

# PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



## PROGETTO DEFINITIVO

### EUROLINK S.C.p.A.

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

<p><b>IL PROGETTISTA</b></p>  <p>CONSULENZA E ASSISTENZA TECNICA nel campo delle GEOINGEGNERIA S.p.A.</p> <p>Dott. Ing. G. Cassani Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n° 15408</p> 	<p><b>IL CONTRAENTE GENERALE</b></p> <p>Project Manager (Ing. P.P. Marcheselli)</p>	<p><b>STRETTO DI MESSINA</b> Direttore Generale e RUP Validazione (Ing. G. Fiammenghi)</p>	<p><b>STRETTO DI MESSINA</b> Amministratore Delegato (Dott. P. Ciucci)</p>
---	---	--	--

Unità Funzionale	OPERA D'ATTRAVERSAMENTO	PF0011_F0
Tipo di sistema	SOTTOSTRUTTURE	
Raggruppamento di opere/attività	TORRI	
Opera - tratto d'opera - parte d'opera	GENERALE	
Titolo del documento	TRATTAMENTO DEI TERRENI – RELAZIONE TECNICA	

CODICE	C	G	0	8	0	0	P	R	G	D	P	S	T	F	3	T	O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	F0
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	V.TORRICELLI	M.GATTI	G.CASSANI



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

## INDICE

INDICE .....	3
1 Introduzione .....	6
1.1 Localizzazione delle opere .....	7
2 Norme e Riferimenti .....	8
2.1 Normativa ed istruzioni .....	8
2.2 Documenti di riferimento.....	8
3 Inquadramento Geologico– Geotecnico generale .....	10
3.1 Fondazioni lato Sicilia .....	10
3.2 Torre lato Calabria.....	11
3.3 Aspetti idrogeologici .....	12
4 Proprietà fisiche dei terreni di fondazione (granulometria e permeabilità) .....	14
4.1 Fondazione lato Sicilia.....	14
4.1.1 Sondaggi analizzati.....	14
4.1.2 Granulometrie .....	15
4.1.3 Prove di permeabilità .....	20
4.2 Fondazione lato Calabria.....	24
4.2.1 Sondaggi analizzati.....	24
4.2.2 Granulometrie.....	24
4.2.3 Prove di permeabilità .....	27
5 Trattamento dei terreni – Descrizione degli interventi.....	32
5.1 Trattamento di fondazione .....	33
5.2 Trattamento anti-liquefazione .....	34
6 Trattamento dei terreni – Specifiche tecniche .....	36
7 Trattamento dei terreni – Metodologia esecutiva.....	37
7.1 Sistemi di perforazione .....	37
7.1.1 Perforazione a rotazione.....	37
7.1.2 Perforazione a rotopercolazione rivestita .....	37
7.2 Attrezzature .....	38
7.2.1 Batteria jet .....	38
7.2.2 Ugelli .....	38
7.2.3 Pompa ad alta pressione .....	39

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

7.2.4	Compressore .....	39
7.2.5	Pompe per la miscela cementizia .....	39
7.2.6	Sonda inclinometrica .....	39
7.2.7	Registratore automatico dei parametri operativi.....	39
7.3	Materiali.....	40
7.3.1	Fluidi di perforazione .....	40
7.3.2	Miscele di iniezione.....	40
7.4	Fasi esecutive .....	41
7.4.1	Tracciamento.....	41
7.4.2	Piazzamento.....	42
7.4.3	Perforazione .....	42
7.4.4	Iniezione .....	42
7.4.5	Successione di realizzazione delle colonne .....	43
7.5	Controlli .....	43
7.5.1	Controlli in corso d'opera .....	43
7.5.2	Controlli finali .....	44
7.5.3	Campi prova iniziali.....	45
8	Conclusioni .....	48

		<p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p>TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica</p>		<p><i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i></p>	<p><i>Rev</i> <i>F0</i></p>	<p><i>Data</i> <i>20/06/2011</i></p>

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

## 1 Introduzione

Nella presente relazione tecnica si descrivono i trattamenti dei terreni previsti nell'ambito della realizzazione delle fondazioni lato Calabria e Sicilia dell'Opera d'Attraversamento, facenti parte dei lavori di realizzazione del Ponte sullo Stretto di Messina.

I trattamenti sono finalizzati da un lato alla realizzazione di un tappo di fondo, all'interno del perimetro del plinto di fondazione, con funzione sia di tenuta idraulica durante lo scavo sia di consolidamento dei terreni di fondazione, dall'altra alla realizzazione di una maglia di consolidamenti esterni all'impronta della fondazione, per una fascia al contorno dell'ordine dei 30-40 m, con funzione di trattamento anti-liquefazione in presenza di azioni di natura sismica.

Dopo una breve descrizione del quadro geologico-geotecnico dell'area di realizzazione delle fondazioni, si descrivono con maggior dettaglio le proprietà fisiche dei terreni interessati dai trattamenti, in termini di granulometria e permeabilità, così da individuarne le caratteristiche di "iniettabilità", fondamentali per la messa a punto dei parametri operativi della tecnologia di jettiniezione adottata per l'esecuzione dei consolidamenti.

Si descrivono quindi in dettaglio le geometrie dei consolidamenti, in termini di lunghezze e maglie dei trattamenti colonnari, le proprietà meccaniche dell'intervento di consolidamento, nonché la sequenza delle fasi esecutive e dei parametri operativi da impiegare.

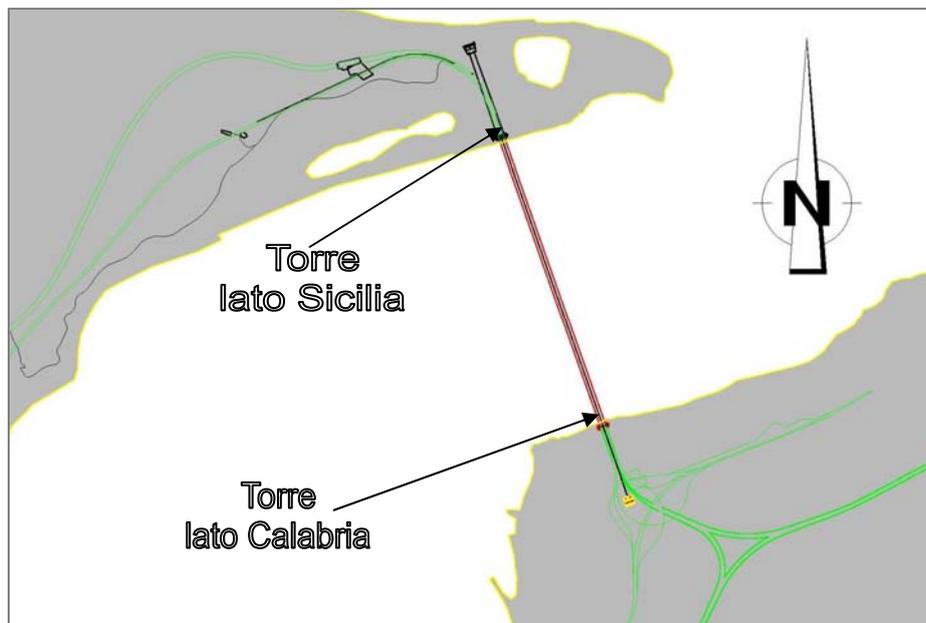
Infine si individueranno le modalità di controllo delle lavorazioni eseguite, in modo da verificarne la rispondenza alle attese progettuali.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

## 1.1 Localizzazione delle opere

Le torri del Ponte sullo Stretto di Messina si collocano, lato Sicilia, nel territorio del Comune di Messina e, lato Calabria, in corrispondenza dei comuni di Villa San Giovanni.

La localizzazione geografica delle opere è utile, in particolare, all'individuazione dei parametri di pericolosità sismica.



*Figura 1: Localizzazione delle torri*

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		PF0011_F0 PF0011_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011

## 2 Norme e Riferimenti

### 2.1 Normativa ed istruzioni

Nel progetto è stato fatto riferimento alle seguenti Normative ed Istruzioni:

- Circolare 02/02/2009 “ Istruzione C.S.LL.PP. per l’applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 14 Gennaio 2008
- D.M. 14/01/2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni” (pubblicato sulla G.U. n.29 –Suppl. Ordinario n.30 – del 4 febbraio 2008);
- Eurocodice 8 (UNI ENV 1998 :5) “*Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici*”.
- EC7\_UNI-ENV-1997 : “*Progettazione geotecnica*”;
- D.M. LL.PP. 11/03/1988: “*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*”.
- Circ. Min. LL.PP 24/09/88 n.30483. Legge 02/02/74, n.64 art.1. D.M. 11/03/1988 “*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l’applicazione*”.

### 2.2 Documenti di riferimento

- CG0800PRGDPSB00G000000001A “Relazione geologica generale”
- CG0800PPZDPSB00G000000001A “Planimetria e profilo geologici in corrispondenza

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

dell'attraversamento”

- CG0800PP8DPSB00G000000002A “Planimetria ubicazione sezioni geologiche area fondazioni Calabria”
- CG0800PW8DPSB00G000000002A “Sezioni geologiche area fondazioni Calabria – Tav. 1/2”
- CG0800PW8DPSB00G000000003A “Sezioni geologiche area fondazioni Calabria – Tav. 2/2”
- CG0800PP8DPSB00G000000004A “Planimetria ubicazione sezioni geologiche area fondazioni Sicilia”
- CG0800PW8DPSB00G000000005A “Sezioni geologiche area fondazioni Sicilia”
- CG1003PRGDPSBG3000000001A “Caratterizzazione geotecnica – Update geotechnical characterisation based on the 2010 site and laboratori investigations”

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		PF0011_F0 PF0011_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011

### 3 Inquadramento Geologico– Geotecnico generale

Nel seguito si riporta una descrizione generale del contesto geologico-geotecnico dell'area in cui si realizzeranno le opere di fondazione; le principali formazioni coinvolte sono rappresentate dai "Depositi costieri recenti", dalle "Sabbie e Ghiaie di Messina" e dal "Conglomerato di Pezzo".

#### 3.1 Fondazioni lato Sicilia

I terreni che saranno principalmente interessati dagli scavi per la realizzazione della torre lato Sicilia sono i "Depositi costieri recenti", i quali si impostano al di sopra della formazione delle "Sabbie e Ghiaie di Messina", che non sono interessate dall'esecuzione dei trattamenti.

I depositi costieri recenti sono costituiti da materiali sabbioso-ghiaiosi con modeste o trascurabili percentuali di fine. Le ghiaie di Messina vengono invece granulometricamente descritte come ghiaie e ciottoli, da sub-arrotondati ad appiattiti, con matrice di sabbie grossolane. Frequentemente si rilevano strati di ghiaie cementate come si evidenzia, ad esempio, nei rilievi effettuati nelle aree di imbocco delle gallerie ferroviarie S.Agata e S.Cecilia e nelle gallerie stradali Faro, Balena e Le Fosse. Per una completa descrizione dei terreni e per la loro caratterizzazione geotecnica si rimanda alle relazioni geologico-geotecniche di progetto richiamate al capitolo 2.2.

Nella tabella seguente si riporta il range dei parametri di resistenza e di deformabilità, come individuati nella relazione CG1003PRGDPSBG3000000001A "Caratterizzazione geotecnica – Update geotechnical characterisation based on the 2010 site and laboratori investigations".

Geological formation	depth (m bgl)	Dr (%)	$K_0$	$\phi'_p$ (°)	$\phi'_{cv}$ (°)	$K_h$ (m/s)	$G_0$ (MPa)
Coastal Deposits	0÷25-30	40÷70	0.43÷0.49	38÷42	36	$5 \times 10^{-3}$	50÷150
Coastal Deposits	25-30÷68	30÷50	0.46÷54	37÷41	36	$5 \times 10^{-3}$	50÷200
Transition layer	≈ 20*	50**	0.46÷54**	37÷41**	36	$5 \times 10^{-3}$	300÷350
Messina Gravel	>84	50**	0.49÷0.57**	37÷41**	36	$5 \times 10^{-3}$	2500

\* This value is the thickness of the stratum (considered constant) even though the contact with Coastal Deposit dips moving North towards the sea and therefore the depths change.

\*\* These values could not be calculated as no in situ test at failure (SPT, LPT, CPT) reached the depth of this formation, and were estimated based on the information retrieved from the other locations on the Sicilian side.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

### 3.2 Torre lato Calabria

Le opere di fondazione della torre lato Calabria interesseranno nella porzione superiore i “Depositi costieri recenti” e più in profondità la formazione del “Conglomerato di Pezzo”, di età Tortoniana.

Con riferimento agli elaborati CG0800PW8DPSB00G000000002A “Sezioni geologiche area fondazioni Calabria 1/2” e CG0800PW8DPSB00G000000003A “Sezioni geologiche area fondazioni Calabria 2/2”, i depositi costieri si spingono a profondità variabili, lungo una sezione in asse all’opera d’attraversamento, dai 50-60 m lato mare fino ad una decina di metri lato monte fondazioni, con spessore pari a circa 30-35 m in asse fondazioni.

I depositi costieri recenti sono costituiti da ghiaie eterometriche e poligeniche, prevalentemente cristallino-metamorfiche, e sabbie; sono altresì presenti, intercalati, livelli e lenti di torba. E’ questo un aspetto particolarmente delicato in quanto, a causa della proprietà fisiche delle torbe, occorrerà prevedere idonee modalità di esecuzione dei trattamenti nei tratti di interesse, al fine di garantire l’ottenimento delle specifiche di progetto.

Il Conglomerato di Pezzo 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 talora un aspetto litoide con scarpate stabili. Il Conglomerato di Pezzo ha quindi generalmente caratteristiche assimilabili a quelle di rocce tenere. Per una completa descrizione dei terreni e per la loro caratterizzazione geotecnica si rimanda alle relazioni gologico-geotecniche di progetto richiamate al capitolo 2.2.

