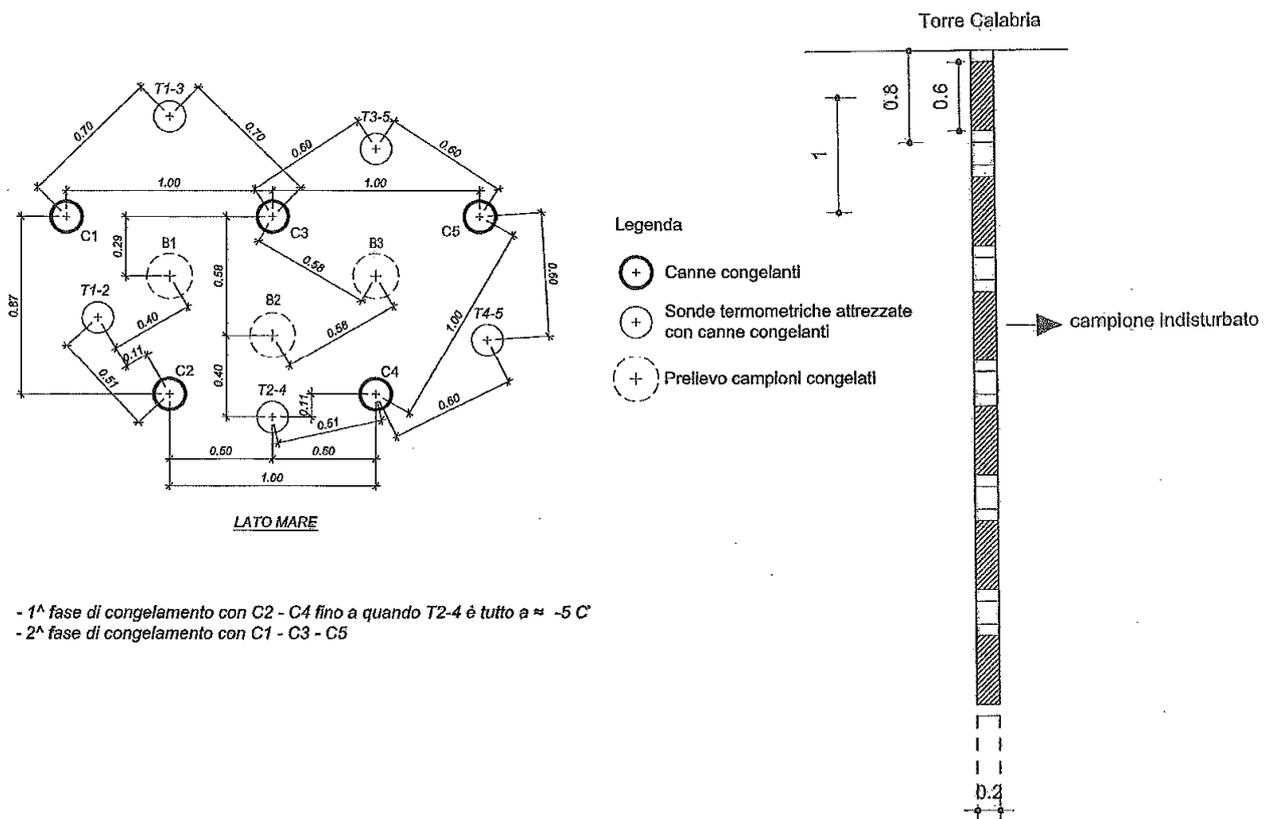


Figura 4.1- schema congelamento e prelievo campioni congelati lato Calabria

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	<i>Codice documento</i> CG0000QPRDPIGS40000000001F0	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 5 Prove di Laboratorio

Nelle indagini da eseguire nell'ambito del Progetto Definitivo è previsto il prelievo, mediante la tecnica del congelamento in sito, di 119 campioni indisturbati di diametro  $D = 200$  mm e lunghezza minima  $L_{\min} = 550$  mm per la sponda Calabria, e diametro  $D = 300$  mm e lunghezza minima  $L_{\min} = 750$  mm per la sponda Sicilia. A tale scopo si può utilizzare una carotiere triplo di lunghezza  $L = 800$  mm e diametro del tubo porta campione interno  $D_i = 200$  mm (Calabria), e  $D_i = 300$  mm (Sicilia). Il prelievo può essere effettuato con passo di circa 1 m secondo gli schemi indicati nelle figure 3.1 e 4.1, rispettivamente sponda Sicilia e la sponda Calabria. Seguendo questa procedura, è previsto il prelievo di 17 campioni indisturbati lungo ciascuna delle verticali di sondaggio posizionate simmetricamente rispetto al foro di congelamento. Si renderanno così disponibili 68 campioni indisturbati per la fondazione Torre Sicilia e 51 campioni indisturbati per la fondazione Torre Calabria, per un totale di 119 campioni indisturbati. I campioni avranno estremità tagliate in loco in modo da garantire il parallelismo delle facce di estremità e avranno lunghezza tale da poter essere inseriti nelle celle triassiali dei laboratori di destinazione.

