



# Il Sindaco del Comune di Messina

Commissario Delegato ex O.P.C.M. n. 3721 del 19 Dicembre 2008

COMUNE DI MESSINA - PROCEDURA APERTA, AI SENSI DELL'ART. 53 COMMA 2 LETTERA C) DEL D.LGS 163/06 E S.M.I. PER L'AFFIDAMENTO DELLA PROGETTAZIONE E COSTRUZIONE DEI LAVORI INERENTI LA PIATTAFORMA LOGISTICA INTERMODALE DI TREMESTIERI CON ANNESSO SCALO PORTUALE - 1° STRALCIO FUNZIONALE - € 80.000.000,00 - O.P.C.M. 3721/08 - CIG. 0429752291.  
Opera inserita nell'elenco di cui all'art.1 dell'O.P.C.M. 3633 del 2007

## PROGETTO DEFINITIVO

(Redatto ai sensi dell'art.25 del D.P.R. n. 554/99 e ai sensi dell'art.8 del Disciplinare di Gara)

PROPONENTE: **SIGENCO S.p.A.**



ELABORATO:	TITOLO:	DATA:
<b>C1</b>	<b>RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA SUL MODELLO FISICO OPERE PORTUALI</b>	<b>MAGGIO 2010</b>

### PROGETTISTI:

#### INTERPROGETTI

INTERPROGETTI S.r.l.

Ing. Marco PITTORI

Ing. Sergio PITTORI

collaboratori:

ing. Plinio MONTI, ing. Silvia POTENA

ing. Andrea PAGNINI, ing. Giulia ZANZA

ing. Christian SFERRA

arch. Francesca Romana MONASS

geom. Alessandro MARCHISELLA



SEACON S.r.l.

Ing. Massimo VITELLOZZI

collaboratori:

Ing. Corrado MONTEFOSCHI

Geom. Lorenzo DI BIASE

CIPRA S.r.l.

Ing. Marco MENEGOTTO

collaboratori:

Ing. Alessandro CONCETTI

### CONSULENTI:

Consulenza geotecnica:  
Prof. Ing. Giuseppe SCARPELLI  
Dipartimento F.I.M.E.T.  
dell'Università Politecnica  
delle Marche



Consulenza opere idrauliche  
e modellazione fisica delle opere:  
Prof. Ing. Pierluigi AMINTI  
Dipartimento di ingegneria civile  
e ambientale dell'Università di Firenze



Prof. Ing. Enio PARIS  
Dipartimento di ingegneria civile  
e ambientale dell'Università di Firenze

Consulenza ambientale:  
Prof.ssa Angela POLETTI  
Dipartimento di architettura  
e pianificazione del Politecnico di Milano



Consulenza impiantistica:  
NEOS Engineering  
Ing. Emiliano GUCCI

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE FRA LE VARIE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Ing. Marco PITTORI

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Francesco DI SARCINA

Rev. n°	DESCRIZIONE	DATA	REDATTA	APPROVATO
00	Emissione	Mag.10	Prof. Ing. P. AMINTI	Ing. M. Pittori
	Doc.: 1509			
INTERPROGETTI S.r.l. Via di Priscilla, 116 - 00199 ROMA - Tel. 0686200297 fax: 0686200298 E-mail: INFO@INTERPROGETTI.NET			Società certificata ISO 9001 : 2008 Certificato n° 214513	



## **COSTRUZIONE DELLA PIATTAFORMA LOGISTICA INTERMODALE DI TREMESTIERI CON ANNESSO SCALO PORTUALE – PRIMO STRALCIO FUNZIONALE**

### **Prove su modello fisico per la determinazione del coefficiente di riflessione delle nuove opere del porto di Tremestieri**

#### **Premessa**

La soc. SIGENCO S.p.A. ha commissionato al Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale le prove su modello fisico per la determinazione del coefficiente di riflessione di una sezione tipo delle banchine interne progettate per il Porto di Tremestieri e di una sezione della scogliera di protezione esterna dei piazzali

Il Committente ha fornito i disegni necessari per la costruzione del modello ed ha indicato le caratteristiche del moto ondoso da riprodurre sulla base delle analisi eseguite dall'Università di Catania per la zona di studio.

Le prove sono state eseguite nel periodo 20 aprile – 16 maggio 2010.

#### **1. Banchina interna antiriflettente**

Le prove sono state effettuate presso il Laboratorio di Idraulica in un canale provvisto di generatore di moto ondoso (figura 1) avente le seguenti caratteristiche:

- Lunghezza: 50 m ;
- Larghezza: 0.80 m ;
- Profondità: 0.80 m.

Il sistema di generazione del moto ondoso è composto da un elaboratore e da un canale attrezzato con una pala azionata da un sistema idraulico ad attuazione oleodinamica (figura 2).



**Figura 1: Il canale del Laboratorio di Idraulica del Dipartimento**

La generazione del segnale di guida del battionda, in grado di riprodurre in canale i moti ondosi aventi caratteristiche spettrali volute, avviene mediante un software appositamente sviluppato presso il laboratorio e basato sulla tecnica spettrale detta "*deterministic amplitudes and random phases*". Tramite una conversione digitale-analogica, il segnale viene inviato al sistema di controllo della pala e attraverso il posizionamento di sonde resistive lungo il canale, viene eseguita l'acquisizione analogica in tempo reale del livello della superficie libera.

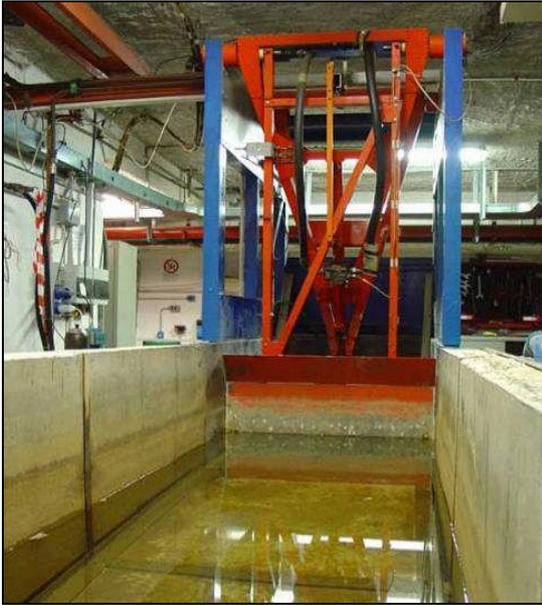
Il sistema permette la generazione sia di onde sinusoidali, con periodo e altezza assegnata, che di stati di mare *random* con spettro di energia uguale alle onde reali (Jonswap, Pierson-Moskowitz, Scott, Neuman, Bretschneider, Ochi-Hubble).