Nella tabella seguente si riporta il range dei parametri di resistenza e di deformabilità, come individuati nella relazione CG1003PRGDPSBG3000000001A “Caratterizzazione geotecnica – Update geotechnical characterisation based on the 2010 site and laboratori investigations”.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		PF0011_F0 PF0011_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011

*Calabria Tower, Northern Side: summary of main mechanical parameters from geotechnical characterization*

	depth (m bgl)	Dr (%)	$K_0$	c (kPa)	$\phi'_p$ (°)	$K_h$ (m/s)	$G_0$ (MPa)
Coastal Deposits	0÷20	40÷80	0.42÷0.49	0	44÷38	$2.6 \times 10^{-3}$	50-200
Coastal Deposits	20÷60	20÷60	0.44÷0.65	0	36÷40	$2.6 \times 10^{-3}$	-
Weathered Pezzo Conglomerate	~30*	-	0.60÷0.90	0-100	38÷42	$\leq 1-3.3 \times 10^{-2}$	200÷700
Pezzo Conglomerate	below Weathered Pezzo Conglomerate	-	0.60÷0.90	$\geq 70$	38÷42	$\leq 1-3.3 \times 10^{-2}$	500÷2000

\* This value is the thickness of the stratum (considered constant) even though the contact with Coastal Deposit dips moving North towards the sea and therefore the depths change.

*Calabria Tower, Southern side: summary of main mechanical parameters from geotechnical characterization*

	depth (m bgl)	Dr (%)	$K_0$	c (kPa)	$\phi'_p$ (°)	$K_h$ (m/s)	$G_0$ (MPa)
Coastal Deposits	0÷30	10÷60	0.44÷0.87	0	36÷40	$2.6 \times 10^{-3}$	50-250
Weathered Pezzo Conglomerate	~30*	-	0.60÷0.90	0-100	38÷42	$\leq 1-3.3 \times 10^{-2}$	250÷700
Pezzo Conglomerate	below Weathered Pezzo Conglomerate	-	0.60÷0.90	$\geq 70$	38÷42	$\leq 1-3.3 \times 10^{-2}$	500÷2000

\* This value is not a depth. It is the thickness of the stratum (considered constant) even though the contact with Coastal Deposit dips moving North towards the sea and therefore the depths change.

### 3.3 Aspetti idrogeologici

Per entrambi i siti di realizzazione delle fondazioni, considerata l'estrema vicinanza con la costa, si è ipotizzata la presenza di una falda piezometrica ubicata a quota + 1.0 m s.l.m.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica	<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>		<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20/06/2011</i>

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		PF0011_F0 PF0011_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011

## 4 Proprietà fisiche dei terreni di fondazione (granulometria e permeabilità)

In questo capitolo verranno analizzate in dettaglio tutte le prove di permeabilità e tutte le analisi granulometriche eseguite nelle diverse campagne geognostiche svolte negli anni 1988, 1992 e 2010, nei terreni di fondazione delle torri, lato Sicilia e lato Calabria.

Di tutti i dati disponibili è stato dato maggior peso a quelli rilevati nell'ultima campagna geognostica del 2010, facente parte del presente Progetto Definitivo, tuttora in via di completamento (*le analisi descritte nel seguito sono state svolte con i dati disponibili al 24/11/2010*). Sono stati presi in considerazione anche i risultati di analisi condotte in aree diverse da quelle in esame, ma su terreni appartenenti alle stesse formazioni geologiche.

Tali analisi sono finalizzate alla precisa ed accurata definizione della granulometria e del coefficiente di permeabilità dei terreni di fondazione, parametri fondamentali per la progettazione degli interventi di preconsolidamento previsti.

### 4.1 Fondazione lato Sicilia

#### 4.1.1 Sondaggi analizzati

Si elencano di seguito i sondaggi dai quali sono stati prelevati i campioni per le granulometrie analizzate, e dove sono state eseguite le prove di permeabilità in foro prese in considerazione

##### *Campagna 2010*

- FSBH1 504
- FSBH2 505
- FSPP1 PZ

##### *Campana 1988*

- P800/1

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		PF0011_F0 PF0011_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011

#### 4.1.2 Granulometrie

I terreni di fondazione della Torre lato Sicilia appartengono a due formazioni geologiche, i “Depositi costieri” e “Ghiaie di Messina” che son caratterizzate da una storia evolutiva differente, ma che dal punto di vista granulometrico appaiono molto simili.

Si riportano nel seguito i grafici con i risultati delle analisi granulometriche svolte su campioni prelevati nei sondaggi FBH1-504 e FBH2-505, eseguiti nella campagna geognostica del 2010 in corrispondenza della fondazione.



Figura 5: distribuzione granulometrica in funzione della profondità del sondaggio FSBH1-504

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica	<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20/06/2011</i>

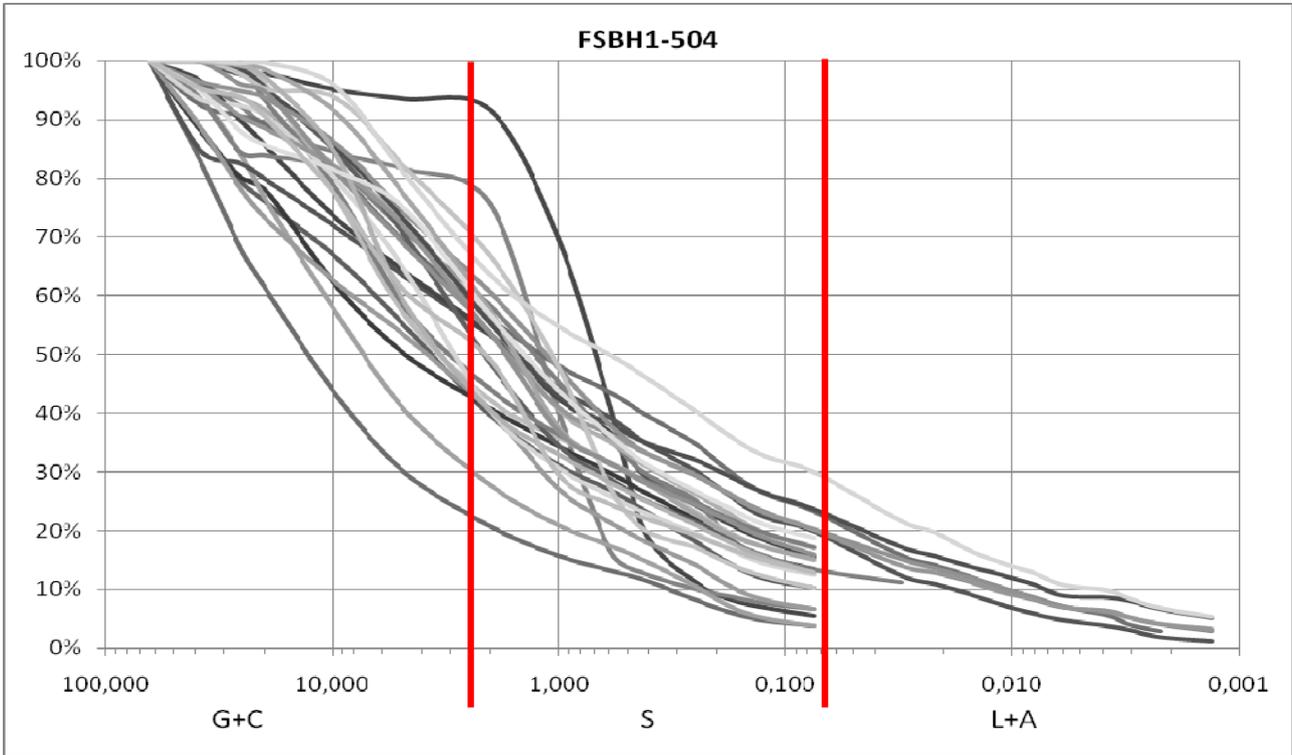


Figura 6: fusi granulometrici del sondaggio FSBH1-504

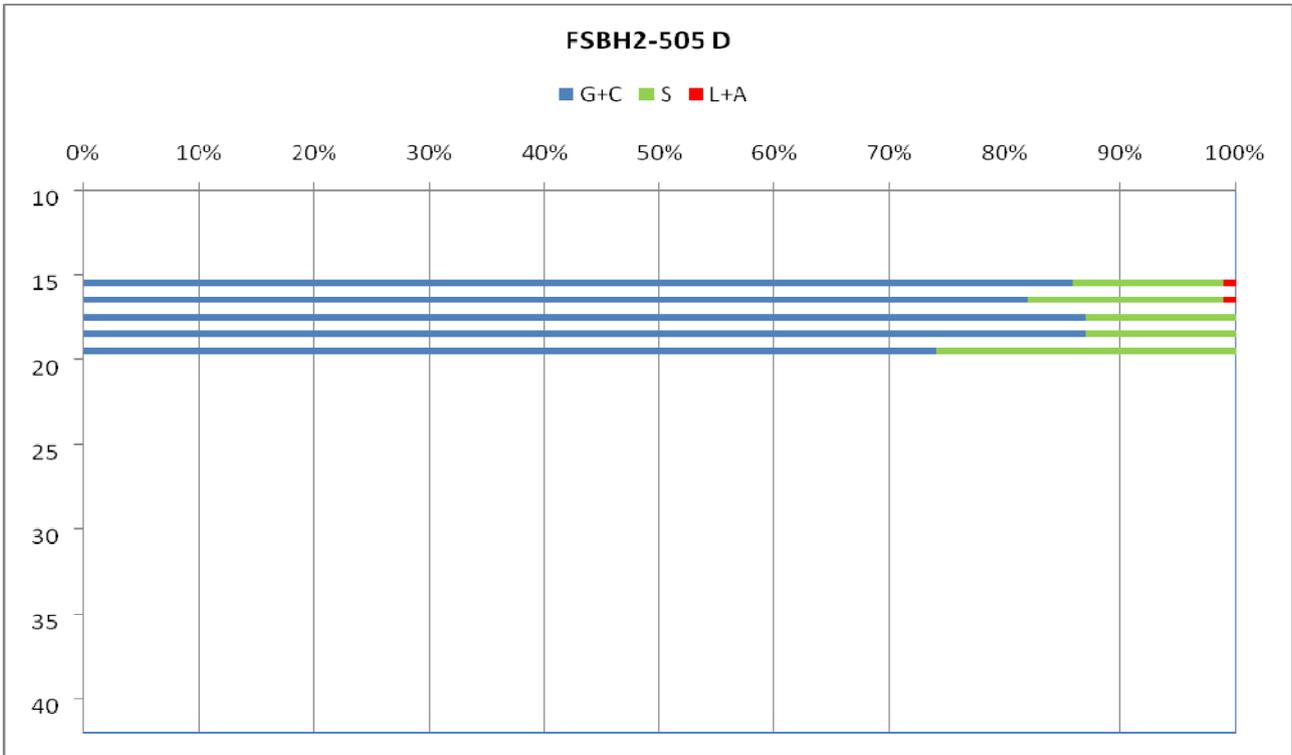


Figura 7: distribuzione granulometrica in funzione della profondità del sondaggio FSBH2-505D

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica	<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011	

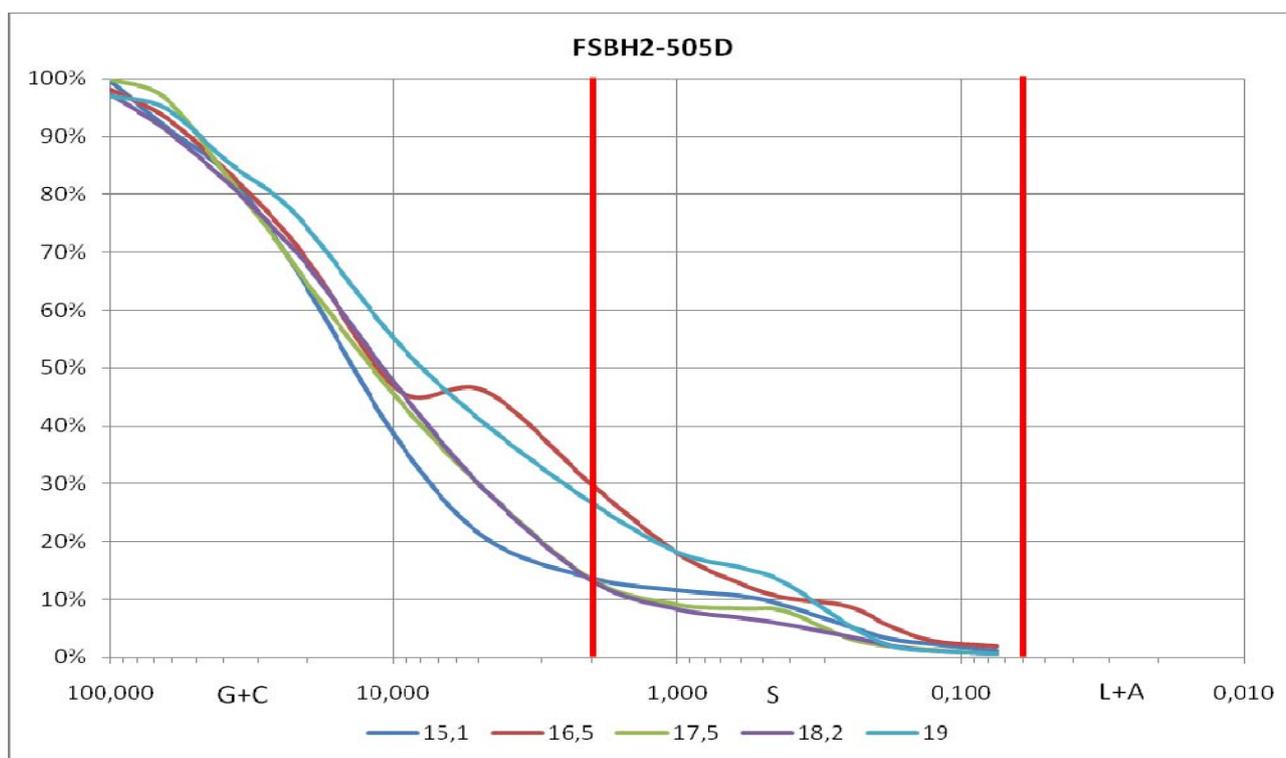


Figura 8: fusi granulometrici del sondaggio FSBH2-505D

Dai grafici sopra riportati risulta evidente la netta predominanza dei termini grossolani (ghiaia e sabbia) sulla porzione fine (limo e argilla), senza apprezzabili variazioni in funzione della profondità. In dettaglio nel sondaggio FSBH1-504 la componente fine (limo+argilla) oscilla attorno al  $14\pm 6\%$ , la sabbia  $38\pm 14\%$  e la ghiaia e ciottoli  $49\pm 14\%$ . Nel sondaggio FSBH2-505, dove sono stati prelevati campioni di terreno congelato, la porzione fine risulta praticamente assente, la sabbia  $16\pm 6\%$  e la ghiaia e ciottoli sono nettamente predominanti  $83\pm 6\%$ .

