



Ricerca di Sistema elettrico

## Progettazione, costruzione e installazione di un OWC a geometria modificabile in scala 1:8

F. Arena, V. Fiamma, R. Iannolo, G. Malara,  
A. Romolo, A. Fontanella, E. Giovannini, G. Sannino



## PROGETTAZIONE, COSTRUZIONE E INSTALLAZIONE DI UN OWC A GEOMETRIA MODIFICABILE IN SCALA 1:8

F. Arena, V. Fiamma, R. Iannolo, G. Malara, A. Romolo, (Università Mediterranea di Reggio Calabria)  
A. Fontanella, E. Giovannini, G. Sannino (ENEA)

Settembre 2014

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2013

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto: Studi e valutazioni sulla produzione di energia elettrica dalle correnti marine e dal moto ondoso

Obiettivo: Attività sperimentali su dispositivi a colonna d'acqua oscillante OWC

Responsabile del Progetto: Gianmaria Sannino, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *“Attività sperimentali su dispositivi a colonna d'acqua oscillante OWC”*

Responsabile scientifico ENEA: Gianmaria Sannino

Responsabile scientifico Università Mediterranea di Reggio Calabria: Felice Arena

Si ringrazia la società WAVENERGY.IT s.r.l., Spin Off dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria ([www.wavenergy.it](http://www.wavenergy.it)) per il supporto fornito nella redazione del rapporto, sui dispositivi REWEC3.

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI .....	5
2.1 DATI GEOMETRICI PER LA REALIZZAZIONE .....	6
2.2 DATI DI CALCOLO.....	6
2.3 PRESCRIZIONI PER LA COSTRUZIONE .....	6
2.4 IL CASSONE METALLICO.....	6
2.5 ELEMENTI DI FISSAGGIO .....	15
2.6 STAFFE ATTACCO STRUMENTI.....	15
3 IL LABORATORIO NATURALE DI INGEGNERIA MARITTIMA, NOEL, PRESSO L'UNIVERSITÀ MEDITERRANEA DI REGGIO CALABRIA .....	16
3.1 UNA BREVE PRESENTAZIONE DEL LABORATORIO.....	16
3.2 LE PECULIARITÀ DEL NOEL.....	16
4 STRUMENTAZIONE DA INSTALLARE NEL REWEC3 .....	33
4.1 FASI DELLA SPERIMENTAZIONE .....	33
5 CONCLUSIONI .....	34
6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	34
7 ACRONIMI .....	35

## Sommario

Il rapporto illustra le problematiche inerenti la progettazione, la costruzione e l'installazione di un OWC, di tipo REWEC3. Tale struttura è stata progettata in scala 1:8, ed in modo da garantire una geometria modificabile, in termini di larghezza delle camere di assorbimento.

Il cassone progettato è interamente in acciaio, con larghezza di 1.7m, lunghezza di 3.8m ed altezza pari a 3.6m. La struttura è interamente zincata e verniciata.

La posa in mare è stata conclusa il giorno 11 settembre 2014, con l'ausilio di una gru da 100 tonnellate, in grado di eseguire la posa del cassone in mare direttamente da terra.

Il cassone ha uno sfiato nella cella centrale e due sfiati nei coperchi di estremità, muniti di valvola che può essere aperta quando il cassone opera con due o tre celle indipendenti.

Un ulteriore elemento di modularità è rappresentato dallo sfiato, che non dispone di tubo addizionale interno: sarà possibile modificarne la geometria fissando nuovi sfiati (di diametro diverso) alla flangia esterna.

Il progetto del cassone non è stato vincolato, come quello precedente, dalle dimensioni della turbina: esso ha invece quale obiettivo il garantire una elevata modularità, al fine di affinare procedure di ottimizzazione del dimensionamento dei cassoni in fase di progettazione.



## 1 Introduzione

Nell'ambito dell'Accordo di Programma ENEA - Ministero Sviluppo Economico per la Ricerca Sistema Elettrico - Piano Annuale di Realizzazione 2013 (MISE RSE PAR 2013) - Progetto B.1.5 "Studi e valutazioni sulla produzione di energia elettrica dalle correnti marine e dal moto ondoso" Obiettivo B, Tema di ricerca "Studi e sperimentazioni sui potenziali sviluppi delle energie rinnovabili - energia dal mare", il DIPARTIMENTO DICEAM (ex dip. MECMAT) dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria, ha svolto (in collaborazione con Wavenergy.it s.r.l.) le attività per la progettazione e la posa in opera di un cassone REWEC3 per la conversione dell'energia del moto ondoso in corrente elettrica.

Il progetto ha quale obiettivo la realizzazione di un impianto pilota in scala ridotta per la conversione energetica del moto ondoso nelle condizioni meteo-marine tipiche del Mar Mediterraneo, concepito per l'integrazione nelle dighe foranee che proteggono i bacini portuali.

Il seguente report, conclusivo della attività, sintetizza l'insieme dei processi di progettazione, realizzazione e posa in opera di un impianto prototipo REWEC3, o U-OWC, in scala, posizionato presso il laboratorio di ingegneria marittima dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria NOEL.

Nello specifico, tale cassone sarà utilizzato nell'anno 2014/2015 per eseguire delle campagne di misurazione sul modello in scala ridotta nel laboratorio NOEL. Tale laboratorio consente lo sfruttamento delle condizioni particolarmente favorevoli del mare di Reggio Calabria, nel quale per molti giorni l'anno si realizzano onde in scala ridotta di grandi mareggiate oceaniche (con altezza significativa tra 0,20 e 0,8 m).

Per l'esecuzione di tali attività sarà sfruttata la modularità del cassone, che può operare per larghezze variabili tra 1.25 m e 3.75 m.