Il segnale *random* generato può essere memorizzato e riutilizzato per riprodurre più di una volta lo stesso stato di mare; una volta acquisito viene rielaborato in tempo reale con analisi sia nel dominio della frequenza (analisi spettrale) che nel dominio del tempo (analisi *zero-crossing*) e permette il calcolo di tutti i parametri caratteristici d'onda tra i quali:  $H_{m0}$ ,  $H_{1/3}$ ,  $H_{1/10}$ ,  $H_{max}$ ,  $H_{rms}$ ,  $T_m$ ,  $T_{1/3}$ ,  $T_p$ .

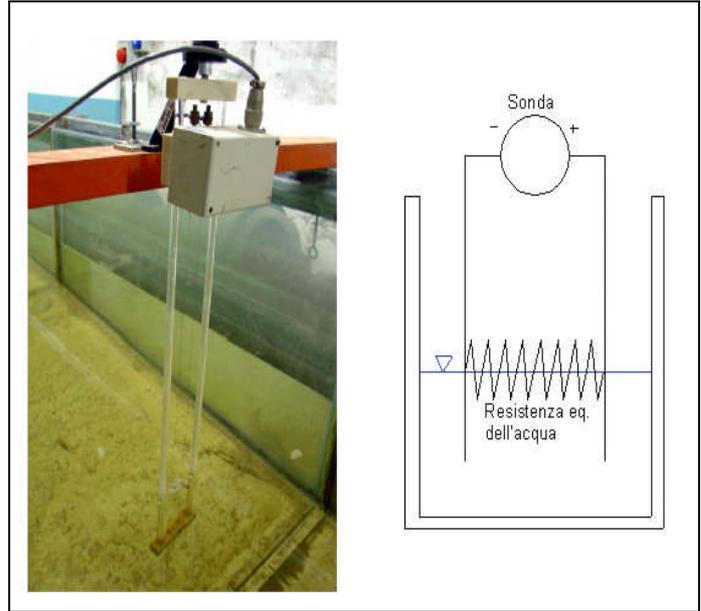
Le sonde utilizzate sono sonde resistive (v. figura 3) che forniscono una misura in Volt da convertire in unità metriche, tramite una relazione lineare del tipo:

$$\eta = V_0 + kV$$

dove  $\eta$  è la misura dell'oscillazione della superficie libera [cm];  $V$  è la misura dell'oscillazione della superficie libera [Volt]. La calibrazione delle sonde è verificata quotidianamente prima dell'inizio delle prove, tramite taratura delle stesse.

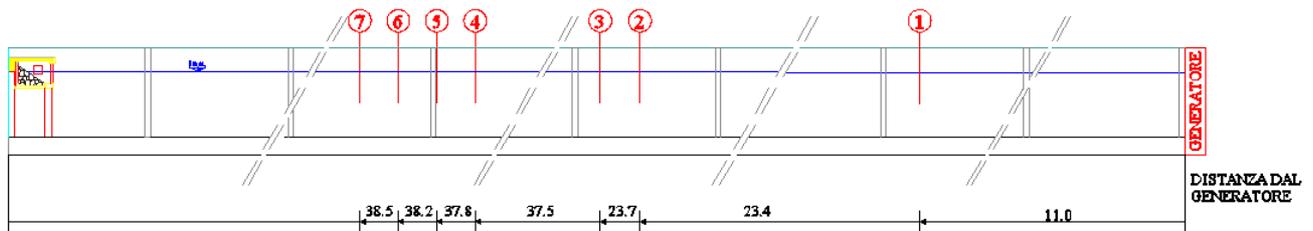


**Figura 2: Prospetto frontale della parte meccanica del generatore di onde**



**Figura 3: Sonda resistiva e schema elettrico equivalente**

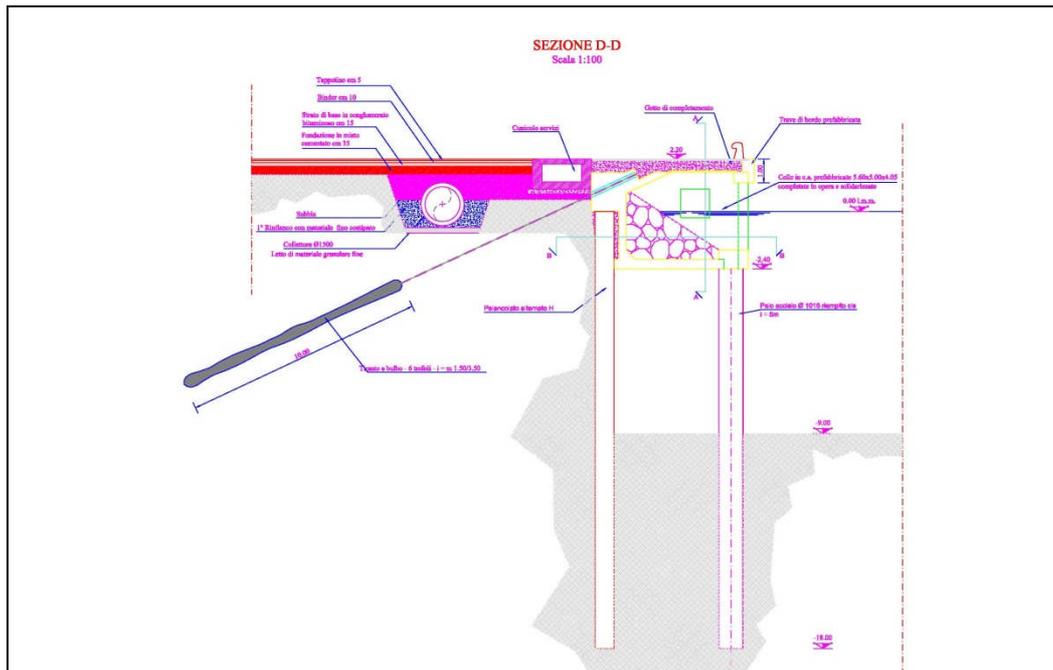
Sono state utilizzate in totale 7 sonde resistive. Le sonde 1-2-3 hanno un interasse di 0.35m e sono posizionate a distanza circa di 23 metri dal battionda e 21 metri dalla struttura. Le sonde 4-5-6-7 hanno un interasse di 0.35 m e si trovano a circa 34 metri dal battionda e a 10 metri dalla struttura (figura 4).