In sintesi dalle analisi considerate si possono estrarre i seguenti valori medi:

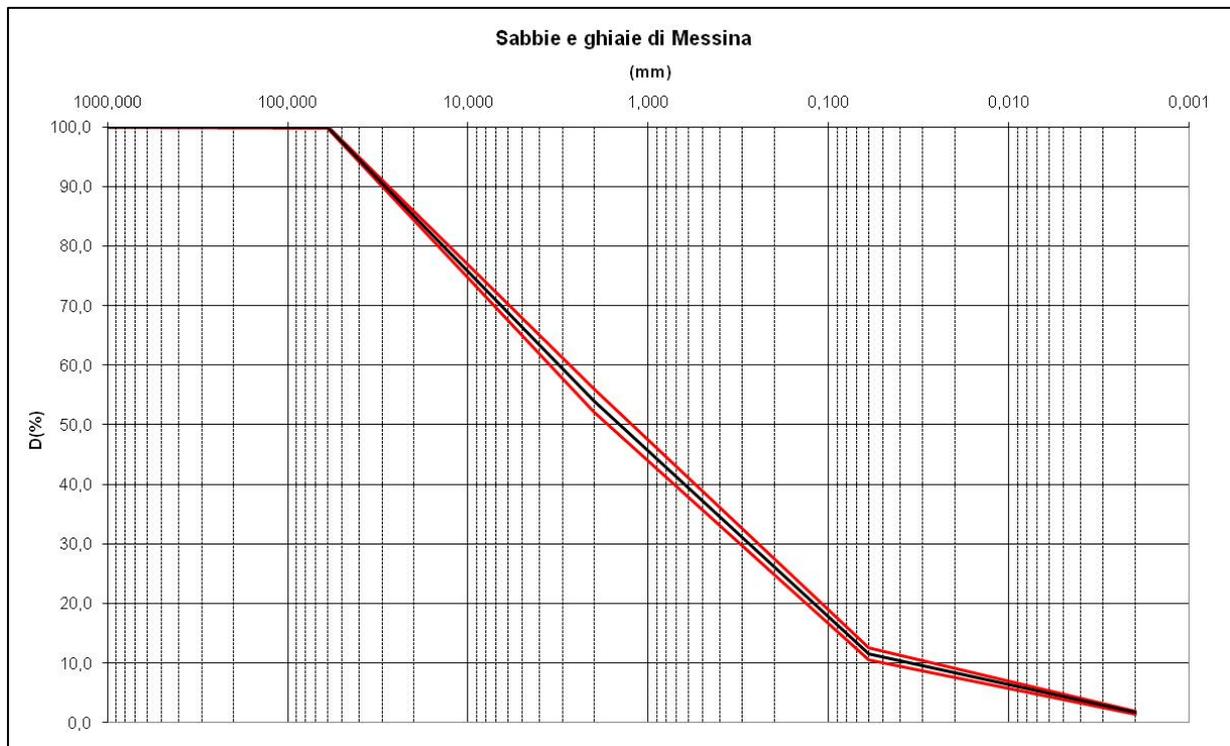
Ghiaia + ciottoli	Sabbia	Limo + argilla
$55\pm 19\%$	$34\pm 15\%$	$11\pm 8\%$

Il terreno di fondazione della Torre lato Sicilia e quindi definibile come GHIAIA CON SABBIA DA LIMOSO ARGILLOSA A DEBOLMENTE LIMOSO ARGILLOSA.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<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;"><i>F0</i></td> <td style="text-align: left;"><i>20/06/2011</i></td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	<i>F0</i>	<i>20/06/2011</i>
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
<i>F0</i>	<i>20/06/2011</i>						

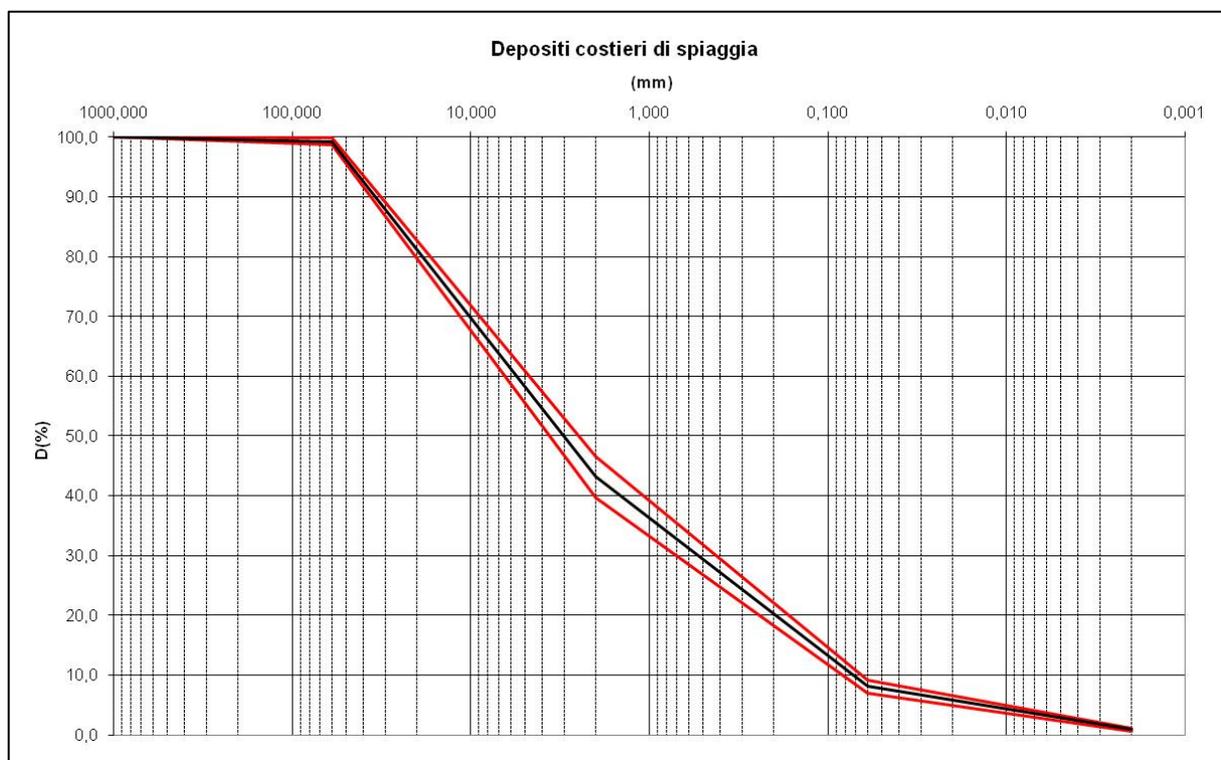
Nei grafici seguenti si riportano i risultati di tutte le analisi granulometriche eseguite su campioni appartenenti alle formazioni geologiche delle Ghiaie di Messina e dei Depositi costieri, interessanti principalmente le Opere a terra di collegamento. I

n particolare sono rappresentati i fusi granulometrici medi ed i fusi “estremi” statisticamente rappresentativi (distribuzione di t-Student).



*Figura 9: fusi granulometrici medi delle “Ghiaie di Messina”*

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		PF0011_F0 PF0011_F0.doc	Rev: F0 Data: 20/06/2011



*Figura 10: fusi granulometrici medi dei "Depositi Costieri"*

Questi grafici "general" confermano i valori medi misurati nei sondaggi FSBH1-504 e FSBH2-505.

Nel grafico seguente infine, sono stati sovrapposti i valori delle analisi granulometriche eseguite su campioni del sondaggio FSBH1-504 del presente Progetto Definitivo (curve di colore nero), e campioni dal sondaggio di Progetto Preliminare SPT8 (curve di colore rosso). Dal confronto si può notare una leggera differenza nella quantità di frazione appartenente alla ghiaia e ciottoli, maggiore nel sondaggio del Progetto Preliminare rispetto a quella individuata in sede di Progetto Definitivo.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica	<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

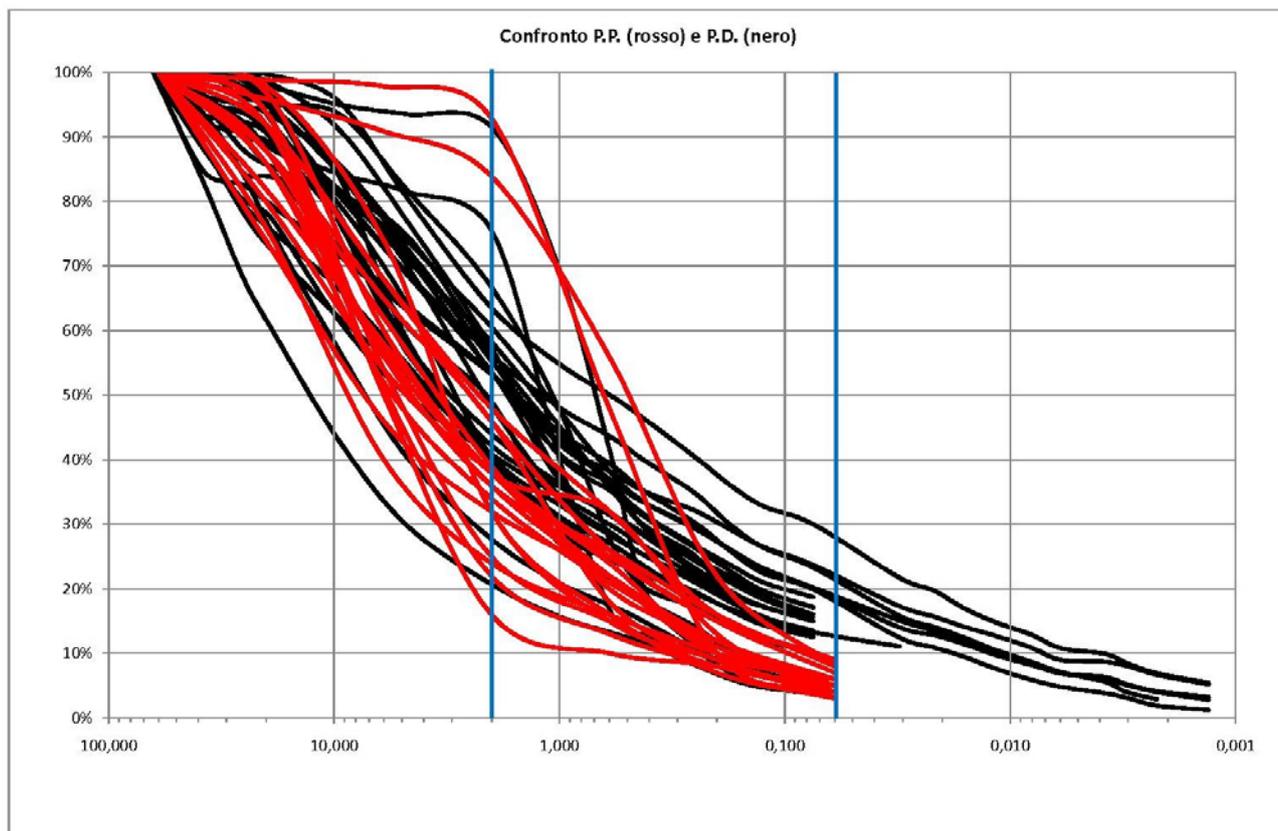


Figura 11: fusi granulometrici: confronto tra dati di Progetto Preliminare e Definitivo

#### 4.1.3 Prove di permeabilità

Nei grafici seguenti si riportano i risultati delle prove di permeabilità tipo Lefranc eseguite sia a carico costante sia a carico variabile nel sondaggio FSPP1 PZ (2010), raffrontate con la stratigrafia del sondaggio stesso.