Il REWEC3 è un impianto che appartiene alla famiglia dei dispositivi a colonna d'acqua oscillante (Oscillating Water Column, OWC). Esso è composto da una camera chiusa collegata al campo di moto esterno tramite un condotto ad U. All'interno della camera vi è una colonna d'acqua nella parte inferiore ed una camera d'aria nella parte superiore. A sua volta, la camera d'aria è collegata tramite un breve condotto ad una turbina (tipicamente del tipo "self-rectifying") che si affaccia all'ambiente esterno. Il principio di funzionamento dell'impianto è legato all'azione delle onde sull'imboccatura esterna. In particolare, le fluttuazioni di pressione agenti sull'imboccatura imprimono una sollecitazione che provoca delle oscillazioni della colonna d'acqua interna. Tali oscillazioni comprimono e decomprimono la camera d'aria. Pertanto, è generato un flusso d'aria alternato nel condotto che ospita la turbina. Infine, la turbina permette di trasformare la potenza della corrente in potenza meccanica, la quale, tramite generatore, può essere convertita in potenza elettrica.

## 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

Il cassone "attivo" di tipo U-OWC, realizzato in acciaio, e contenente una o più celle di assorbimento, parzializzabili, è stato realizzato in officina con i dettagli costruttivi di seguito esposti.

I dati di progetto sono di seguito riportati:

## 2.1 DATI GEOMETRICI PER LA REALIZZAZIONE

Lunghezza complessiva interna camere	3770mm
Lunghezza setti interni	1250mm
Altezza posteriore	3570mm
Altezza lato mare	1270mm
Altezza setti interni	1000mm
Altezza parte immersa	1670mm
Altezza parte emersa	1900mm
Altezza dal fondo dell'asse della turbomacchina	3230mm
Larghezza complessiva	1700mm
Larghezza ingresso moto ondoso	500mm
Larghezza camera/setti interni	1000mm

## 2.2 Dati di calcolo

Pressione massima	14000Pa
-------------------	---------

## 2.3 Prescrizioni per la costruzione

- Eliminazione di ogni possibile perdita di pressione (tenuta delle saldature);
- Ancoraggio del cassone agli elementi in cemento armato mediante adeguato sistema di tiranti / spingenti;
- Inserimento di elementi idraulici (Rubinetti, tappi) per facilitare e regolare le fasi di immersione del cassone nel mare e nelle eventuali rimozioni;
- Ispezionabilità del cassone;
- Scelta di materiali e trattamenti superficiali adatti a garantire la funzionalità del cassone per il tempo necessario alla raccolta dei dati.

## 2.4 IL CASSONE METALLICO

Il cassone metallico è stato realizzato nelle modalità sotto descritte. L'involucro del cassone è stato realizzato mediante la saldatura in officina di lamiera spesse 6 mm, precedentemente tagliate e sagomate a freddo. Al fine di garantire una maggiore resistenza e di evitare eccessive vibrazioni, la lamiera è stata opportunamente nervata saldando attorno ad essa una maglia di profilati ad U 60 x 35. Inoltre, in corrispondenza dei setti interni, il cassone è stato ulteriormente irrigidito collegando le pareti (lato mare e lato monte) mediante la saldatura di puntoni realizzati con tubolari aventi diametro da 63,5 mm e spessore da 3 mm e nella zona superiore di profilati T80.

Il cassone è provvisto di pannelli chiusura realizzati con lamiera spessa 5 mm opportunamente sagomata, munita di apposite maniglie in ferro tondo. Questi pannelli permettono di evitare l'ingresso delle onde marine nei momenti in cui l'apparato non risulta essere in funzione.

Allo stesso modo sono stati realizzati i pannelli di chiusura superiori che:

- Evitano perdite di pressione durante il normale funzionamento del cassone;
- Permettono l'ispezionabilità ed l'eventuale manutenzione dei setti interni a cassone a riposo.

Il fissaggio sul cassone è stato progettato mediante bullonatura su appositi appoggi creati in lamiera presso piegata o sui profilati T80 precedentemente menzionati.

Lo sfiato (presso il quale potrà essere alloggiata una turbina, in futuro), prevede:

- Tubolare diametro 323 x 5.9 mm saldato in posizione centrale nel senso della lunghezza del cassone e ad una altezza di 3270 dal fondo dello stesso e provvisto ad un'estremità di opportuna flangia.
- n. 2 curve a 90° realizzate con tubolari di diam. 160 mm saldati sul primo e sull'ultimo dei coperchi superiori di chiusura del cassone.

Al fine di facilitare il posizionamento in mare del cassone o la sua eventuale rimozione, si è dotato lo stesso di n. 2 tubi diam. 76 mm saldati in basso nella parete frontale provvisti alle estremità rubinetti del diametro di 1,5 pollici.

Per evitare perdite di pressione, i collegamenti bullonati sono stati completati mediante l'incollaggio di apposita guarnizione di tenuta, realizzata in gomma espansa a struttura cellulare chiusa, resistente a temperature comprese tra i -20°C ed i +85°C, inalterabile nel tempo e con ottime proprietà antivibranti.

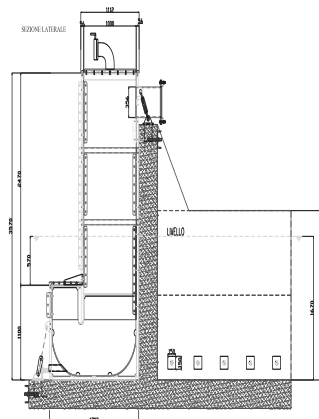
### **PARATIE DI PARZIALIZZAZIONE**

Al fine di permettere un'eventuale parzializzazione del cassone sono state saldate all'ossatura principale dei piatti in lamiera da 6 mm di spessore, preforati. Nell'eventualità si voglia parzializzare l'uso del cassone, ai piatti sopra citati, sono stati imbullonati, per ogni paratia, 3 pannelli di chiusura realizzati con lamiera spessa 6 mm opportunamente sagomata, e dotati delle guarnizioni sopra descritte.