**Figura 4: Posizione delle sonde per la registrazione delle onde incidenti e riflesse**

Il modello è stato realizzato sulla base del progetto fornito dal Committente (figura 5) in scala 1:16 e posizionato sul fondo fisso che ha riprodotto la profondità di posa della banchina a -9m s.l.m.

Nella costruzione del modello sono state predisposte le sedi per lo spostamento verso terra della parete verticale della cella antiriflettente per rendere variabile la sua lunghezza in modo da poter ridurre il coefficiente di riflessione qualora le dimensioni di progetto fossero risultate insufficienti (figura 6).



**Figura 5: Sezione tipo della banchina antiriflettente**

Le celle sono state riempite di massi di diversa pezzatura allo scopo di determinare la stabilità della scarpata e la capacità di assorbimento delle onde incidenti. La dimensione minima dei massi in grado di rimanere stabili sotto le azioni delle onde di prova è risultata di 340g , pari a 1.4t di prototipo (figura 6).

In fase di costruzione del modello è stato verificato che la sezione provata ha le dimensioni minime di profondità sufficienti a mantenere al suo interno una scarpata stabile che arrivi a coprire interamente la parete verticale lato terra. Qualora una parte della parete rimanesse scoperta si avrebbe sicuramente un incremento del coefficiente di riflessione.



**Figura 6 a: Modello della banchina con cella antiriflettente.**



**Figura 6 b: Modello completato con massi da 340g nel canale pronto per le prove.**

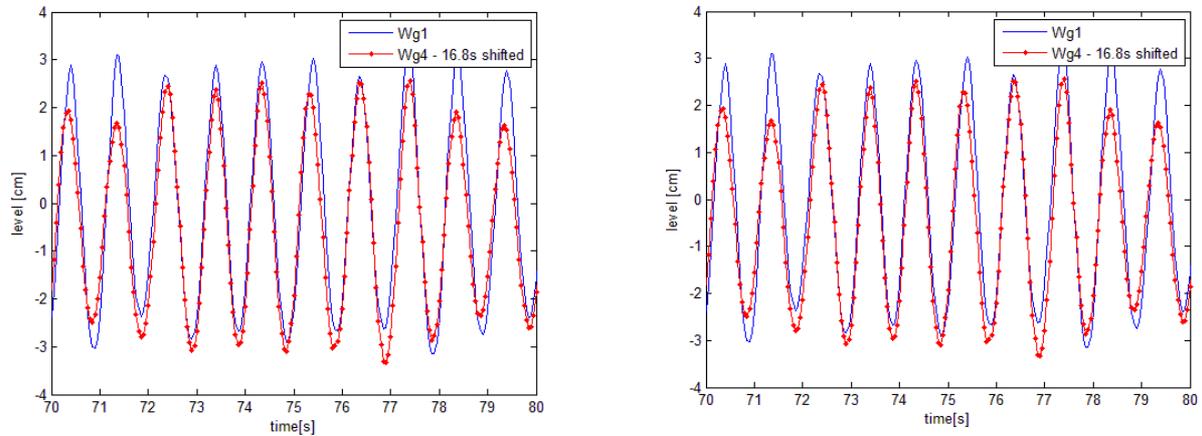
Sono stati riprodotti due set di onde: il primo costituito da onde regolari di altezza 0.8 - 1.0m con periodo di 4s e 5s e il secondo da due serie di onde irregolari con altezza d'onda (altezza media quadratica) compresa fra 0.5m e 1.3m, ossia con altezza significativa compresa fra 0.7m e 1.8m, con periodo di picco rispettivamente di 4 s e 5.2 s.

Lungo il canale sono state posizionate due serie di sonde: le sonde 1-2-3, distanziate tra di loro di 35cm e poste a circa 21m dalla struttura e le sonde 4-5-6-7 poste a circa 10m dalla struttura.

Il coefficiente di riflessione per le onde regolari è stato determinato generando un treno di trenta onde, misurandone le altezze d'onda alle sonde 1-2-3 prima di raggiungere la struttura e misurando le onde riflesse alle stesse sonde, dopo aver verificato, con prove preliminari, che fosse intercorso un tempo sufficientemente lungo fra il passaggio dell'ultima onda del treno generato e la prima onda riflessa di ritorno. Il valore di altezza considerato è la media dei valori registrati alle tre sonde.

Il coefficiente di riflessione  $H_r$  è stato ottenuto come rapporto fra le altezze delle onde riflesse misurate e le corrispondenti altezze d'onda generate.