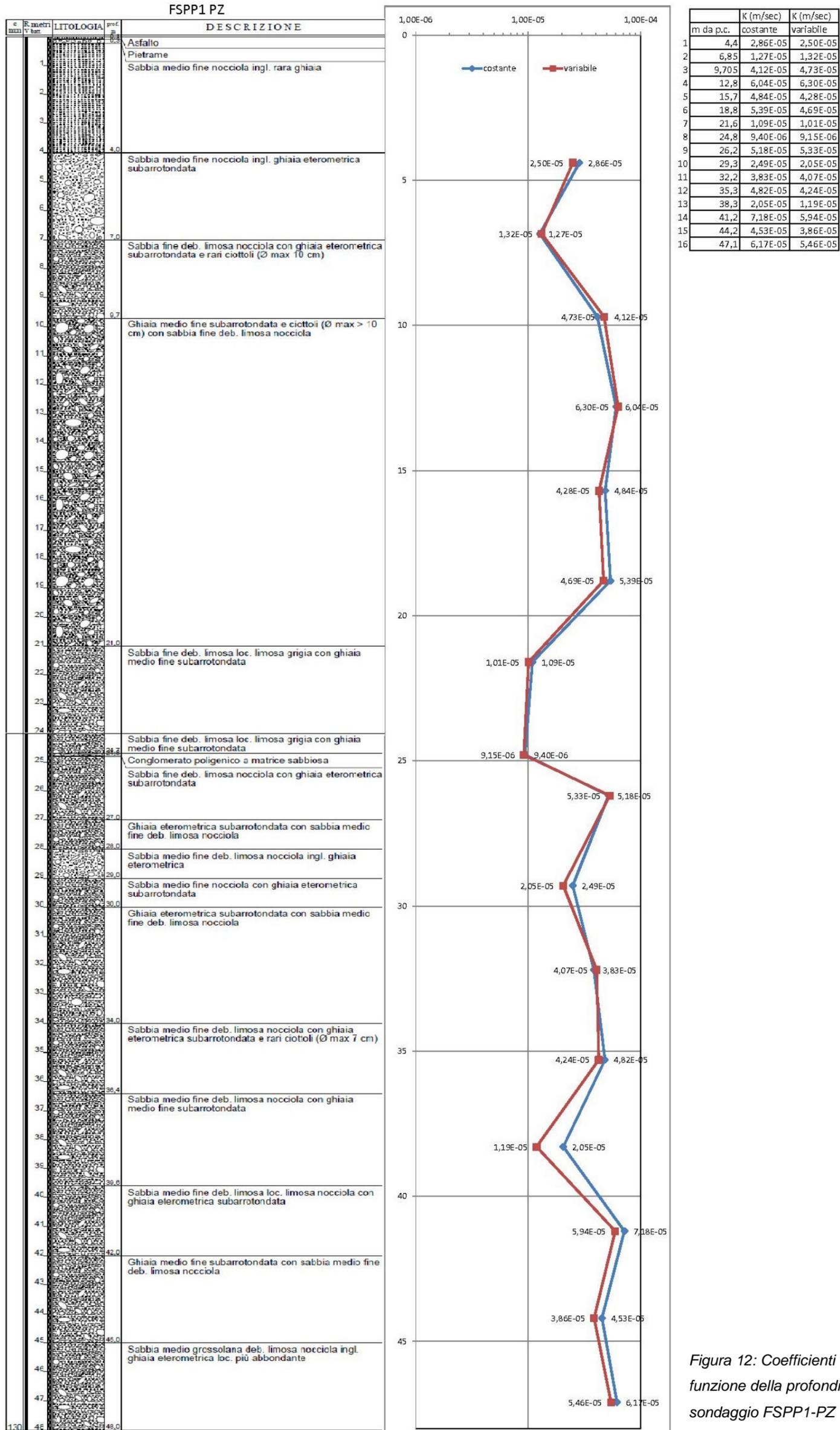


Figura 12: Coefficienti di permeabilità in funzione della profondità misurati nel sondaggio FSPP1-PZ

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Appare evidente che i valori misurati del coefficiente di permeabilità risultano, ad eccezione di dati puntuali, piuttosto costanti con la profondità, compresi in un intervallo ristretto di valori; escludendo il valore di  $9.15 \times 10^{-6}$  m/sec misurato in corrispondenza di un sottile livello conglomeratico, i valori sono compresi tra  $1.01 \times 10^{-5}$  m/sec e  $7.18 \times 10^{-5}$  m/sec.

A livello più generale, si riporta di seguito il grafico con tutti i valori di permeabilità misurati nei terreni appartenenti alle formazioni geologiche delle Ghiaie di Messina e dei Depositi Costieri, nell'ambito delle diverse le campagne geognostiche svolte. In dettaglio: in colore verde sono riportate le prove eseguite nelle indagini fino al 1992, mentre il rosso e blu le prove effettuate in sede di Progetto Definitivo (nelle fondazioni in colore rosso, nelle opere a terra in colore blu).

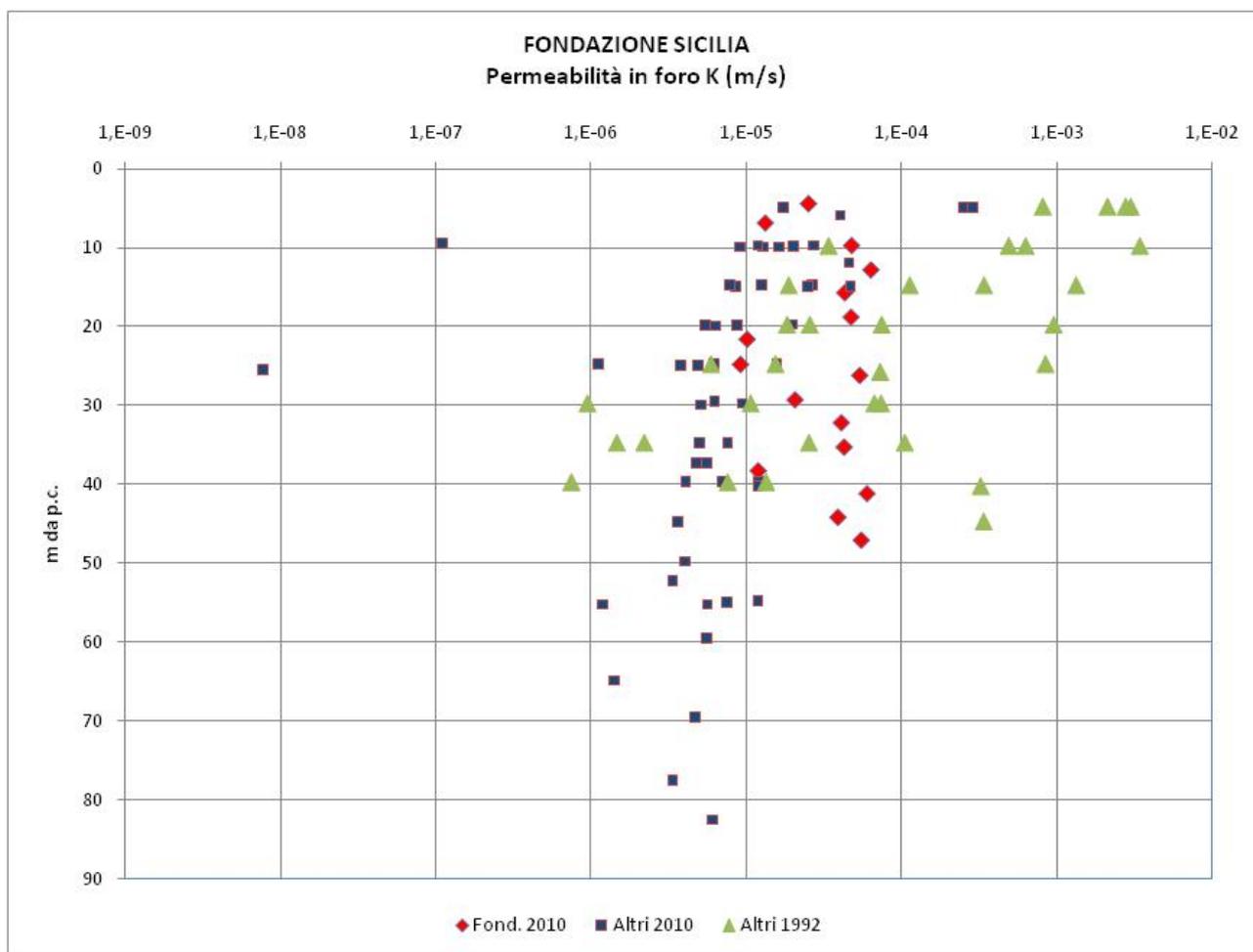


Figura 13: Prove di permeabilità: confronto tra dati di Progetto Preliminare e Definitivo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

Dal grafico si nota come i valori misurati nella campagna geognostica del 1992 per il Progetto Preliminare siano mediamente più alti dell'ordine di  $10^{-3}$  m/sec -  $10^{-4}$  m/sec, mentre quelli misurati durante la campagna geognostica del 2010 (Progetto Definitivo) risultano mediamente più bassi, indicativamente compresi tra  $10^{-5}$  m/sec e  $10^{-4}$  m/sec.

Infine si segnala il risultato di una prova di pompaggio eseguita per il Progetto Preliminare, nel 1992, la quale ha misurato un valore del coefficiente di permeabilità sensibilmente più alto rispetto a quanto misurato della prove in foro:  $Kh=5 \times 10^{-3}$  m/sec.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica	<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20/06/2011</i>

## 4.2 Fondazione lato Calabria

### 4.2.1 Sondaggi analizzati

Si elencano di seguito i sondaggi dai quali sono stati prelevati i campioni per le granulometrie analizzate, e dove sono state eseguite le prove di permeabilità in foro prese in considerazione

Campagna 2010

- FCBH1 501
- FCSPT-503
- FCCH2-509
- FCBH1-510
- FCBH1-512
- FCPP1 PZ

Campana 1988

- P800/1
- BH7

### 4.2.2 Granulometrie

I terreni di fondazione della Torre lato Calabria appartengono fondamentalmente a due formazioni geologiche: i “Depositi costieri” ed il “Conglomerato di Pezzo” separate da un sottile livello di “Calcarenite di Vinco”. Risulta poco utile analizzare le granulometrie eseguite sui campioni di conglomerato frantumato in laboratorio, poiché non rappresentative della situazione naturale in situ. Inoltre i trattamenti riguardano sostanzialmente i depositi costieri: nei grafici seguenti vengono quindi presi in esame i valori delle analisi eseguite sui depositi superficiali costieri.

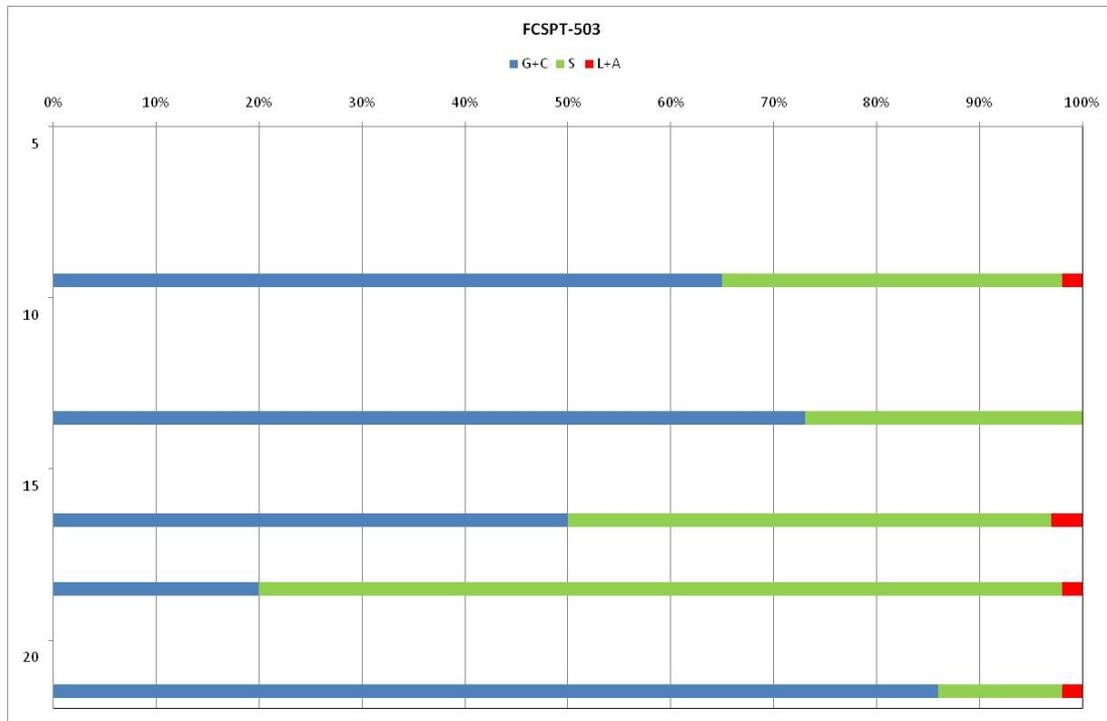


Figura 14: distribuzione granulometrica in funzione della profondità del sondaggio FCSPT-503

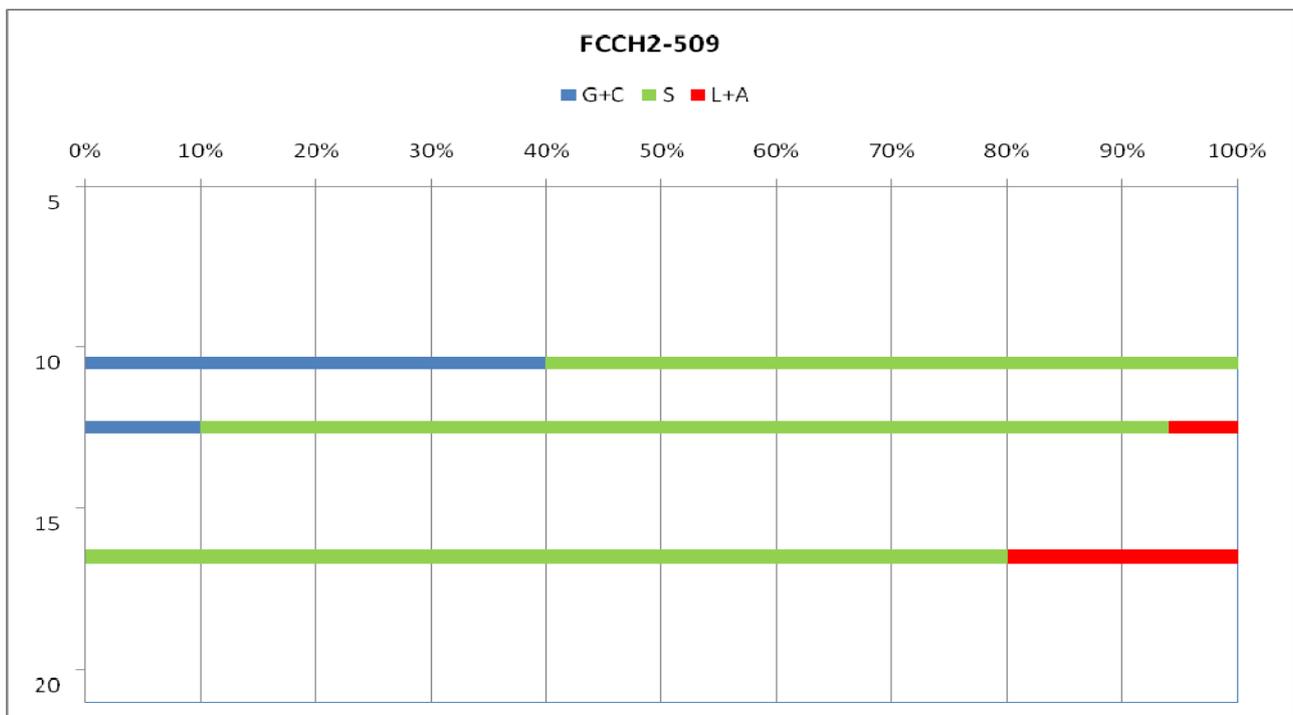


Figura 15: distribuzione granulometrica in funzione della profondità del sondaggio FCCH2-509