Una volta inserite tutte le paratie, il cassone può essere utilizzato nelle seguenti modalità:

- 1) Cassone di lunghezza 1333 mm (1/3 cassone originario)
- 2) Cassone di lunghezza 2666 mm (2/3 cassone originario)

-



**Figura 1.** Sezione laterale cassone

■

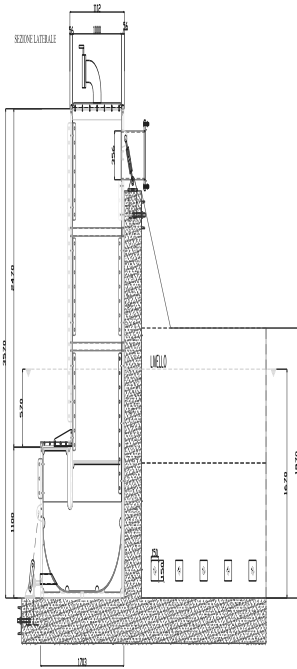


Figura 2. Particolare sistema di fissaggio cassone in c.a. - cassone metallico inferiore sommerso



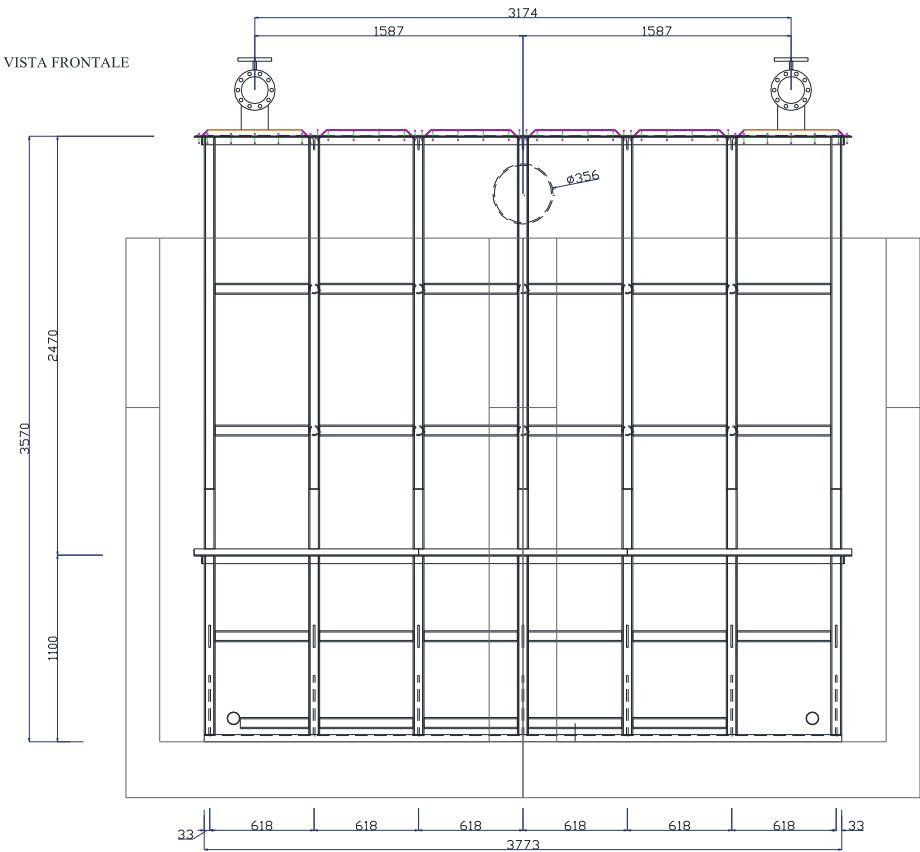
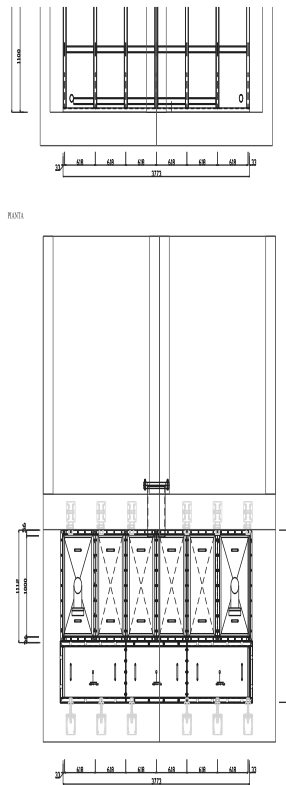
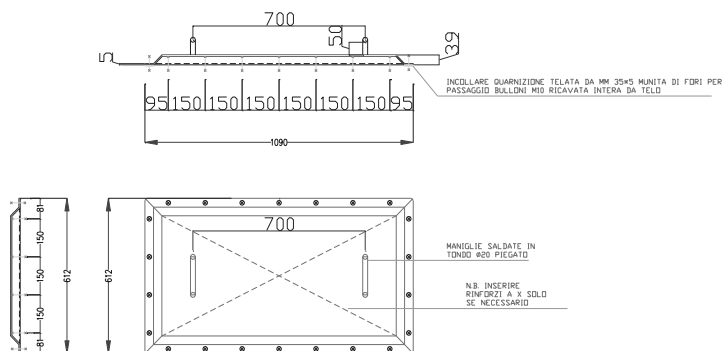