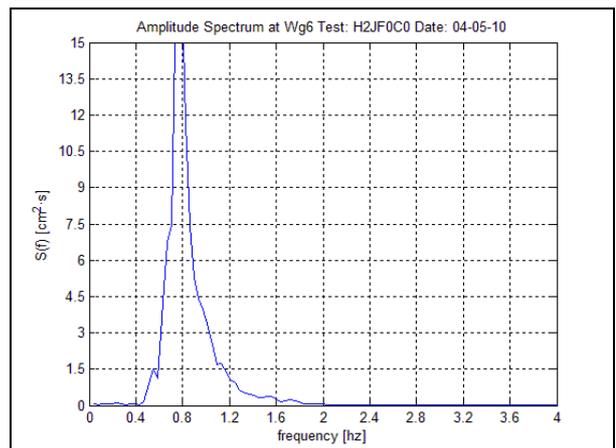
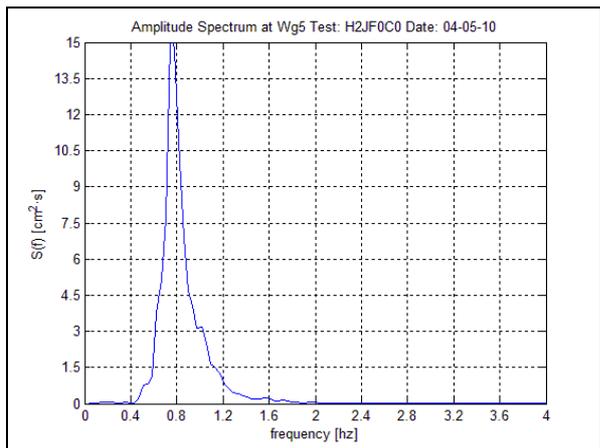
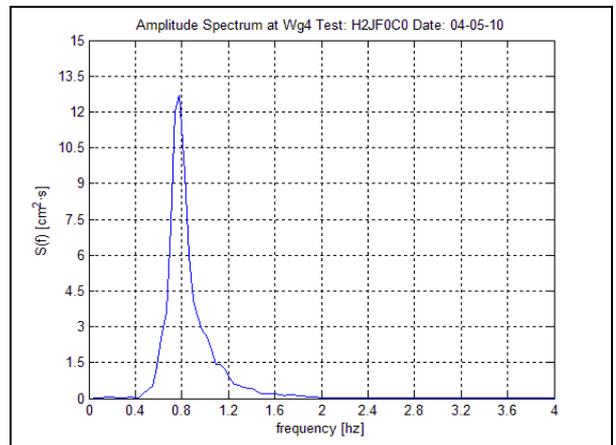
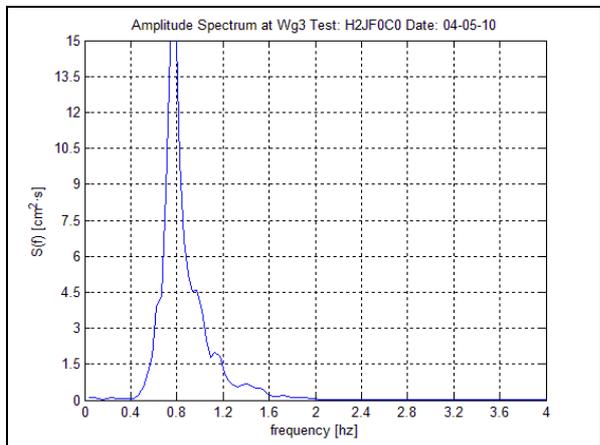
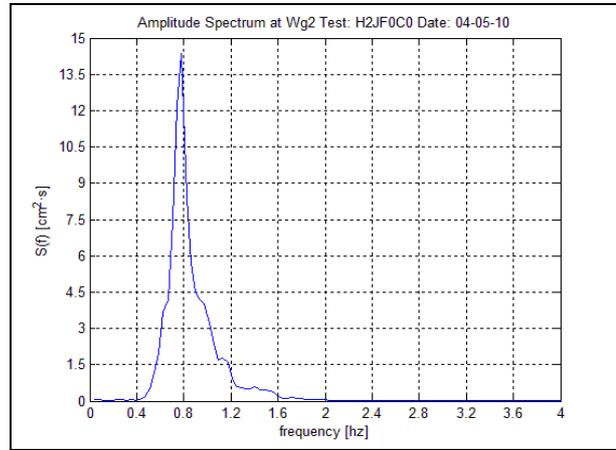
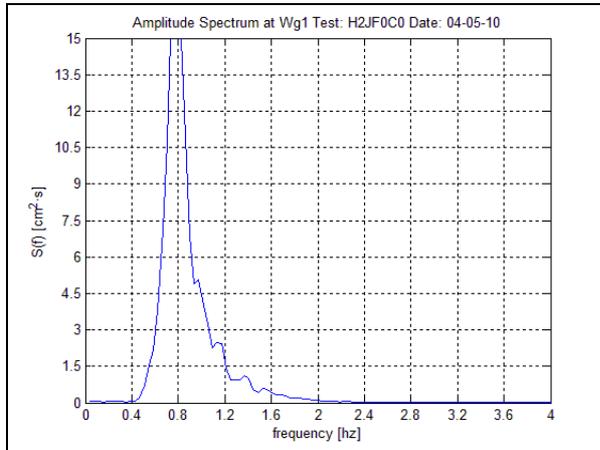
Dato che con questa procedura le altezze d'onda incidenti e riflesse non possono essere misurate in prossimità della struttura ed esse si attenuano trasmettendosi lungo il canale, è stato determinato un termine correttivo che tiene conto della dissipazione di energia, comparando le misure alle sonde 1-2-3 ed alle sonde 4-5-6-7. Sulla base di questa misura è stato determinato il valore delle altezze d'onda incidenti e riflesse in prossimità della banchina (figura 7).