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica	PF0011_F0 PF0011_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011

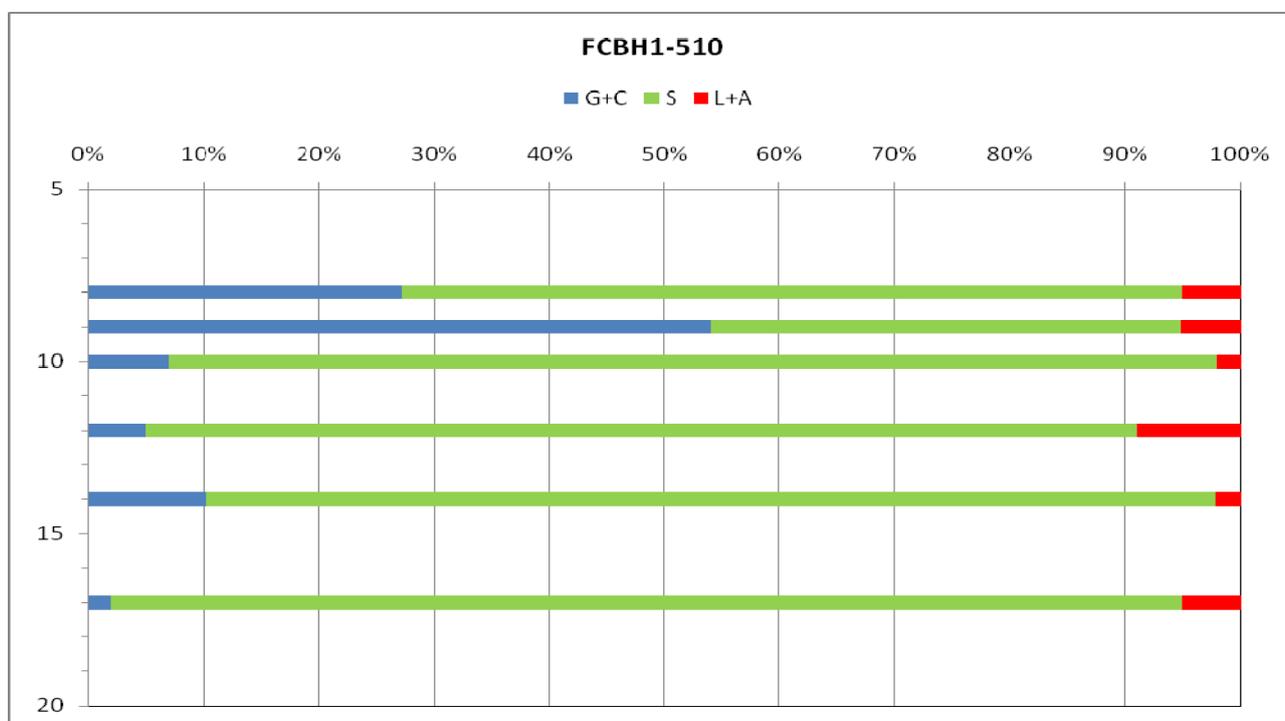


Figura 1: distribuzione granulometrica in funzione della profondità del sondaggio FCBH1-510

Dai grafici sopra riportati risulta evidente la netta predominanza dei termini grossolani (ghiaia e sabbia) sulla porzione fine (limo e argilla). In dettaglio nel sondaggio FCSPT-503 la componente fine (limo+argilla) oscilla attorno al  $2\pm 1\%$ , la sabbia  $39\pm 25\%$  e la ghiaia e ciottoli  $59\pm 25\%$ .

Nel sondaggio FCCH2-509, il contenuto della porzione fine risulta  $9\pm 10\%$ , la sabbia  $75\pm 13\%$  e la ghiaia e ciottoli  $17\pm 21\%$ . Nel sondaggio FCBH1-510, il contenuto della porzione fine risulta  $5\pm 3\%$ , la sabbia  $77\pm 20\%$  e la ghiaia e ciottoli  $17\pm 20\%$ .

L'esame delle stratigrafie sembra comunque evidenziare la presenza di un modesto strato di terreni più fini in corrispondenza del contatto tra i depositi costieri ed il substrato conglomeratico.

In sintesi dalle analisi considerate si possono strarre i seguenti valori medi:

Ghiaia + ciottoli	Sabbia	Limo + argilla
$32\pm 29\%$	$63\pm 27\%$	$5\pm 5\%$

Il terreno di fondazione della Torre Calabria appartenente alla formazione dei "Depositi Costieri" si può definire come SABBIA CON GHIAIA DEBOLMENTE LIMOSA ARGILLOSA.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

Nei grafici seguenti si riportano i risultati di tutte le analisi granulometriche eseguite su campioni appartenenti alla formazione geologica dei Depositi costieri, eseguite per il progetto delle opere a terra di Collegamento.

In particolare sono rappresentati i fusi granulometrici medi ed i fusi “estremi” statisticamente rappresentativi (distribuzione di t-Student).

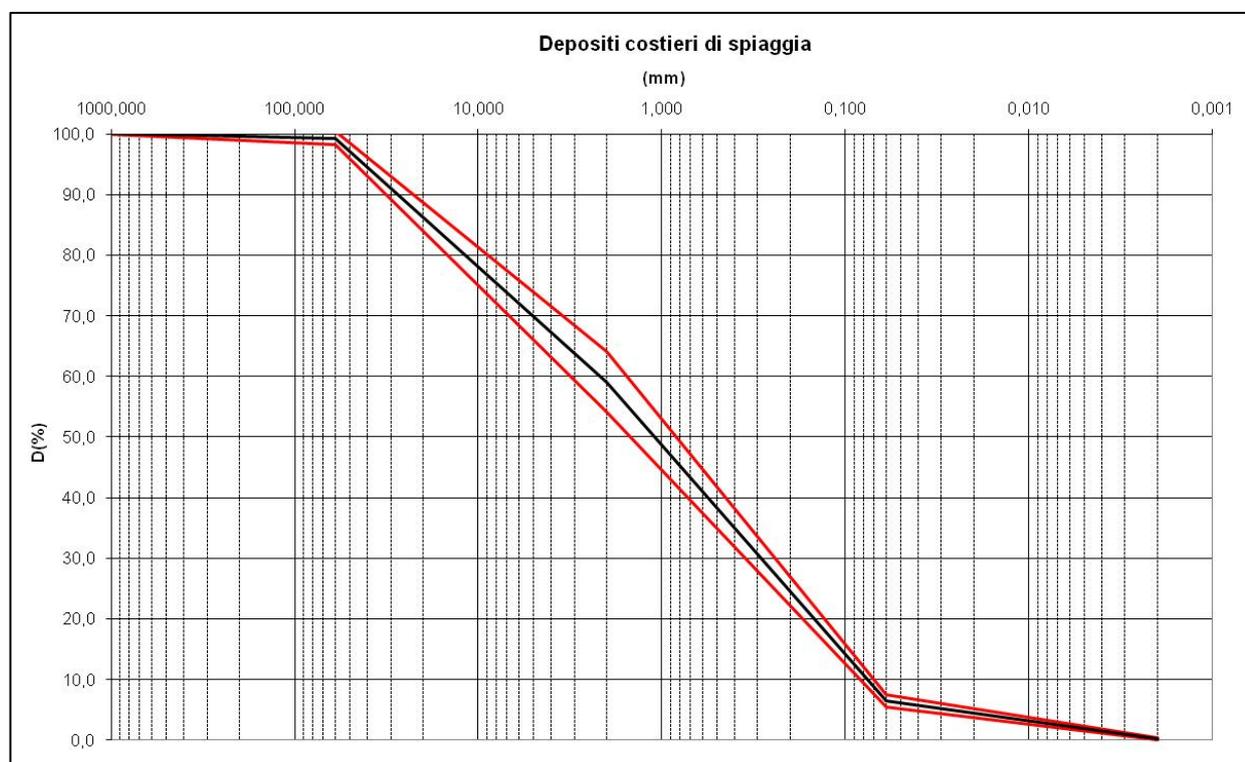
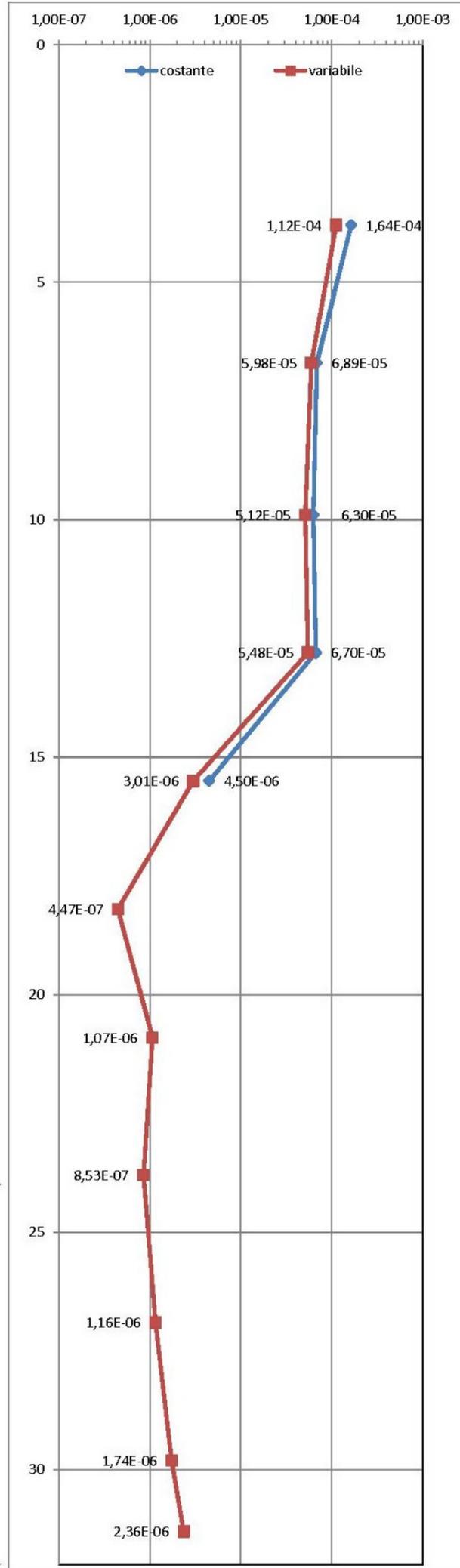
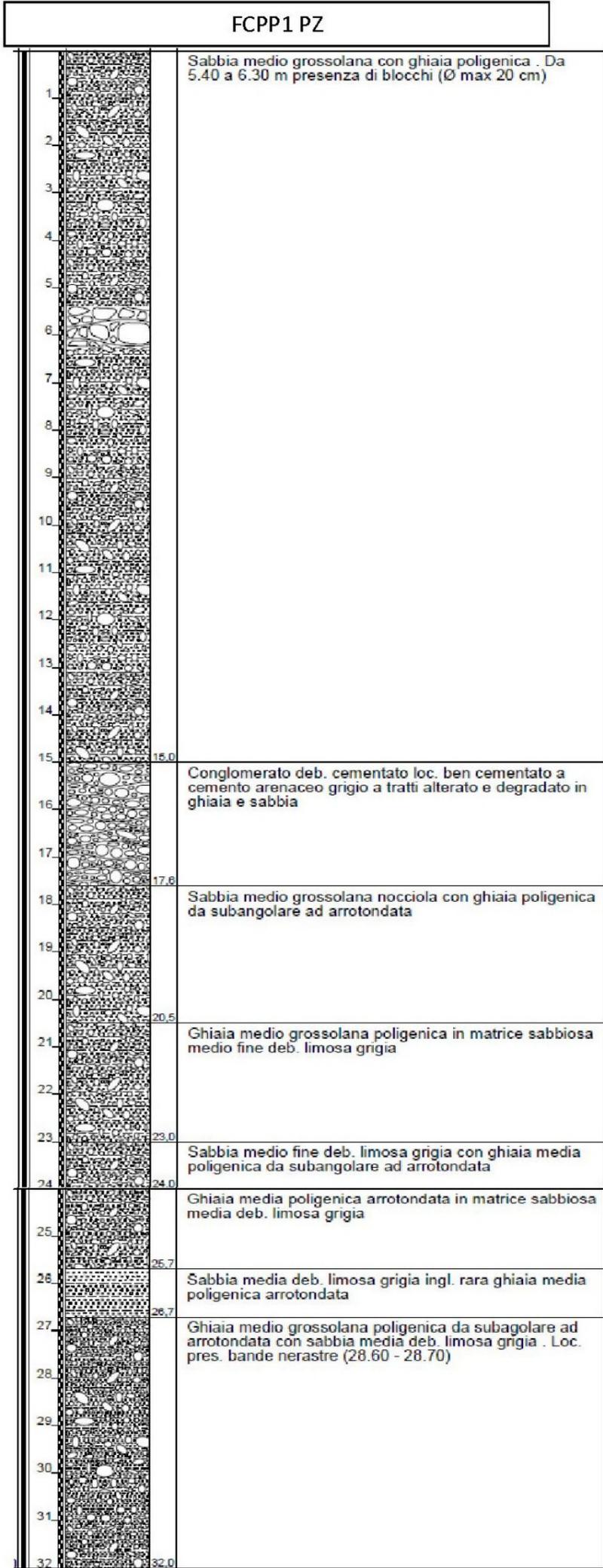


Figura 2: fusi granulometrici medi dei “Depositi Costieri”

Questi grafici “generalí” confermano i valori medi misurati nei sondaggi FCSPT-503, FCCH2-509 e FCBH1-510.