Figura 4. Vista frontale cassone metallico



**Figura 5.** Vista dall'alto cassone metallico



**Figura 6.** Particolare coperchio cassone metallico



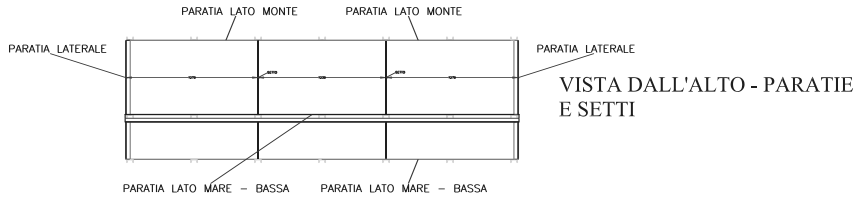


Figura 7a. Particolare paratie e setti divisori cassone metallico

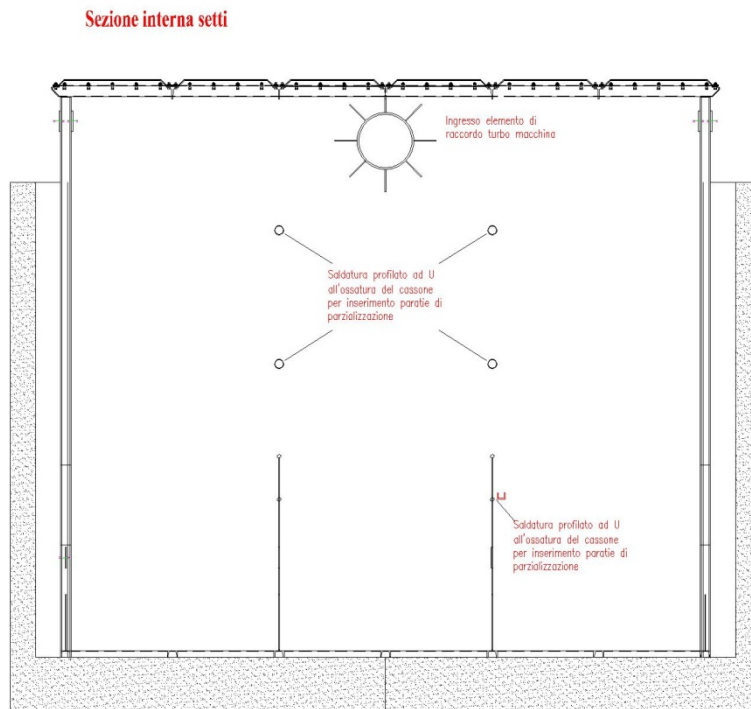
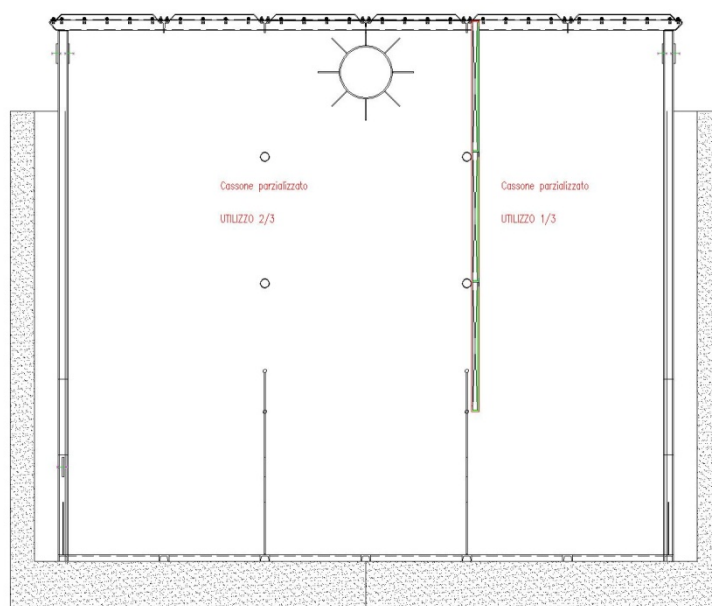
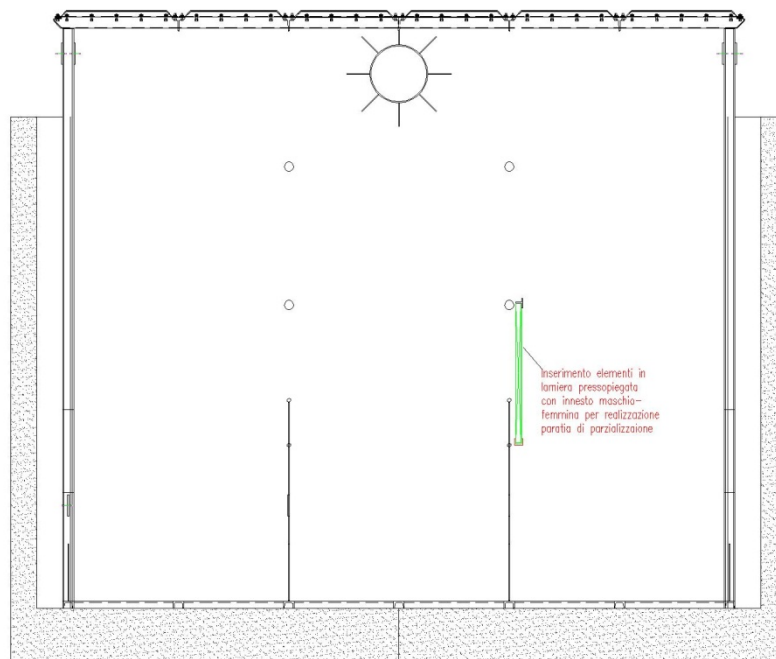
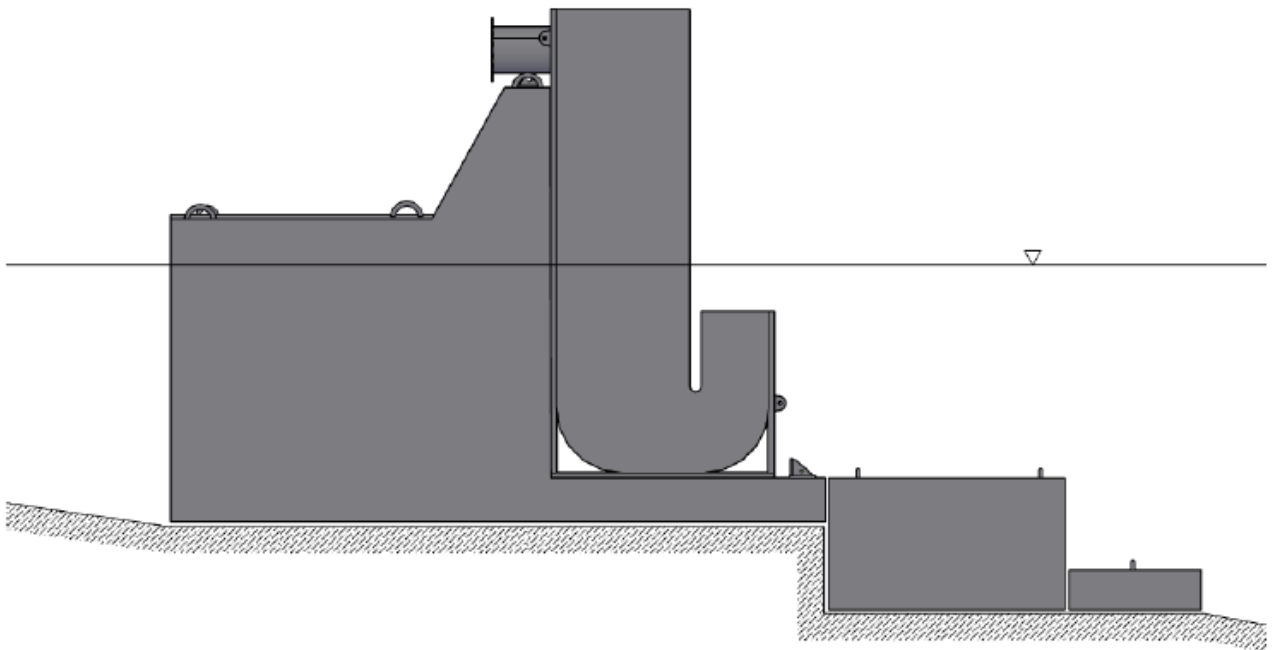