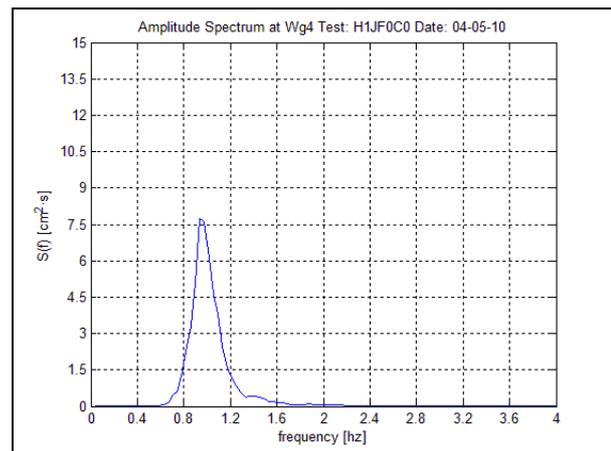
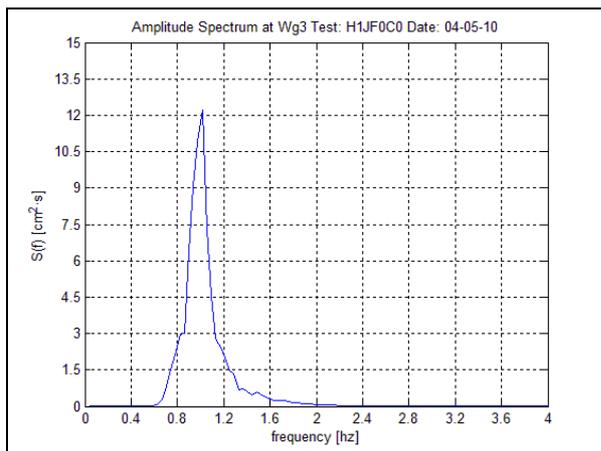
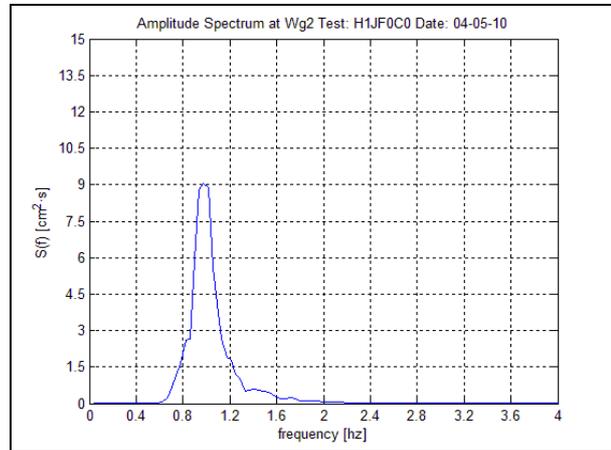
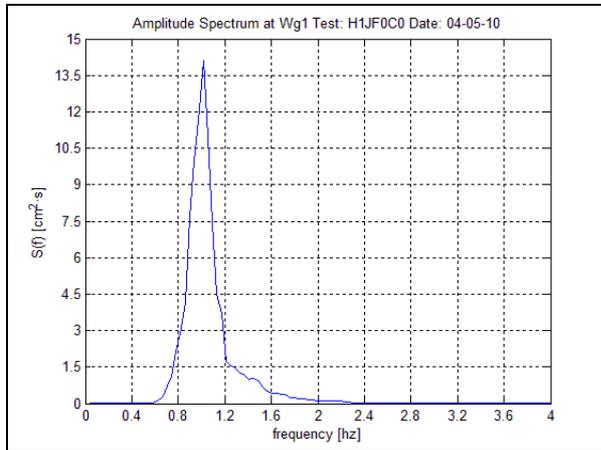
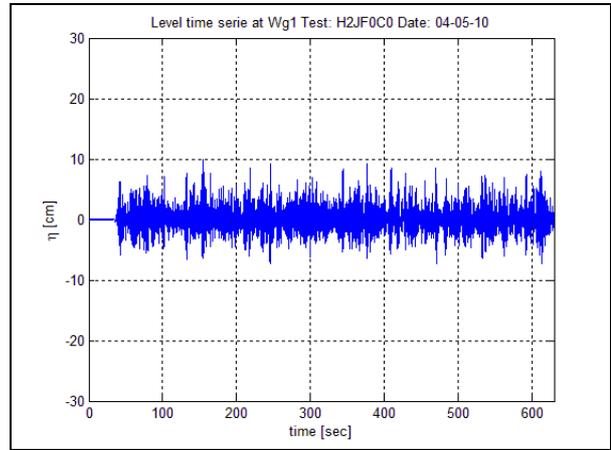
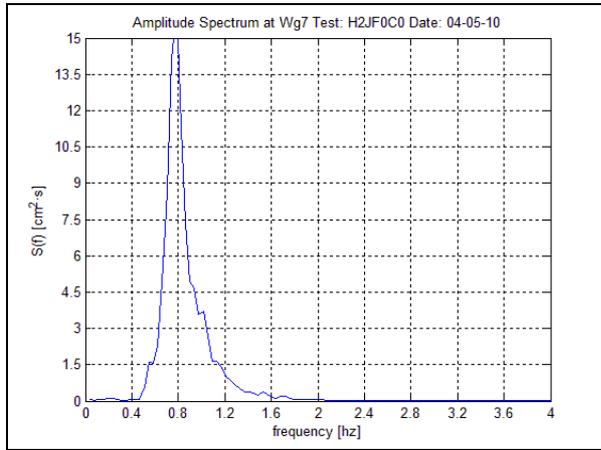


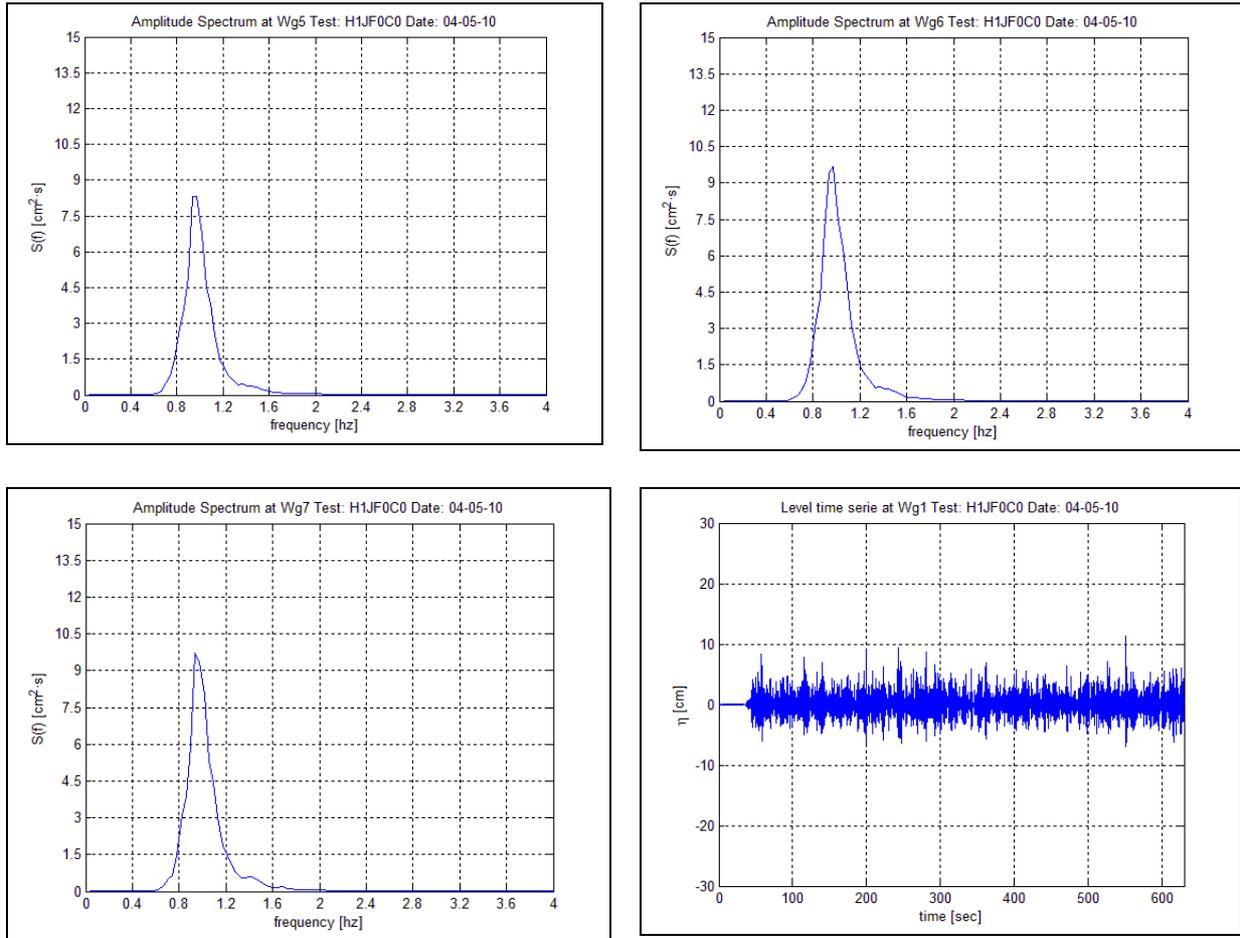
**Figura 7: Onde regolari misurate alla sonda 1 e alla sonda 4 ( a sinistra H1R e a destra H2R)**