#### 4.2.3 Prove di permeabilità

Nei grafici seguenti si riportano i risultati delle prove di permeabilità tipo Lefranc eseguite sia a carico costante sia a carico variabile nel sondaggio FCPP1 PZ (2010), raffrontate con la stratigrafia del sondaggio stesso.



m da p.c.	K (m/sec)		
	costante	variabile	
1	3,8	1,64E-04	1,12E-04
2	6,7	6,89E-05	5,98E-05
3	9,9	6,30E-05	5,12E-05
4	12,8	6,70E-05	5,48E-05
5	15,5	4,50E-06	3,01E-06
6	18,2		4,47E-07
7	20,9		1,07E-06
8	23,8		8,53E-07
9	26,9		1,16E-06
10	29,8		1,74E-06
11	31,3		2,36E-06

Figura 3: Coefficienti di permeabilità in funzione della profondità misurati nel sondaggio FCPP1-PZ

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica	PF0011_F0 PF0011_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011

Anche in questo caso i valori misurati del coefficiente di permeabilità risultano piuttosto costanti fino alla profondità di 15m, ovvero all'interno dei depositi costieri, con valori rientranti nell'intervallo di  $5.12 \times 10^{-5} \div 1.64 \times 10^{-4}$  m/sec.

Oltre tale profondità i valori diminuiscono sensibilmente data la presenza del Conglomerato di Pezzo, con valori compresi tra  $4.47 \times 10^{-7}$  e  $4.50 \times 10^{-6}$  m/sec.

Si riporta di seguito il grafico con tutti i valori di permeabilità misurati nei terreni appartenenti alle formazioni geologiche dei Depositi Costieri e del conglomerato di Pezzo, nell'ambito di tutte le campagne geognostiche svolte.

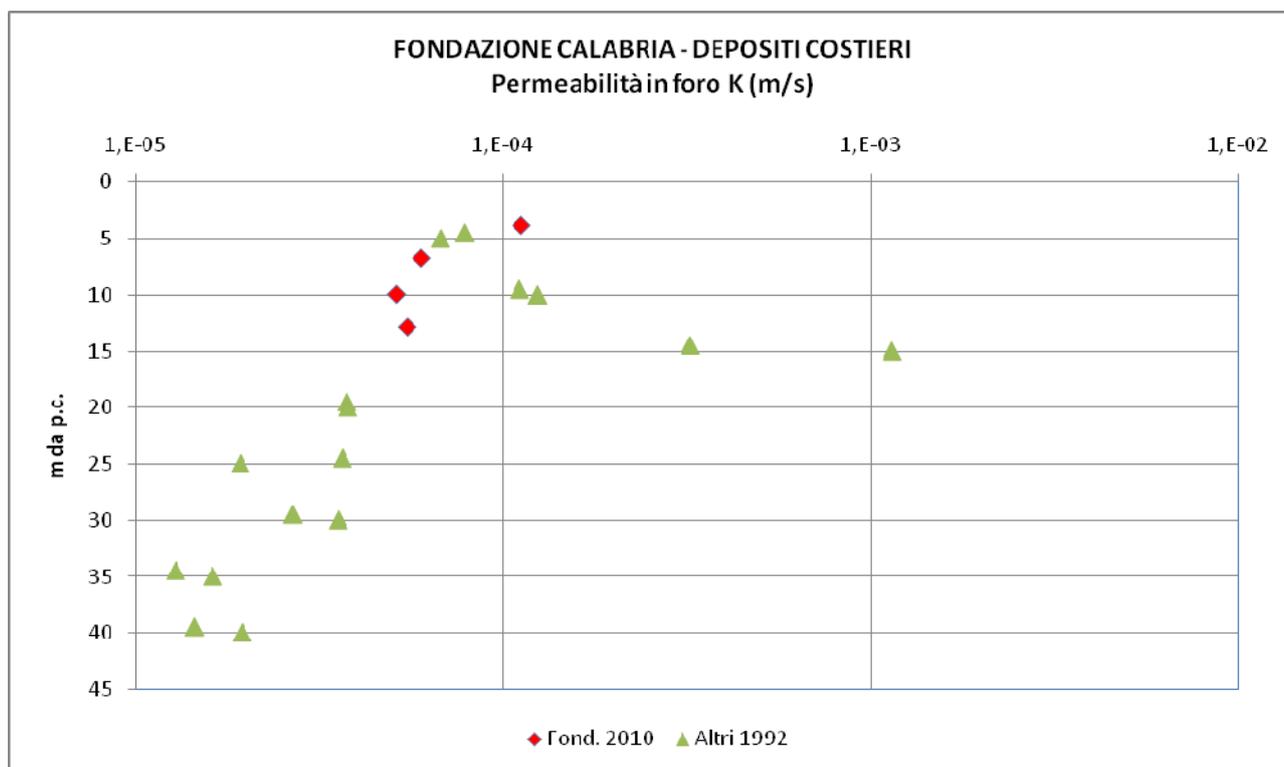


Figura 4: Coefficienti di permeabilità in funzione della profondità misurati nei depositi costieri in tutti i sondaggi disponibili

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica	<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

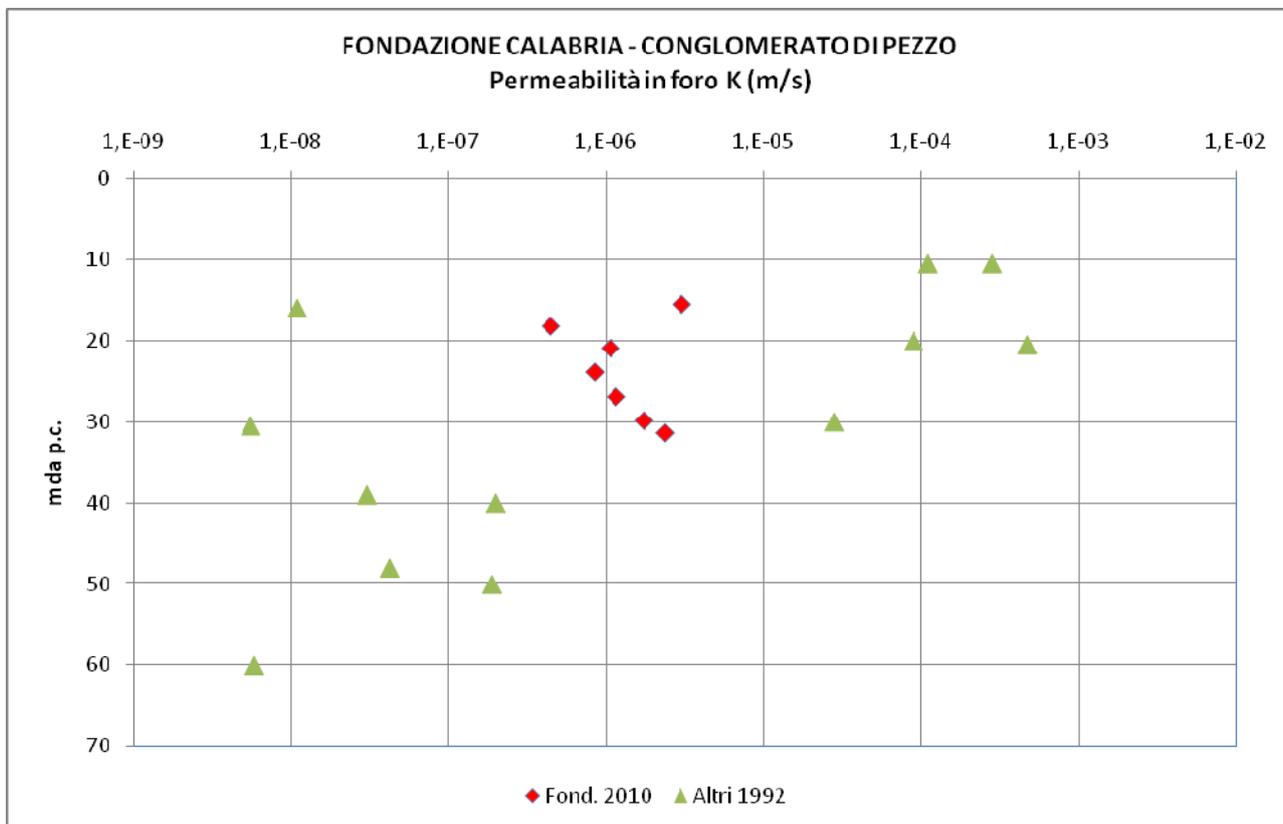


Figura 20: Coefficienti di permeabilità in funzione della profondità misurati nel Conglomerato di Pezzo in tutti i sondaggi disponibili

Dai grafici si possono fare le seguenti considerazioni:

- per i depositi costieri si nota una certa linearità dei risultati, con valori del coefficiente di permeabilità che diminuisce con la profondità, in funzione del grado di addensamento del terreno che si incrementa con la profondità. I valori misurati nel sondaggio FCPP1-Pz eseguito nel 2010 in corrispondenza della fondazione della Torre Calabria, si pongono come medi rispetto ai valori misurati nelle varie campagne di indagine;
- per il Conglomerato di Pezzo i valori risultano piuttosto dispersi poiché il coefficiente di permeabilità varia in funzione del grado di cementazione del conglomerato che risulta variabile non solo in funzione della profondità. Anche in questo caso i valori misurati nel FCPP1-Pz eseguito nel 2010 in corrispondenza della fondazione della Torre Calabria, si pongono come medi rispetto agli altri valori misurati.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica	<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011	

Infine si segnala il risultato di una prova di pompaggio eseguita per il Progetto Preliminare, 1992, che ha misurato un valore del coefficiente di permeabilità sensibilmente più alto rispetto a quanto misurato della prove in foro nella, individuando un valore di permeabilità pari a  $K_h=2\div 3 \times 10^{-3}$  m/sec.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5 Trattamento dei terreni – Descrizione degli interventi

Per i trattamenti dei terreni previsti in corrispondenza delle fondazioni delle torri, si è previsto l'impiego di colonne, eseguite mediante la tecnologia del jet-grouting, con diametro nominale di 1600-1800 mm. Per ottenere tali diametri, in considerazione delle caratteristiche di permeabilità dei terreni oggetto di trattamento, dovrà essere impiegata la tecnologia del “trifluido”, nella quale oltre all'immissione nel terreno, ad alta pressione, di miscele cementizie, si prevede anche l'impiego di aria ed acqua quali fluidi di perforazione e con funzione di disgregazione e miscelazione del terreno.

In progetto si sono individuati due tipologie di trattamento:

- la prima interessante l'impronta della fondazione (plinto circolare e transetto di collegamento), ovvero disposta internamente al perimetro dei diaframmi in c.a. impiegati per lo scavo delle fondazioni. Tale trattamento presenta una duplice funzione: di miglioramento delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità dei terreni interessati dallo scarico delle fondazioni dell'opera di attraversamento, con funzione quindi di sottofondazione finalizzata al controllo dei cedimenti ed alla garanzia della capacità portante dei terreni. La seconda volta a garantire la tenuta idraulica del pozzo di fondazione in fase di scavo per la sua realizzazione; in questo caso il trattamento determina la formazione di un tappo di fondo, in grado di garantire l'impermeabilità del fondo scavo. In abbinamento alle opere di sostegno degli scavi, costituite da diaframmi compenetrati a tenuta, mediante impiego di idrofresa, evita l'impiego di attività di aggotamento allo scopo di rendere eseguibili i getti delle opere di fondazione ed evitare impatti sugli equilibri idrogeologici esistenti.
- La seconda tipologia di trattamento interessa una fascia di terreno al contorno dell'impronta delle fondazioni, esternamente all'area delimitata dai diaframmi, ed ha principalmente la funzione di migliorare le prestazioni dei terreni nei confronti di azioni cicliche di tipo sismico. Presenta quindi una funzione “anti-liquefazione”.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

Nel seguito, per ciascun trattamento, si riporta la descrizione delle geometrie, richiamando nel dettaglio gli elaborati grafici di riferimento.

## 5.1 Trattamento di fondazione

Il trattamento prevede l'adozione di colonne in jet-grouting del diametro 1600 mm, disposte secondo una maglia equilatera di lato 1.20 m. Tale geometria permette un trattamento diffuso dei terreni, ma non offre una compenetrazione ottimale dal punto di vista della tenuta idraulica, soprattutto se si tengono in considerazione le tolleranze di esecuzione, che portano ad inevitabili deviazioni di verticalità rispetto all'asse teorico di progetto del trattamento.