Figura 7b. Particolare cassone senza paratie

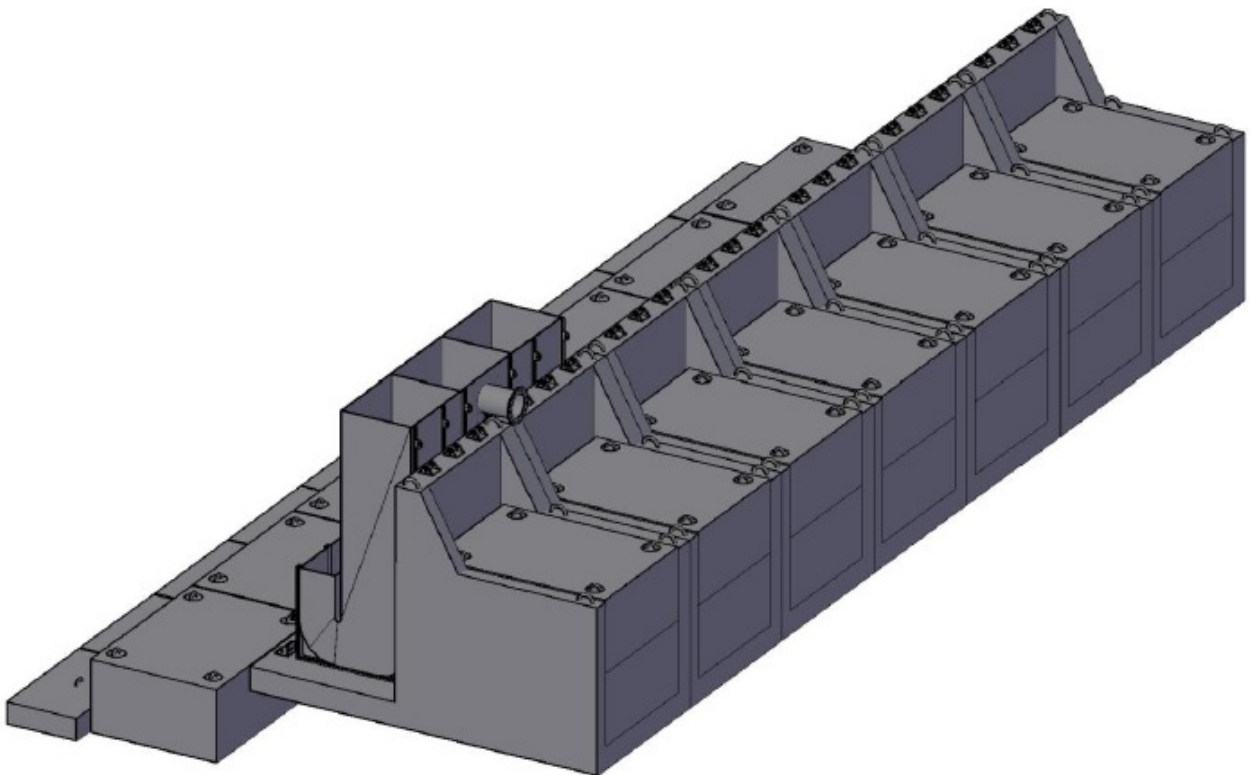
Sezione interna setti



**Figura 7c.** Particolare cassone con una paratia



**Figura 8.** Sezione trasversale del cassone, inclusiva della struttura in cemento armato (sulla sinistra) e del cassone REWEC3 in acciaio