Le prove con onde irregolari sono state condotte generando una serie di onde per un tempo sufficiente per una corretta analisi spettrale ma limitato per non risentire degli effetti delle onde ri-riflesse sulla pala del battionde. E' stato generato uno spettro di tipo JONSWAP con fattore di picco pari a 3.3 in modo da ottenere in prossimità della struttura un'altezza d'onda incidente pari a 0.9 m ed 1.3m.

Le analisi spettrali eseguite sulle registrazioni eseguite alle sonde da 1 a 7 per i due attacchi ondosì sono riportati di seguito ( figura 8).







**Figura 8: Analisi spettrale delle onde registrate alle sonde 1-7**

Il coefficiente di riflessione è stato determinato con un software specifico basato sull'analisi spettrale eseguita su registrazioni contemporanee di una coppia di sonde posizionate a distanza nota fra loro (coppie 4-5, 5-6 e 6-7) ed il valore riportato è la media fra le tre determinazioni. In questo caso non è risulta essere necessario apportare correzioni per tener conto della dissipazione di energia in quanto le sonde sono state posizionate in prossimità della banchina.

I risultati delle prove con onde regolari ed irregolari ed i coefficienti di riflessione ottenuti sono riportati nella tabella seguente (tabella 1).

**Tabella 1: dati in scala prototipo**

<b>CODICE ONDA</b>	<b>Tipologia</b>	<b>H incidente [m]</b>	<b>T [S]</b>	<b>Kr</b>
<b>H1R</b>	ONDA REGOLARE	0.8	4	0.24
<b>H2R</b>	ONDA REGOLARE	1.1	5	0.20
<b>H1RBIS</b>	ONDA REGOLARE	0.8	4	0.21
<b>H2RBIS</b>	ONDA REGOLARE	1.0	5	0.18
<b>H1J</b>	ONDA RANDOM	0.5	4	0.18
<b>H2J</b>	ONDA RANDOM	0.6	5	0.24
<b>H1JBIS</b>	ONDA RANDOM	0.9	4	0.16
<b>H2JBIS</b>	ONDA RANDOM	1.3	5	0.17

## Conclusioni

Le prove eseguite hanno permesso di ottenere importanti informazioni ai fini della progettazione della banchina assorbente:

- la dimensione delle celle appare sufficiente e non è necessario un aumento della loro profondità in quanto i coefficienti di riflessione risultano molto contenuti;
- la profondità delle celle non può essere diminuita in quanto la pendenza della scarpata in massi risulterebbe troppo ripida e conseguentemente instabile;
- il peso dei massi nelle celle antiriflettenti è risultato un elemento importante per il funzionamento ottimale della banchina assorbente; esso deve essere dell'ordine di 1.4t ed è necessario che i massi abbiano una forma compatta ed una dispersione dei pesi quanto più contenuta possibile e comunque non eccedente il peso medio  $\pm 20\%$ .

## 2. Scogliera a protezione dei piazzali

La protezione dei piazzali è prevista con una scogliera in tetrapodi da  $6.3\text{m}^3$  imbasata su una superficie orizzontale alla profondità di  $9.0\text{m}$ . La mantellata ha una protezione al piede con berma in massi naturali alla quota di  $-6.0\text{m}$  ed ha una pendenza di  $3/2$ . La scogliera termina con un muro paraonde alla quota di  $+5.5\text{m s.l.m.}$  ( figura 9).

E' stato inoltre richiesto di verificare la portata di tracimazione oltre il muro paraonde, il coefficiente di riflessione e la stabilità della mantellata.