Pertanto per un tratto terminale del consolidamento, alla base del trattamento per uno spessore di 10 m, si è previsto, pur mantenendo la maglia equilatera di lato 1.20m, di aumentare il diametro reso della colonna a 1800 mm. Questo permette di garantire una idonea compenetrazione tra i trattamenti anche in caso di deviazioni sulla verticale dello 0.8-0.9% (che sono tolleranze già significativamente ristrette). In sostanza, si procederà ad un'unica perforazione da piano campagna, prevedendo l'impiego di due set di parametri operativi di iniezione (in particolare agendo sulla velocità di risalita dell'utensile) così da determinare, per un primo tratto a partire dal fondo foro, un diametro reso di 1800 mm e successivamente di 1600 mm.

Le profondità dei trattamenti variano tra la fondazione lato Sicilia e lato Calabria.

Lato Sicilia, i trattamenti presentano una geometria costante, con esecuzione della jettiniezione da quota -15.30 m s.l.m a quota -38.50 m s.l.m, impiegando da quota -15.30 m s.l.m. a quota -28.50 m s.l.m diametri resi di 1600 mm, e da quota -28.5 m s.l.m fino a quota -38.50 m s.l.m diametri resi di 1800 mm. Uno schema simile è previsto per l'area di trattamento all'interno del transetto di collegamento tra i due plinti di fondazione. Una specifica maglia di consolidamento verrà adottata in corrispondenza del perimetro interno dei diaframmi, allo scopo di garantire la tenuta nel punto di infissione delle paratie. Per il dettaglio delle geometrie si rimanda agli elaborati GCG0800P8DPSTF3TS00000001A "Trattamento dei terreni – Planimetria", GCG0800W8DPSTF3TS00000001B "Trattamento dei terreni – Sezioni" e GCG0800SZDPSTF3TS00000002B "Trattamento dei terreni – Particolari costruttivi". In particolare, in questo ultimo vengono riportati i dettagli costruttivi, con la maglia delle colonne e le quote di esecuzione dei trattamenti.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

Lato Calabria, la geometria relativa alla profondità di trattamento risulta più complessa, in quanto la geologia ha evidenziato la presenza del substrato costituito dal Conglomerato di Pezzo a profondità variabile lungo l'asse dell'opera di attraversamento, a partire dal litorale fino a monte della fondazione. Al di sopra del Conglomerato si ha la presenza dei depositi costieri recenti. Questi ultimi sono oggetto di trattamento mediante jettinazione, mentre i trattamenti terminano allorchè la perforazione si innesta per una breve tratto di garanzia, 0.50 m, nel substrato. I trattamenti partiranno da quota – 15.30 m s.l.m per presentare lunghezza variabile da un minimo 23.20 m di ad un massimo di 50 m circa. Anche in questo caso si esegue sul fondo del trattamento una fascia dello spessore di 10 m (che segue il contatto substrato-depositi) mediante colonne di diametro 1800 mm, così da garantire la tenuta idraulica del tappo di fondazione. Per la fondazione lato Calabria, nel tratto compreso tra il tampone di fondo e la base della fondazione, verranno realizzate solo una parte delle colonne di diametro 1600 mm, essendo la funzione di supporto dei carichi di fondazione svolta anche dai diaframmi in c.a. Il trattamento è circa pari al 55% dell'area di fondazione, prevedendo una maglia esagonale con trattamento centrale come riportato negli elaborati grafici.

I particolare degli interventi sono riportati nell'elaborato GCG0800SZDPSTF3TS00000002B "Trattamento dei terreni – Particolari costruttivi", GCG0800P8DPSTF3TS00000001A "Trattamento dei terreni – Planimetria", mentre le geometrie sono in dettaglio illustrate negli elaborati GCG0800P8DPSTF3TS00000002A "Trattamento dei terreni – Planimetria", GCG0800W8DPSTF3TS00000001B "Trattamento dei terreni – Sezioni 1/2", GCG0800W8DPSTF3TS00000002B "Trattamento dei terreni – Sezioni 2/2. Essendo presenti, all'interno dei depositi costieri, delle lenti di torbe, al fine di garantire la realizzazione dei diametri previsti in progetto, si prevede un'operazione di pre-lavaggio del foro mediante iniezione di acqua ad alta pressione.

In entrambe le fondazioni, la quota di esecuzione delle perforazioni per l'esecuzione dei trattamenti risulta a + 2.5 m, ovvero dalla quota di testa dei diaframmi, essendo i trattamenti eseguiti contestualmente alle opere di sostegno. Si prevede pertanto un primo tratto di perforazione a vuoto per raggiungere la quota di inizio trattamento.

## 5.2 Trattamento anti-liquefazione

Il trattamento anti-liquefazioni interessa una fascia di terreno al contorno dell'impronta delle

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica	<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

fondazioni, come descritto negli elaborati già richiamati rispettivamente lato Sicilia e Calabria. Verso il mare il trattamento si spinge fino al margine dell'opera di presidio della costa, denominata "passeggiata a mare". La fascia del trattamento, in questa zona, è di circa 25-30 m. Al contorno, in particolare verso l'entroterra, la fascia di trattamento è pari a 30-40 m, variabile lungo il contorno delle fondazioni. Per il trattamento si è prevista l'adozione di una maglia esagonale, di lato 3.00 m, realizzata dall'accostamento di colonne eseguite mediante jet-grouting "trifluido" del diametro di 1800 mm, così da garantire la compenetrazione in profondità con una tolleranza dello 0.8%. L'obiettivo è quello di realizzare uno schema cellulare di terreno rinforzato, con proprietà meccaniche di tenuta verso le azioni cicliche tipiche di un evento sismico. Questo nell'ottica di evitare fenomeni di liquefazione del terreno con mancanza di confinamento laterale delle fondazioni. Anche in questo caso, come per il trattamento di fondazione, si presentano profondità di trattamento diverse tra Sicilia e Calabria. In Sicilia sono presenti lunghezze costanti, da quota +0.50 m slm. a quota -28.50 m sl.m.. In Calabria, i trattamenti seguono sostanzialmente il contatto tra substrato e depositi costieri, mantenendo una profondità massima di 40.0 m. In asse fondazioni, verranno eseguiti da quota +0.50 m sl.m. a quota -28.0/-31.0 m s.l.m.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

## 6 Trattamento dei terreni – Specifiche tecniche

Per le specifiche tecniche di realizzazione dei trattamenti, in termini di caratteristiche delle attrezzature, tolleranze geometriche, ..., si rimanda al documento GCG.G.03.01 “Specifiche tecniche per la costruzione dell’opera di attraversamento – Sottostrutture”, integrato, per quanto lì indicato, dal documento GCG.G.02.01 “Specifiche tecniche per la costruzione dei collegamenti stradali e ferroviari”. Una prima ipotesi di modalità operative è riportata nel seguente capitolo.

Per ciò che concerne le caratteristiche di resistenza dei trattamenti di preconsolidamento in jet grouting, si richiedono resistenze a compressione **> 8 MPa a 28 gg** per trattamenti con diametro superiore a 1.00 m, con valori minimi di 5 MPa a quaranta giorni negli eventuali interstrati di terreni coesivi, così come già indicato nel Capitolato.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

## 7 Trattamento dei terreni – Metodologia esecutiva

Nel seguito si riporta la descrizione delle modalità esecutive da impiegarsi per la realizzazione dei trattamenti in jet-grouting, mediante la tecnica della disgregazione del terreno in situ mediante getto ad alta pressione di acqua, assistito da aria compressa e contemporanea miscelazione del terreno così disgregato con sospensione cementante (“jettiniezione” con sistema trifluido).

Con tale tecnica in genere é possibile ottenere colonne di terreno consolidato di diametro variabile tra 0,8 e 2.4 metri e profondità fino a 60 metri. Nel caso specifico si prevede la realizzazione di colonne di diametro 1.6-1.8 m, fino a profondità massime di 50 m, mediamente con lunghezze di 35-40 m.

Le specifiche descritte nel seguito sono comunque da intendersi a carattere indicativo, dovendo essere più in dettaglio messe a punto nella successiva fase di progettazione esecutiva e nell’ambito del progetto di dettaglio, in corso d’opera, alla luce di necessari campi prova di taratura e verifica delle procedure operative.

### 7.1 Sistemi di perforazione

La perforazione può essere direttamente condotta tramite le aste che successivamente saranno usate per il trattamento di consolidamento oppure costituire un’operazione condotta separatamente. Potrà essere impiegata la perforazione a rotazione o a rotopercussione rivestita come indicato nel seguito.

#### 7.1.1 Perforazione a rotazione

Si adotta tale sistema usando direttamente la batteria jet. La perforazione viene effettuata facendo ruotare e spingendo la batteria nel terreno ed utilizzando quale utensile di taglio, uno scalpello, trilama o tricono. Si perfora generalmente con acqua, o eventualmente con fango bentonitico, per meglio sostenere le pareti del foro.

#### 7.1.2 Perforazione a rotopercussione rivestita

Quando il terreno da trattare presenta trovanti di grandi dimensioni (2÷3 m), oppure la

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

granulometria grossolana non consente la stabilità del foro, la perforazione viene effettuata separatamente, con apposita batteria di perforazione e rivestimento. Si utilizzano principalmente il sistema TUBEX (Sandvik) e ODEX (Atlas Copco), che adoperano un martello fondo foro associato ad un rivestimento. Il diametro esterno del rivestimento deve essere maggiore di 140 mm. Gli elementi del rivestimento sono filettati. Alesatore e punta pilota sporgono rispetto al rivestimento e realizzano la perforazione. Il fluido di perforazione utilizzato é l'aria compressa. In terreni aperti e semi-aperti, può essere richiesto un trattamento preliminare del foro, mediante perforazione preliminare e miscela cementizia di riempimento in risalita. Successivamente, a presa avvenuta, tale foro verrà riperforato per l' esecuzione della colonna secondo le procedure standard.

## **7.2 Attrezzature**

### **7.2.1 Batteria jet**

Il diametro delle aste é indicativamente pari a 90 mm. Le aste hanno in genere lunghezze di 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 metri, ma è possibile adattare la lunghezza delle aste ad eventuali esigenze particolari. Al fondo della batteria di aste é montato il monitor porta-ugelli per l'iniezione e lo scalpello.

### **7.2.2 Ugelli**

Gli ugelli per l'acqua e quelli per l'aria compressa sono coassiali. In generale si utilizzano due set di ugelli (aria-acqua) montati contrapposti. Il diametro degli ugelli per acqua varia da 1.6 a 4.0 mm, mentre gli ugelli dell'aria hanno diametro standard pari a 11.0 mm. Gli ugelli del cemento vengono montati circa 40 cm sotto la coppia degli ugelli acqua-aria. In genere si utilizza uno o due ugelli, di diametro variabile fra 3.0 e 6.0 mm. Uno specifico campo prova permetterà, in corso d'opera, di definire la combinazione di "diametro/numero ugelli – parametri operativi di risalita" da adottare per l'esecuzione delle colonne.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

### 7.2.3 Pompa ad alta pressione

Per l'iniezione dell'acqua si utilizzano pompe a pistoncini tipo SOILMEC 5T302 o 7T450 per portate di esercizio pari a 100 - 350 l/min e pressioni pari a 35 - 45 MPa.

### 7.2.4 Compressore

Per la produzione dell'aria compressa che assiste il getto si usano compressori con portata superiore a 10 m<sup>3</sup>/h, ad una pressione compresa tra 0.7 e 2.0 MPa.

### 7.2.5 Pompe per la miscela cementizia

La miscela cementizia viene pompata da pompe alternative, tipo SOILMEC GP12, ad una portata variabile tra 50-120 lt/min, per pressioni fino a 0.7 MPa.

### 7.2.6 Sonda inclinometrica

Per il controllo della verticalità si utilizza una speciale sonda inclinometrica che viene calata entro una batteria cava. L'installazione della sonda avviene tramite una speciale batteria di aste unite da giunti cardanici. Si tratta di una sonda inclinometrica biassiale. Ci si attende un errore di verticalità dell'ordine dello 0.8%.

### 7.2.7 Registratore automatico dei parametri operativi

Si ritiene opportuno registrare automaticamente tutti i parametri di iniezione:

- pressione di fluidi
- velocità di risalita
- velocità di rotazione
- portata di iniezione
- volume iniettato.

La registrazione dei parametri potrà in alternativa essere effettuata su una percentuale delle colonne decise dal progettista. Il registratore utilizzato è il LUTZ CL 88, oppure LUTZ PL CARD, o equivalenti.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

## 7.3 Materiali

Per la realizzazione degli elementi di occorrono essenzialmente:

- fluidi di perforazione
- miscele di iniezione
- armature

### 7.3.1 Fluidi di perforazione

Tali fluidi devono assolvere vari compiti:

- mantenere pulito il foro durante la perforazione, trasportando in superficie i detriti;
- raffreddare e mantenere pulito l'utensile;
- evitare il franamento delle pareti del foro.

I fluidi normalmente utilizzati sono:

- aria compressa;
- acqua;
- fango bentonitico.

Nel caso di impiego di acqua in perforazione, il monitor é attrezzato con uno scalpello, trilama oppure tricono. Qualora si faccia uso di pre-cutting, un ugello viene montato sullo scalpello con inclinazione di circa 45° rispetto all'asse di perforazione.

Nel caso di impiego di fango bentonitico, La miscela deve avere la seguente composizione (per 1 mc): Acqua 980÷985 lt con Bentonite in ragione di 35 ÷ 40 kg.

Si utilizza aria compressa quando viene scelto il sistema di perforazione a rotopercolazione. La pressione di esercizio é generalmente compresa fra 0.7 e 2.0 MPa. Tuttavia quanto maggiore è la pressione tanto maggiore è la velocità di spurgo, migliorando quindi la pulizia del foro.