**Figura 9.** Vista 3D della diga, con il cassone ENEA sulla sinistra.

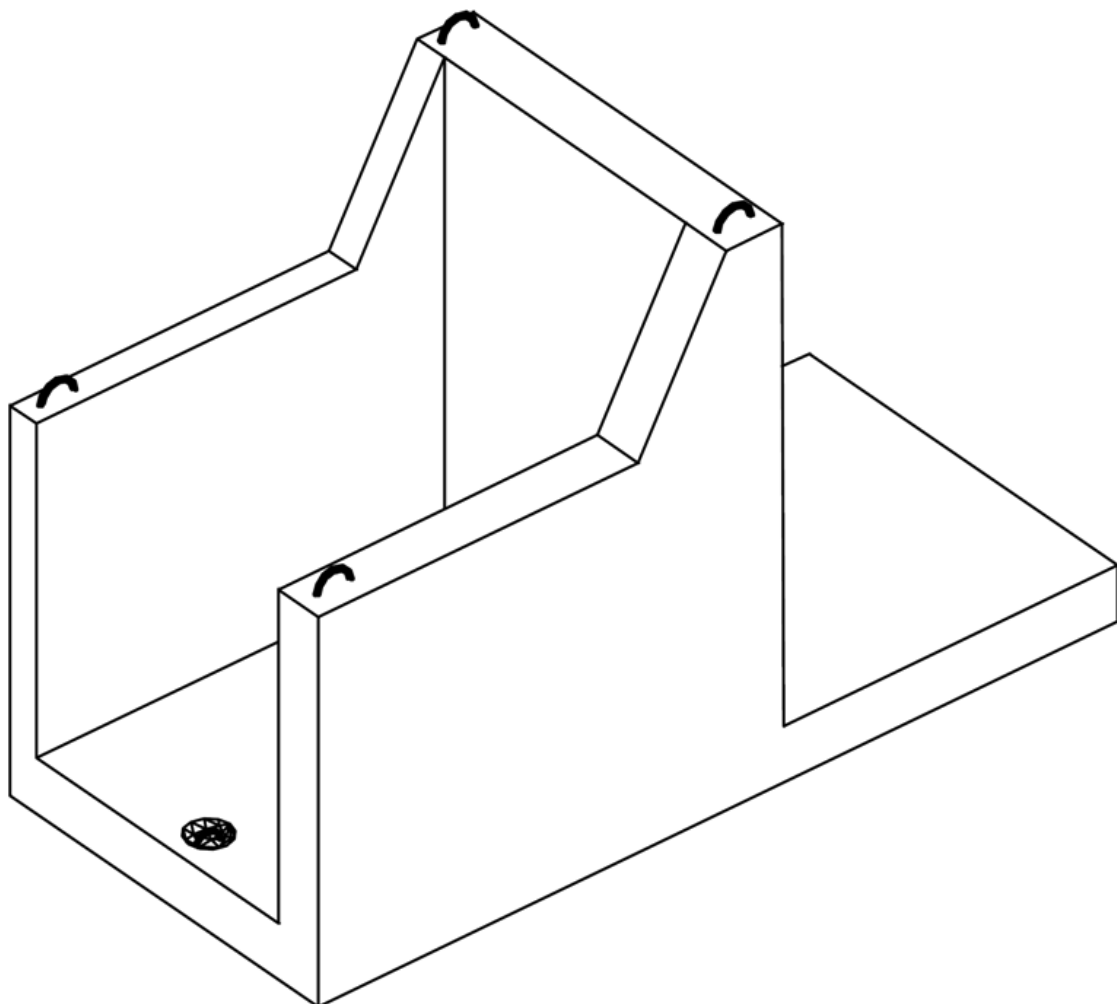
## 2.5 ELEMENTI DI FISSAGGIO

Il fissaggio del cassone metallico è stato realizzato mediante:

- Sulla parete frontale, in basso, da sottogruppi saldati in lamiera spessore 15 mm, ancorati mediante barre filettate in acciaio inox agli elementi in C.A e provvisti di spingenti che permettono il corretto posizionamento del cassone ed evitano un suo scivolamento;
- Sulla parete posteriore, in alto, da sottogruppi saldati in lamiera spessore 15mm, ancorati mediante barre filettate in acciaio inox agli elementi in C.A e provvisti di tiranti che evitano il ribaltamento del cassone.

## 2.6 STAFFE ATTACCO STRUMENTI

Il cassone è stato dotato di una serie di staffe realizzate con lamiera spessa 3 mm che permettono l'installazione delle apparecchiature di ricerca e controllo (attività da svolgersi il prossimo anno).



**Figura 10.** Particolare cassone in c.a. per il fissaggio dell'elemento in acciaio

## 3 Il laboratorio naturale di ingegneria marittima, NOEL, presso l'Università Mediterranea di Reggio Calabria

### 3.1 Una breve presentazione del laboratorio

Il laboratorio naturale di ingegneria marittima NOEL (<http://www.noel.unirc.it/>) è localizzato sul lungomare di Reggio Calabria (in località Rada delle Mura Greche), nello Stretto di Messina (vedi Figura 11). Presso il laboratorio dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria si eseguono sperimentazioni direttamente in mare, sulla meccanica delle onde e su modelli in scala ridotta di strutture marittime, operando con le classiche tecniche delle vasche di laboratorio. È questa una peculiarità del NOEL che rende altamente innovativa, a livello Internazionale, l'attività scientifica svolta presso il laboratorio, che dispone della concessione di uno specchio acqueo di circa 4500 mq antistante i locali

La sperimentazione a mare nasce da una serie di attività svolte nel periodo 1989-94 da gruppo di docenti dell'Università di Reggio Calabria coordinato dal prof. Paolo Boccotti, che hanno portato a termine con successo sei esperimenti in mare sulla meccanica delle onde generate dal vento e sull'interazione onde-strutture, i cui risultati sono stati pubblicati su prestigiose riviste internazionali del settore: *Journal of Fluid Mechanics*, *Physics of Fluids*, *European Journal of Mechanics*, *Ocean Engineering*, e sono stati diffusamente illustrati nei volumi 'Idraulica Marittima' (UTET, 1997) e 'Wave Mechanics for Ocean Engineering' (Elsevier Science, 2000). I predetti esperimenti prevedevano, per la prima volta al mondo, l'esecuzione direttamente in mare di modelli (in scala ridotta di Froude) di strutture marittime, operando con tecniche da laboratorio.