Il numero complessivo di campioni indisturbati è pari a circa 2.5 volte quello minimo previsto nel programma delle prove di laboratorio. I tratti di terreno congelato compresi tra due campioni indisturbati (zona non campita nelle figure 3.1 e 4.1) possono essere raccolti in cassette catalogatrici per una verifica immediata della buona riuscita del congelamento e per procedere alla descrizione litostratigrafica.

Dalle altre perforazioni di sondaggio è previsto il prelievo di 420 campioni disturbati, ma granulometricamente integri, di dimensioni eguali a quelle dei campioni indisturbati. Durante il Progetto Esecutivo, si renderanno disponibili altri 180 campioni disturbati ma integri, prelevati in corrispondenza della torre Calabria.

Le prove di laboratorio saranno eseguite su campioni indisturbati (congelati) e disturbati, ma granulometricamente integri, di grande diametro (200 mm e 300 mm).

Esse devono permettere la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione delle torri, dei blocchi di ancoraggio e delle opere terminali. Specificamente, le prove devono permettere la determinazione dei parametri di ingresso dei modelli costitutivi che verranno utilizzati nelle modellazioni numeriche. In dipendenza del livello di analisi, il comportamento dei terreni di fondazione verrà descritto mediante modelli visco-elastici non lineari, modelli elasto-plastici con comportamento isteretico e modelli a plasticità diffusa. I parametri di ingresso a tali modelli verranno determinati ricercando il migliore accordo tra i risultati sperimentali e le simulazioni numeriche del comportamento meccanico di un elemento di volume.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	<i>Codice documento</i> CG0000QPRDPIGS40000000001F0	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Il programma di prove specificato nel documento di gara GCG.F.05.03 (*Requisiti e linee guida per lo sviluppo della progettazione*) ha lo scopo di fornire le seguenti informazioni sulle proprietà meccaniche dei terreni di fondazione:

Terreni granulari (Depositi costieri e Ghiaie di Messina)

1. densità relativa;
2. coefficiente di spinta in quiete;
3. caratteristiche di resistenza in tensioni efficaci;
4. suscettibilità alla liquefazione e mobilità ciclica;
5. caratteristiche di rigidità a piccole deformazioni;
6. coefficiente di smorzamento;
7. caratteristiche di compressibilità in condizioni isotrope.

(le informazioni summenzionate sono richieste sia per i campioni indisturbati sia per quelli disturbati che devono essere ricostituiti in laboratorio a densità relative del 40, 60 e 80% ed alla densità relativa in sito).

Conglomerato di Pezzo

8. resistenza a compressione semplice del materiale intatto;
9. caratteristiche di resistenza in tensioni efficaci;
10. caratteristiche di rigidità a piccole deformazioni;
11. coefficiente di smorzamento.

Il programma sperimentale in laboratorio prevede 128 prove triassiali su campioni di grandi dimensioni. Le prove devono essere eseguite su celle triassiali strumentate con trasduttori locali per la misura degli spostamenti assiali e con traduttori locali per la misura della velocità di propagazione delle onde di taglio. Le celle triassiali devono essere in grado di eseguire percorsi di carico controllato in condizioni monotone e cicliche.

Assumendo una media di 3 prove per settimana, si può stimare che la durata complessiva del programma di prove sarà di circa 40 settimane, diviso per il numero di apparecchiature triassiali disponibili.

Per acquisire i risultati delle prove in tempo utile per il Progetto Definitivo, si ritiene di dover dare priorità alle prove sui campioni indisturbati. Perché le 54 prove previste siano completate in un periodo di circa 3 mesi, dovrebbero essere impiegate almeno 3 celle triassiali delle caratteristiche indicate.