### 7.3.2 Miscele di iniezione

Le miscele di iniezione sono composte principalmente da acqua e cemento. Additivi e bentonite possono essere aggiunti per stabilizzare la miscela.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

La miscela standard utilizzata deve aver la seguente composizione (per 1 m<sup>3</sup>):

- |                             |      |            |
|-----------------------------|------|------------|
| • Cemento                   | (kg) | 600 ÷ 1200 |
| • Acqua                     | (l)  | 650 ÷ 800  |
| • Bentonite o fluidificanti | (kg) | 0 ÷ 14     |

La composizione più adatta verrà messa a punto prima dell'inizio del cantiere, in laboratorio o in cantiere, con opportune prove di taratura. Il dosaggio della bentonite o dei fluidificanti viene deciso in funzione del tipo di cemento. I parametri fisici caratteristici di tale miscela sono i seguenti:

- |                    |                       |           |
|--------------------|-----------------------|-----------|
| • Viscosità Marsh  | (secondi)             | 30 ÷ 40   |
| • Densità          | (kg/cm <sup>3</sup> ) | 1,5 ÷ 1,7 |
| • Resa volumetrica |                       | > 75%     |

Le resistenze a rottura ad espansione laterale libera di tali miscele dopo maturazione di 28 giorni devono essere fra i 25 e i 35 MPa.

Per la confezione delle miscele di iniezioni si impiegherà acqua potabile, cemento in accordo alle ENV197 ed eventuali additivi da verificare preventivamente circa gli aspetti ambientali.

## 7.4 Fasi esecutive

La realizzazione di una colonna può essere riassunta nelle seguenti fasi esecutive:

- Tracciamento
- Piazzamento
- Perforazione fino alla quota determinata
- Iniezione a pressione e velocità di risalita determinate

### 7.4.1 Tracciamento

La materializzazione sul terreno del punto di perforazione viene effettuata dal Topografo. Viene comunque fornito al Capo Cantiere e al Perforatore un disegno che riporta tutti i dati utili ad individuare con precisione sul terreno la posizione di ogni singola perforazione (interassi, distanze da punti di riferimento).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

#### 7.4.2 Piazzamento

Il Perforatore, aiutato dal Sottomacchina, sposta la perforatrice in modo da fare coincidere l'utensile di perforazione con il picchetto. Quindi appoggia a terra il piede della perforatrice e orienta l'antenna secondo l'inclinazione di progetto. La tolleranza concessa è di  $\pm 10$  cm attorno all'asse teorico.

#### 7.4.3 Perforazione

La perforazione prosegue sino alla quota di progetto. Il Perforatore si deve assicurare che il piede dell'antenna sia solidamente appoggiato, per evitare che gli sforzi dovuti alla perforazione la spostino. Qualora, per la presenza di blocchi o trovanti che impediscano l'uso della perforazione diretta sia stato utilizzato il sistema del preforo, la batteria viene calata direttamente nel foro precedentemente effettuato.

Ove ci siano pericoli di franamento delle pareti del foro, è preferibile proteggerlo con un tubo in PVC che viene poi demolito in fase di iniezione.

#### 7.4.4 Iniezione

L'iniezione va eseguita appena ultimata la perforazione estraendo e ruotando la batteria a velocità predeterminate e costanti, pompando nel contempo la miscela ad alta pressione. I parametri vengono decisi dopo aver effettuato un campo prove, per verificare l'efficacia del jet nel terreno da trattare. In generale i campi di utilizzo utilizzati sono i seguenti:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

Pressione acqua alla perforatrice	MPa	35 - 60
Portata acqua della pompa	l/min	100 - 350
Pressione miscela alla perforatrice	MPa	2 - 8
Portata miscela della pompa	l/min	60 - 120
Pressione dell'aria compressa	MPa	0.7 - 2.0
Portata aria compressa	l/min	5000 - 10000
Velocità di risalita	min/m	6 - 25
Velocità di rotazione	rpm	4 - 20

La pressione di lavoro deve essere mantenuta uguale a quella fissata  $\pm 10\%$ .

#### **7.4.5 Successione di realizzazione delle colonne**

Le colonne dovranno essere eseguite con una sequenza tale da favorire la compenetrazione; pertanto verrà eseguita in prima fase una maglia parziale, come indicato nell'elaborato con i dettagli costruttivi, e successivamente le colonne di completamento a "chiudere" la geometria. Per il dettaglio della sequenza delle lavorazioni, nell'ambito di una più generale programmazione dei lavori, maggiori dettagli verranno forniti in sede di progettazione esecutiva.

### **7.5 Controlli**

#### **7.5.1 Controlli in corso d'opera**

I controlli dovranno essere condotti secondo quanto prescritto dai Capitolati di Costruzione.

Le miscele di iniezione andranno testate prima dell'inizio del cantiere con i materiali che si intende adottare (acqua, cemento, bentonite, additivi).

Si proveranno, con cadenza giornaliera, i seguenti parametri:

- Densità, con miscela tipo Baroid
- Viscosità, mediante cono di Marsh

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

- Resa volumetrica, mediante impiego di cilindro graduato
- Resistenza meccanica, su provini a differente stagionatura

In corso d'opera dovranno essere effettuati controlli riguardo al piazzamento della punta di perforazione ed, in fase di iniezione, riguardo al la pressione indicata sul manometro, oltre alla velocità di risalita ed alla velocità di rotazione ed alla quantità ed alla regolarità dello spurgo.

Durante l'esecuzione del lavoro, per ogni elemento verranno registrati i seguenti dati:

- numero di identificazione
- data di esecuzione
- diametro del trattamento
- eventuali note su problemi incontrati durante l'esecuzione.
- eventuali registrazioni automatiche dei parametri di iniezione.

### 7.5.2 Controlli finali

Il controllo sistematico della geometria delle colonne si rivela generalmente non praticabile, anche se verrà impiegata, in sede esecutiva, la tecnologia più efficace al fine di effettuare controlli il più sistematico possibile. Un controllo generalizzato avverrà mediante la registrazione dei parametri di iniezione, che devono essere uguali a quelli scelti sulla base dei risultati del campo prove, nel quale tale controllo viene effettuato in maniera quanto più possibile precisa. Si assume infatti che le caratteristiche del terreno da trattare siano paragonabili a quelle della zona ove si sono condotte le prove.

In casi particolari la geometria delle colonne potrà essere verificata tramite carotaggi inclinati che attraversino almeno una colonna in corrispondenza del suo asse. In tal caso le dimensioni della colonna esaminata andranno calcolate sulla base della lunghezza carotata e dell'angolo di inclinazione del foro.

I controlli finali consistono principalmente nell'esecuzione di carotaggi in asse alle colonne di terreno consolidato. In tale fase si verificherà la continuità del trattamento. Il carotaggio deve essere effettuato dopo un sufficiente tempo di maturazione del trattamento. Il carotaggio deve essere effettuato con un doppio carotiere con corona diamantata.

Dalle carote si preleveranno campioni da sottoporre a prove di schiacciamento. Le carote devono

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

avere diametro minimo 70 mm. Il numero e la posizione dei carotaggi da eseguire sono di norma fissati dal Cliente o dal Direttore Lavori. I campioni prelevati dai carotaggi vengono sottoposti a schiacciamento secondo lo schema i valori di resistenza sono stabiliti dal progettista.

Per i trattamenti aventi lo scopo di realizzazione uno schermo impermeabile si realizzeranno prove d'acqua nel foro, oppure prove di pompaggio.

Le colonne di jet grouting con funzione di sottofondazione potranno invece essere sottoposte a prove di carico quando vengano usate quali elementi di fondazioni profonde.

Infine, una valutazione complessiva sulla bontà del trattamento potrà essere condotta mediante prove di tipo "cross-hole". Tale tipo di test mira a verificare, attraverso le onde sismiche, la continuità di un trattamento massivo. Viene realizzato a partire dall'interno di perforazioni posizionate in modo che le onde sismiche attraversino la massa di terreno trattato.

### 7.5.3 Campi prova iniziali

Al fine di definire in dettaglio i parametri operativi per la realizzazione dei trattamenti colonnari in jet-grouting, occorrerà predisporre uno specifico campo prova. Scopi del campo prova sono:

- la definizione dei parametri operativi d'intervento, quali la composizione della miscela stabilizzante, i volumi e la portata del fluido introdotto, il numero ed il diametro degli ugelli, la pressione applicata e la velocità di risalita e di rotazione delle aste;
- i criteri di valutazione dei requisiti dei trattamenti realizzati, con indicazione delle prove da eseguire in situ ed in laboratorio;
- i requisiti minimi richiesti da progetto.

Si realizzerà il campo prova in corrispondenza di un'area adiacente alle opera da eseguire, così da potere procedere allo scavo parziale delle colonne al fine di una ispezione visiva. In sede di progettazione esecutiva verrà redatto uno specifico documento.

In questa fase si individua la necessità di realizzare una serie di colonne, di lunghezza pari a quelle previste in progetto, con diversi set di parametri; si realizzeranno colonne singole e rosette di 5-6 colonne a riprodurre le maglie di compenetrazione previste in progetto.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

Per ciascun trattamento del campo prova dovrà essere compilata una scheda contenente le seguenti informazioni:

- Denominazione del trattamento, con indicazione dell'ubicazione topografica e del giorno di esecuzione;
- Parametri operativi di progetto e reali: quota piano campagna, errore di centramento sul picchetto, inclinazione dell'asta di perforazione;
- Parametri di perforazione: lunghezza della perforazione, lunghezza della perforazione a vuoto, pressione in perforazione, diametro utensile, caratteristiche utensile;
- Parametri di iniezione: numero ugelli, diametro degli ugelli, velocità di rotazione, velocità di risalita, pressione pompa miscela, portata miscela;
- Caratteristiche della miscela: rapporto A/C, quantità miscela utilizzata, densità della miscela, viscosità della miscela, decantazione o resa volumetrica, tempo di presa, prelievo dei campioni per prove di rottura;
- Caratteristiche del trattamento: diametro efficace medio, quota testa;
- Prelievo di campioni dal trattamento: numero e profondità di asportazione, indicazioni sull'eventuale esecuzione di carotaggio in asse (RQD ...).

Al fine di verificare la buona riuscita del trattamento occorrerà procedere a:

#### Esame visivo del consolidamento

L'esame visivo del consolidamento sarà effettuato portando a giorno lo stesso sino ad una profondità  $\geq 5-6$  m da piano campagna. Lo scavo del terreno a lato del consolidamento dovrà essere eseguito in più fasi successive, al fine di permettere una verifica dei trattamenti mano a mano che ci si avvicina al loro asse. L'esame permetterà di valutare le caratteristiche d'insieme dell'intervento di consolidamento previsto e l'estensione della zona consolidata dei singoli trattamenti eseguiti. Si rileva che per zona consolidata dei singoli trattamenti s'intende il volume di terreno interessato dal consolidamento sia direttamente, attraverso il rimescolamento e l'eventuale sostituzione del terreno naturale con la miscela legante, sia la zona di terreno trattato tramite lenti o livelli di miscela penetrati nel terreno stesso (claquage).

Per ogni colonna prova realizzata andrà redatta una accurata descrizione degli esiti della verifica

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

visiva, con relativa documentazione fotografica.

### Carotaggi

Si prevede l'esecuzione di 2+2 carotaggi continui, per l'intera lunghezza delle colonne, con carotiere di almeno 100 mm di diametro nominale, in corrispondenza delle rosette compenstrate.

Sui carotaggi eseguiti andranno condotte le seguenti operazioni:

- catalogazione, descrizione e documentazione fotografica;
- osservazioni relative al grado di continuità con l'indicazione della percentuale di recupero e la lunghezza di ciascun pezzo di carota. Tale percentuale di recupero dovrà essere superiore o uguale al 70%;
- prelievo di campioni indisturbati per ciascun carotaggio, ogni 5 m di profondità a partire da – 2 m da p.c.. I campioni dovranno essere conservati in fustelle di PVC chiuse con paraffina e imballati. Su tali campioni andranno eseguite le prove di laboratorio indicate nel seguito.

### Prove di laboratorio

Dopo aver ultimato l'esame visivo dei trattamenti, dovranno essere asportati dei blocchi di terreno consolidato, sufficienti da poter prelevare in laboratorio campioni, in asse al trattamento, per ciascun consolidamento, in aggiunta alle carote prelevate dalle perforazioni di cui al paragrafo precedente. Sui tali campioni, in parte trascorsi 14 giorni ed in parte trascorsi almeno 28 giorni dall'esecuzione delle colonne, si prevede l'esecuzione delle seguenti prove di laboratorio:

- determinazione del peso specifico;
- resistenza a compressione mediante prove ad espansione laterale libera.
- su 1/3 dei provini, la prova a compressione dovrà essere condotta in controllo di deformazione o carico, al fine di determinare il valore del modulo elastico del terreno consolidato.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
TORRI – Trattamento dei terreni – Relazione tecnica		<i>PF0011_F0</i> <i>PF0011_F0.doc</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> 20/06/2011

## 8 Conclusioni

Nella presente relazione tecnica si sono descritti i trattamenti dei terreni previsti nell'ambito della realizzazione delle fondazioni lato Calabria e Sicilia dell'Opera d'Attraversamento, facenti parte dei lavori di realizzazione del Ponte sullo Stretto di Messina.

I trattamenti sono finalizzati da un lato alla realizzazione di un tappo di fondo, all'interno del perimetro del plinto di fondazione, con funzione sia di tenuta idraulica durante lo scavo sia di consolidamento dei terreni di fondazione, dall'altra alla realizzazione di una maglia di consolidamenti esterni all'impronta della fondazione, per una fascia al contorno dell'ordine dei 30-40 m, con funzione di trattamento anti-liquefazione in presenza di azioni di natura sismica.

Dopo avere esaminato il contesto geologico-geotecnico generale delle aree di intervento si sono descritte in dettaglio le caratteristiche di permeabilità e granulometria dei terreni interessati dai trattamenti.

Sono state quindi descritte in dettaglio le geometrie e le specifiche tecniche di esecuzione dei trattamenti, individuando una prima metodologia esecutiva che necessiterà di essere approfondita e calibrata in sede di Progetto Esecutivo e di progettazione esecutiva di dettaglio, a seguito della realizzazione di specifici campi prova.