Nel 1996 si sono avviati i lavori per l'esecuzione di un laboratorio stabile sul lungomare della città di Reggio Calabria. Nel corso dei lavori di realizzazione del laboratorio, nel dicembre 2001 si è eseguito un nuovo esperimento, per la verifica del funzionamento di una barriera sommersa di tipo REWEC1 per l'assorbimento e lo sfruttamento dell'energia ondosa. I risultati sono stati pubblicati su *Ocean Engineering* e su *ASCE Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*.

Il laboratorio è stato inaugurato nell'aprile 2005, con un nuovo importante esperimento che ha riguardato la verifica in mare di un nuovo dispositivo per la produzione di energia elettrica dalle onde di mare: si tratta dell'U-OWC, o REWEC3, Resonant Wave Energy Converter. I risultati dell'esperimento sono stati pubblicati su *Ocean Engineering* nel 2007.

Il Laboratorio, tra il 2005 e l'inizio del 2009 è stato gestito dal Consorzio OKEANOS. A partire da marzo 2009 il laboratorio è gestito direttamente dal Dipartimento Meccanica e Materiali dell'Università Mediterranea, ed è stato rinominato Natural Ocean Engineering Laboratory, NOEL. Direttore (e responsabile scientifico) del laboratorio è il prof. Felice Arena, Ordinario di Costruzioni Marittime nell'Università Mediterranea, con il Coordinamento scientifico del prof. Paolo Boccotti.

Il NOEL (Natural Ocean Engineering Laboratory) è il primo, ed ancora oggi unico, laboratorio al mondo ad operare in mare con tecniche di laboratorio, per ricerche avanzate di ingegneria marittima, navale e costiera. Questo grazie ad una serie straordinaria di fattori naturali, che rendono il mare di Reggio Calabria un grande laboratorio naturale.

Con il passaggio all'Università Mediterranea, nella primavera del 2009, si è avviata una nuova fase del laboratorio, con una nuova serie di esperimenti in mare, una serie di eventi seminari di carattere internazionale, corsi per studenti di ingegneria o per dottorandi di ricerca, congressi e workshops.

Nell'ambito di questa nuova fase, grande importanza è stata attribuita alla sperimentazione di campo nell'ambito dell'energia dal mare, in particolar modo alle nuove strutture di tipo REWEC3 per la produzione di energia elettrica dal moto ondoso. In tale contesto si inquadra l'attività svolta dal gruppo di ricerca dell'Università Mediterranea con ENEA.

### 3.2 Le peculiarità del NOEL

In mare è molto difficile trovare onde con dimensioni da vasca di laboratorio, che siano anche pure onde di vento. Di solito, onde di quelle dimensioni sono sovrapposizioni di onde di vento ed onde di mare-lungo le quali conservano i periodi che avevano nell'area di generazione, ma hanno altezze evidentemente

ridotte. Pertanto per tali onde, la similitudine di Froude tra lo stato di mare cui è sottoposto il modello e lo stato di mare cui è sottoposto il prototipo (dimensioni reali) non è più rispettata.

Le prove eseguite a Reggio Calabria con modelli di strutture diverse hanno avuto successo grazie alle condizioni eccezionalmente favorevoli del sito.

La prima fondamentale condizione è che frequentemente si formano degli stati di mare con dimensioni tipiche da grossa vasca di laboratorio (altezze significative  $H_s$ , comprese tipicamente tra 0.2m e 0.6m, periodi dominanti  $T_p$  compresi tra 1.8s e 2.8s) i quali consistono di onde pure di vento. Inoltre, presso il NOEL è possibile registrare tempeste con altezze significative dell'ordine di 1 m circa. Trovare in mare onde con altezze significative e spettri da pure onde di vento non è per niente facile; a Reggio Calabria tale condizione si verifica per alcuni giorni al mese, grazie alla concomitanza di tre condizioni favorevoli:

- i) la grande stabilità del vento locale di NNW, il cosiddetto "vento di canale", che soffia da Messina verso Reggio;
- ii) l'orientamento locale della costa : il tratto di litorale davanti al centro della città piega verso NE per chi risale lo Stretto da SUD, e pertanto risulta naturalmente protetto dalle onde di mare-lungo che provengono dall'imboccatura SUD dello Stretto;
- iii) l'estensione relativamente limitata (circa 10 km) del fetch sul quale agisce il vento di canale.

E' probabile che condizioni simili in termini di caratteristiche delle onde possano realizzarsi in alcuni laghi; ed infatti è soprattutto ai laghi che bisogna guardare per sviluppare la modellistica naturale. Tuttavia il laboratorio pionieristico di Reggio Calabria possiede una serie di ulteriori vantaggi che lo rendono difficilmente superabile.

1. La grande stabilità del "vento di canale" che, spirando da NNW, contrasta le onde di mare-lungo provenienti da SUD e ne contiene l'incidenza. La stabilità del vento è utile anche perché fornisce giornate intere perfettamente sfruttabili sul piano operativo.
2. La piccola escursione di marea (ampiezza tipicamente contenuta entro i .1m) che è un requisito necessario per la buona riuscita degli esperimenti su modelli in scala ridotta.



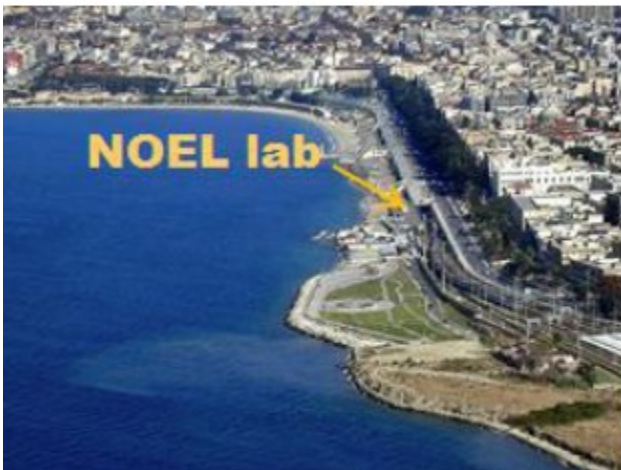


Figura 11. Localizzazione del laboratorio sul lungomare di Reggio Calabria e vista esterna della struttura.