La seguente Tabella riassume il tipo e le quantità di prove previste.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	<i>Codice documento</i> CG0000QPRDPIGS40000000001F0	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Proprietà	Tipo di Prova	Ref. GCG.F.05.03	Quantità
<b>Campioni indisturbati</b>			
2, 3, 5	TX-CK <sub>0</sub> D-CL	4.3.2.1	8
3, 5	TX-CAD-CL	4.3.2.2	24
4	TX-CK <sub>0</sub> U-CC	4.3.2.3	8
5	TX-CK <sub>0</sub> U-CL	4.3.2.3	6
6	TX-CID-CC	4.3.2.5	4
7	TX-isotropic compression	4.3.2.6	4
Numero complessivo di campioni triassiali indisturbati			<b>54</b>
<b>Campioni disturbati</b>			
1	Valutazione di $e_{min}$ , $e_{max}$	4.3.2.1	20
3, 5	TX-CAD-CL	4.3.2.2	27
4	TX-CK <sub>0</sub> U-CC	4.3.2.3	32
5	TX-CK <sub>0</sub> U-CL	4.3.2.3	9
6	TX-CID-CC	4.3.2.5	4
7	TX-isotropic compression	4.3.2.6	2
Numero complessivo di campioni triassiali disturbati			<b>74</b>
<b>Conglomerato di Pezzo</b>			
8	TX-UCL	4.3.2.7	20
9, 10	TX-CID-CL	4.3.2.7	9
11	TX-CID-CC	4.3.2.7	2

Tabella 5.1 Tipo e quantità di prove di laboratorio

#### LEGENDA

TX-CK<sub>0</sub>D-CL : triassiale – consolidazione K<sub>0</sub> – carico di compressione drenato

TX-CAD-CL : triassiale – consolidazione anisotropa - carico di compressione drenato

TX-CK<sub>0</sub>U-CC : triassiale - consolidazione K<sub>0</sub> – compressione ciclica non drenato

TX-CK<sub>0</sub>U-CL : triassiale - consolidazione K<sub>0</sub> - carico di compressione non drenato

TX-CID-CC : triassiale - consolidazione isotropa – compressione ciclica drenata

TX-isotropic compression : triassiale - compressione isotropa drenata

TX-UCL : triassiale – compressione semplice non drenata

TX-CID-CL : triassiale - consolidazione isotropa - carico di compressione drenato

Le prove di laboratorio, da eseguirsi secondo il programma citato, sono già state avviate sui campioni rimaneggiati e granulometricamente integri (tipologia sondaggio BH1) per entrambe le sponde, per il lato Sicilia è già stato avviato il percorso di prove triassiali cicliche sui campioni congelati.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	<i>Codice documento</i> CG0000QPRDPIGS40000000001F0	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 6 Appendice

### SCELTA DEL DIAMETRO DEI CAMPIONI PER L'ESECUZIONE DI PROVE TRIASSIALI SUI DEPOSITI COSTIERI E SULLE GHIAIE DI MESSINA – SPONDA CALABRA

I risultati delle prove di laboratorio su materiali granulari sono rappresentativi del comportamento del terreno in sito se il numero di granuli nel provino è sufficientemente grande, e se le loro dimensioni sono sufficientemente più piccole di quelle del provino, in modo da non influenzare significativamente la mobilità dei granuli circostanti. Convenzionalmente, questi requisiti sono soddisfatti se il rapporto tra il diametro del campione  $D$  e quello massimo dei granuli  $d_{max}$ ,  $R = D/d_{max}$ , è minore di un valore minimo  $R_{min}$ . Bishop ed Henkel (1962), ad esempio, consigliano di considerare  $R_{min} = 10$ , valore ancora oggi di riferimento per prove di laboratorio su materiali granulari.

E' prassi comune, nell'esecuzione di prove di laboratorio su materiali a grana grossa, tollerare valori minori di  $R_{min}$ , per evitare l'uso di attrezzature di dimensioni eccessive. Su questo aspetto è stata svolta un'ampia ricerca sperimentale negli anni '60 e '70, periodo in cui la costruzione di dighe in rockfill ha avuto un grosso impulso in alcune parti del mondo. Così, ad esempio, Penman (1971) ritiene accettabile un valore di  $R_{min} = 6$ , mentre Marsal (1973) riduce tale valore a  $R_{min} = 4$ . Presso il laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Geotecnica (DIG) dell'Università di Napoli Federico II, nel quale si effettuano prove di questo tipo sin dagli anni '50, solitamente si è adottato  $R_{min} = 6$  (Flora, 1995).