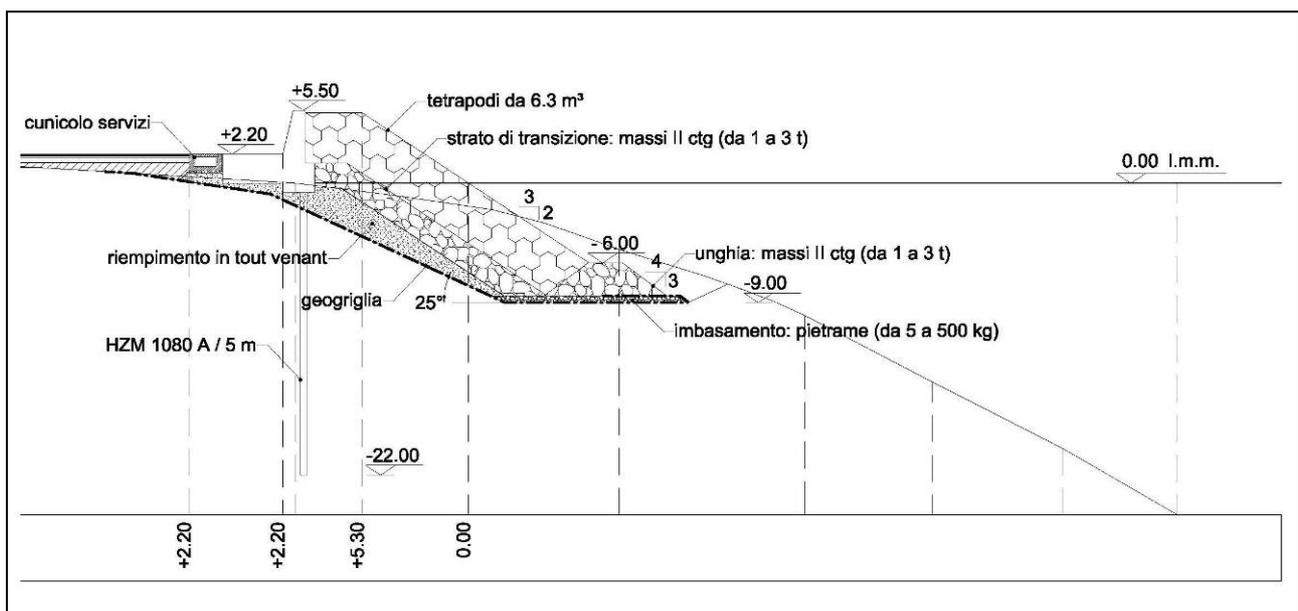
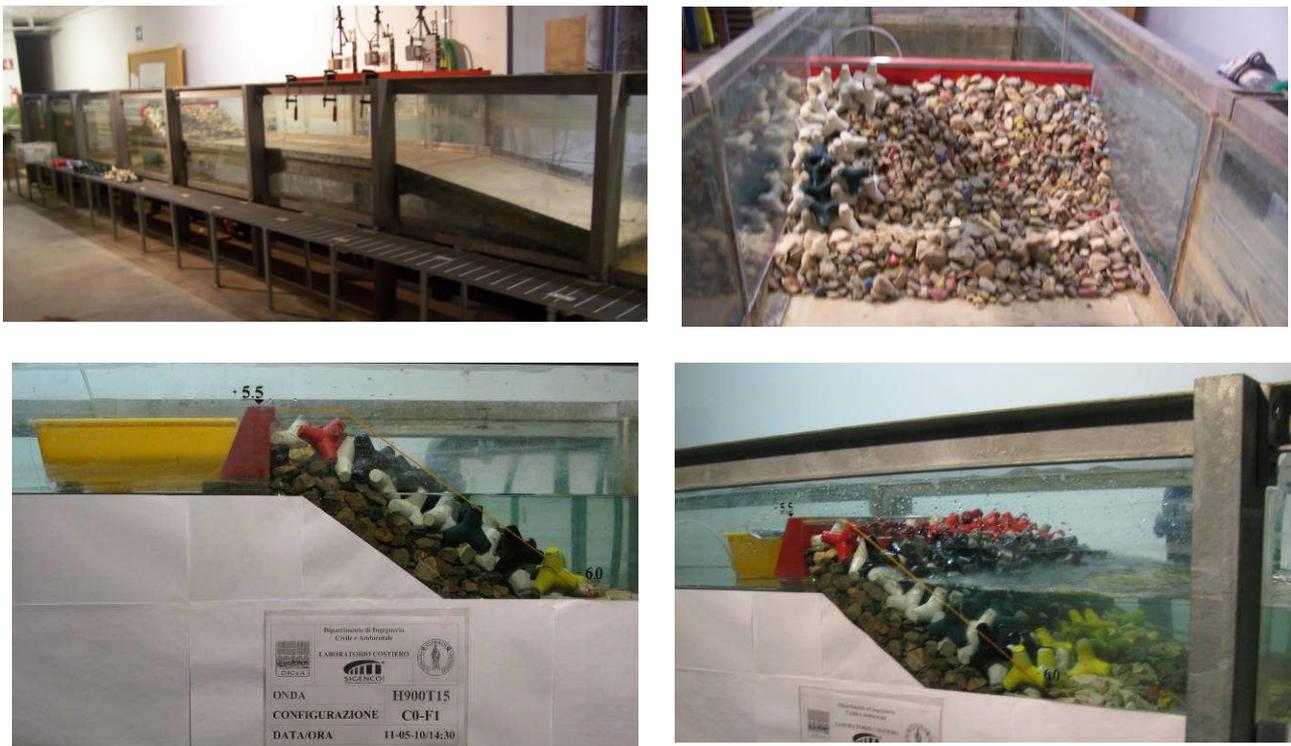


Figura 9: Sezione tipo della scogliera di protezione dei piazzali del porto

Il modello della scogliera è stato costruito in scala 1:44 riproducendo il fondale fino alla profondità di circa 22m. Alla quota di - 9m è stato riprodotto lo spianamento previsto con lo scavo della scarpata ed a questa quota è stata costruita la berma di piede con berma alla profondità di 6m. Lo strato esterno della berma di piede è stato costruito con massi con peso minimo di 1.8t e peso medio di 2.5t (figura 10).



**Figura 10: Sezione del modello in fase di costruzione e di prova.**

La mantellata è stata costruita con doppio strato di tetrapodi da 180g (pari a circa 15t in prototipo) su strato filtro in massi naturali di 2ª categoria. La mantellata arriva alla quota di poco superiore a 5m e quindi con sommità a + 5.5m s.l.m., ripara completamente il muro paraonde dall'attacco diretto del moto ondoso.

### **Onde di prova e misure eseguite**

Sulla base dello studio meteo marino, l'analisi statistica delle onde estreme, trasferite sotto costa, dello "Studio Idraulico Marittimo" redatto dall'Università di Messina nel 2008, ha fornito un'altezza significativa compresa fra 3.73m, per le onde associate ad un tempo di ritorno di 10 anni, fino a 4.54m per onde di mareggiate assolutamente eccezionali con tempo di ritorno di 250 anni. Il periodo di picco associato varia fra 9s e 10s. Viene riportata di seguito la tabella per la valutazione dell'altezza d'onda per prefissati tempi di ritorno

(tabella 2 – Punto 6).

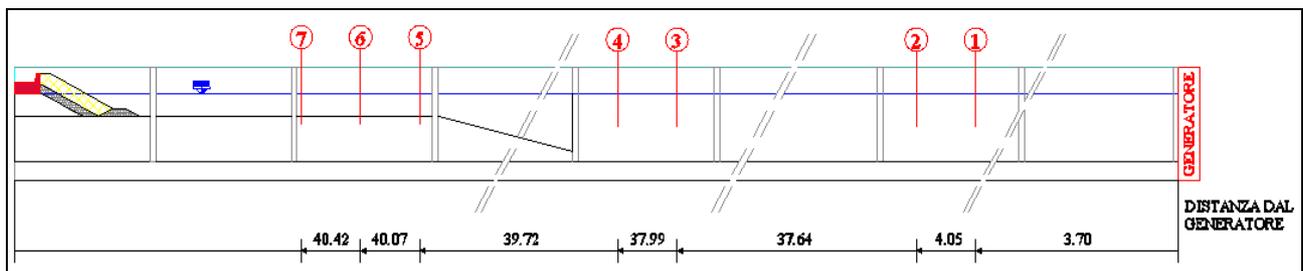
**Tabella 2: Valutazione dell'altezza d'onda per fissati tempi di ritorno  
Punto 6 - Direzione di provenienza.**

Tr [anni]	P	Hs [m]	Dir [°N]	Tm [s]	Tp [s]
5	0.943	3.53	133.46	6.78	8.70
10	0.971	3.73	132.92	7.00	8.98
50	0.994	4.16	131.89	7.46	9.57
100	0.997	4.34	131.52	7.64	9.80
120	0.998	4.38	131.43	7.69	9.85
150	0.998	4.43	131.33	7.74	9.92
200	0.999	4.50	131.19	7.81	10.01
250	0.999	4.54	131.09	7.86	10.08

Le prove si sono concentrate sulle onde più alte ossia per quelle associate a tempo di ritorno superiori a 50 anni.

Le onde sono state riprodotte con uno spettro tipo JONSWAP con fattore di picco pari a 3.3. I valori di altezza d'onda e periodo usati per le prove sono quelli risultanti dall'analisi delle registrazioni eseguite in prossimità del generatore alla profondità corrispondente a 22m.

Le sonde posizionate a circa 2m dalla base della scogliera (alla profondità di 9m) sono state utilizzate per la misura delle onde incidenti e riflesse e le loro registrazioni sono state utilizzate per la determinazione del coefficiente di riflessione dell'opera ( $K_r$ ).



**Figura 11: Posizione delle sonde per la registrazione del moto ondoso**

Immediatamente dietro il muro è stato posizionato un raccogliitore per la misura dei volumi di tracimazione. Si tratta di una misura integrale che permette la valutazione della portata media (in l/s riferiti ad un metro di lunghezza dell'opera) senza informazioni sui volumi di tracimazione delle singole onde.

Riprese video e fotografiche hanno permesso di valutare la stabilità della mantellata in tetrapodi e della berma di piede.

Di seguito si riportano i risultati con livello di prova pari al livello del medio mare (tabella 3).

**Tabella 3: Sintesi dei risultati delle prove con livello di prova pari al livello del medio mare**

LIVELLO	CODICE ONDA	Hm0 [m]	Tp [s]	Kr [%]	q [l/m/s]
FO ( 0.m s.l.m.)	H900T15	4.0	10	38	0.04
FO ( 0.m s.l.m.)	H950T15	4.1	10	39	0.05
FO ( 0.m s.l.m.)	H100T15	4.3	10	36	0.04
FO ( 0 m s.l.m.)	H105T15	4.3	10	39	0.08
FO ( 0.m s.l.m.)	H110T15	4.7	10	37	0.07

Durante le prove è emerso che la tracimazione risultava estremamente limitata dato che le onde più alte frangono sulla parte di profilo spianato alla quota di - 9m s.l.m. e pertanto si è ritenuto opportuno ripetere le misure di tracimazione tenendo conto di un sovrizzo del livello del mare pari a 0.7m per tener conto di alta marea astronomica, marea meteorologica e vento. Va tenuto in considerazione che il sovrizzo d'onda viene automaticamente riprodotto nel modello in condizioni cautelative dato che la prova è rigidamente bidimensionale e non vengono riprodotti gli effetti di variabilità tridimensionale che attenuano i sovrizzi in condizioni reali.

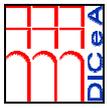
I risultati sono riportati nella tabella seguente dove risulta che con solo in presenza di onde associate a tempi di ritorno superiori a 100 anni si verificano tracimazioni con portata media superiore a 1.0 l/sm.

**Tabella 4 Sintesi dei risultati delle prove con livello di prova pari a +70 cm sopra il medio mare**

LIVELLO	CODICE ONDA	Hm0 [m]	Tp [s]	q [l/m/s]
F1 ( 0.7m s.l.m.)	H900T15	4.1	10	0.59
F1 ( 0.7m s.l.m.)	H950T15	4.1	10	0.52
F1 ( 0.7m s.l.m.)	H100T15	4.3	10	0.99
F1 ( 0.7m s.l.m.)	H105T15	4.2	10	1.47
F1 ( 0.7m s.l.m.)	H110T15	4.8	10	2.38

## Conclusioni

I risultati ottenuti con livello di prova pari al medio mare, indicano una portata di tracimazione estremamente bassa, inferiore a 0.1l/sm e una completa stabilità della mantellata senza alcuno spostamento di massi dalla mantellata o dalla berma di piede.



Nelle prove con livello paria 0.7m sopra il medio mare, con onde associate a tempi di ritorno di circa 100 anni, le tracimazioni superano di poco il valore di 1.0l/sm; anche in presenza di onde con altezza significativa pari a 4.8m, non prevedibili per la zona di studio, le tracimazioni misurate, sulla base dei dati di letteratura, non risultano tali da causare danni a strutture fisse o pavimentazioni in asfalto o calcestruzzo.

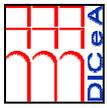
Firenze 17 Maggio 2010

I Responsabili della ricerca

Prof. Ing. Pier Luigi Aminti  
Lorenzo Cappietti

Prof. Ing. Enio Paris

Ing.



Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale - Facoltà di Ingegneria - via S. Marta,3 - Firenze

Il Direttore del Dipartimento

Prof. Fausto sacerdote