In realtà, questi vincoli convenzionali sono necessariamente semplificati, perché non tengono conto di numerosi altri fattori che influenzano la risposta meccanica del terreno quali la distribuzione granulometrica, la natura mineralogica dei grani, il loro grado di arrotondamento, ecc. Ad esempio, è evidente che, a parità di  $R_{min}$ , un campione preparato con un materiale ben assortito contenga molti più granuli di un campione preparato con un materiale prevalentemente monogranulare. Per il primo materiale, il problema del vincolo su  $R_{min}$  è certamente meno rilevante che per il secondo.

Per la scelta del diametro  $D$  dei campioni da utilizzare in laboratorio, è opportuno osservare che le curve granulometriche dei depositi costieri e della ghiaia di Messina renderebbero necessario il ricorso ad attrezzature di dimensioni molto grandi, non disponibili sul mercato.

Assumendo  $R_{min} = 6$  e  $D = 20$  cm si ottiene  $d_{max} \cong 3$  cm, il che implica che i campioni non dovrebbero contenere granuli di dimensioni maggiori di 3 cm. Lo stesso valore di  $R_{min}$  condurrebbe, per  $D = 30$  cm, a considerare campioni con granuli di  $d_{max} \leq 5$  cm. Le curve

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	<i>Codice documento</i> CG0000QPRDPIGS40000000001F0	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

granulometriche dei depositi costieri e delle ghiaie di Messina mostrano che la percentuale di trattenuto in peso di granuli di dimensioni maggiori di 3 cm e di 5 cm è in genere modesta, risultando minore del 15-20%. Si può quindi desumere che l'uso di campioni di diametro  $D = 20$  cm permette di ottenere caratteristiche meccaniche rappresentative del comportamento meccanico del terreno in sito.

La letteratura tecnica suggerisce infatti, su basi teoriche e sperimentali, che il materiale modello ha lo stesso comportamento del terreno in sito solo se la percentuale di materiale tagliato rappresenta al più il 35-40% in peso del campione originario. Se si elimina dal campione originario una percentuale maggiore, l'equivalenza meccanica non sussiste (Fragaszy et al., 1990, Lee, 1992, Flora, 1995, Bilotta et al., 2002).

Nel caso della ghiaia di Messina, per  $R_{\min} = 6$  questo limite è ampiamente rispettato per entrambi i diametri del campione ( $D = 20$  cm e  $D = 30$  cm).

È quindi opinione degli scriventi che l'impiego di campioni di diametro  $D = 20$  cm conduca a risultati analoghi a quelli che si otterrebbero su campioni di diametro  $D = 30$  cm. La riduzione del diametro dei campioni permette inoltre una riduzione dei diametri di perforazione e delle attrezzature impiegate rendendo più agevoli le operazioni di prelievo e riducendo significativamente i costi di indagine.

## 7 Bibliografia

- Bilotta E., Flora A., Lanier J. e Viggiani G. (2002). *Experimental observation of the behaviour of a 2D granular material with inclusions*. Rivista Italiana di Geotecnica, N. 2 Patron editore, Bologna.
- Bishop A.W., Henkel D.J. (1962). *The measurement of soil properties in the triaxial test*. Edward Arnold Ed.
- Flora A. (1995) *Caratterizzazione geotecnica e modellazione dei materiali a grana grossa*. Tesi di Dottorato, Università di Napoli Federico II.
- Fragaszy R.J., Su W., Siddiqi F.H. (1990). *Effects of oversize particles on the density of clean granular soils*. Geotechnical testing journal, Vol. 13, No. 2, pp. 106-114.
- Lee D.M. (1992). *The angles of friction of granular fills*. Tesi di Ph.D., Università di Cambridge (Inghilterra), 220 pp.
- Marachi N.D., Chan C.K., Seed H.B. (1972). *Evaluation of properties of rockfill materials*. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 98, No. SM1, pp. 95-114.
- Marsal R.J. (1973). *Mechanical properties of rockfill*. Embankment-dam engineering, Casagrande

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	<i>Codice documento</i> CG0000QPRDPIGS40000000001F0	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Volume, Hirschfeld e Poulos Ed.

Penman A.D.M. (1971). *Rockfill*. B.R.S. Current Paper 15/71.