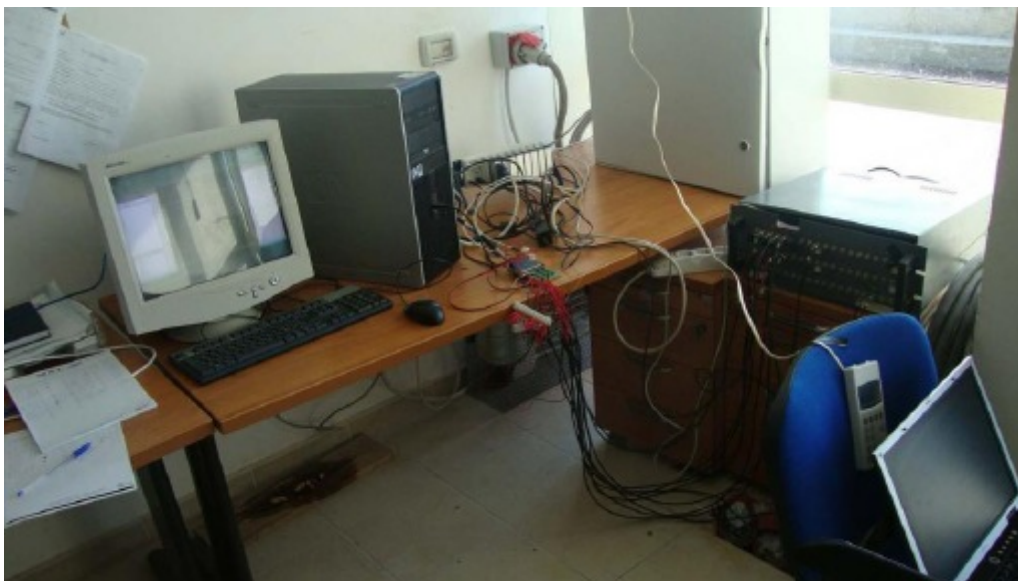


Figura 12. Stazione di acquisizione interna presso il NOEL.

1. La limpidezza dell'acqua davvero impensabile davanti ad un centro urbano. L'acqua è limpidissima perché viene ricambiata dalla corrente dello Stretto la quale fluisce due volte al giorno. E' del tutto



evidente che la limpidezza dell'acqua è un altro prerequisito per l'attività di laboratorio in ambiente naturale. Infatti nel mare o nei laghi i montaggi dei modelli delle strutture e degli strumenti di misura vanno fatti per via subacquea. Inoltre la possibilità di controllare visivamente le parti sommerse di un modello si rivela molto utile.

In sintesi, grazie ad una serie straordinaria di fattori naturali, il mare di Reggio Calabria è un grande laboratorio naturale per le sperimentazioni di Ingegneria Marittima.



**Figura 13.** Trasporto del cassone in acciaio dall'officina meccanica al Natural Ocean Engineering Laboratory. Particolare dell'imbocco sommerso del condotto verticale (a destra).

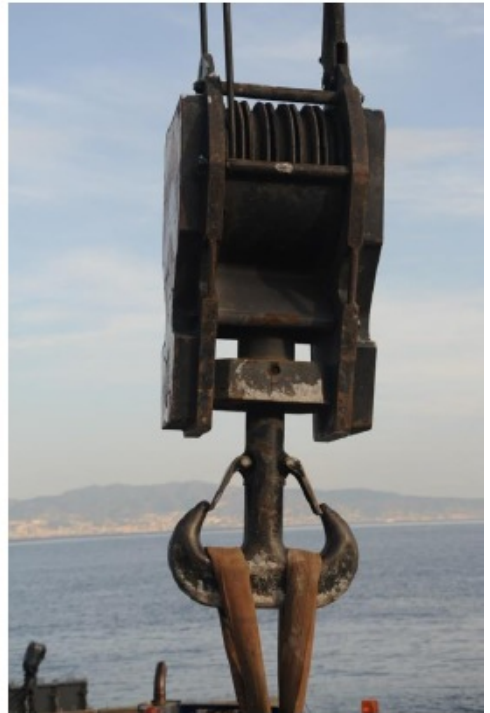


**Figura 14.** Arrivo della gru al laboratorio NOEL per il posizionamento del cassone





Figura 15. Arrivo del cassone presso il NOEL, con coperchi ed accessori



**Figura 16.**Avvio delle operazioni di scarico degli accessori





**Figura 17.** I subacquei specializzati a supporto dei lavori in mare



**Figura 18.** Fasi della posa del cassone in acqua 1/4





Figura 19. Fasi della posa del cassone in acqua 2/4



**Figura 20.** Fasi della posa del cassone in acqua 3/4





Figura 21. Fasi della posa del cassone in acqua 4/4





**Figura 22.** Una delle due valvole fissate sul fondo del cassone per l'allagamento, finalizzato all'affondamento del cassone.



**Figura 23.** Gruppi tendicavo per il fissaggio della parte superiore (lato terra) ed inferiore (lato mare) del cassone in acciaio alla struttura in cemento armato





**Figura 24.** Particolari interni della camera



**Figura 25.** Particolari dei coperchi della camera di assorbimento e della guarnizione.



## 4 Strumentazione da installare nel REWEC3

Alla luce del principio di funzionamento del REWEC3 descritto nel paragrafo introduttivo, il lavoro previsto nell'ambito di questo progetto si basa sulla realizzazione del cassone, predisposto per il monitoraggio, dopo la installazione presso il laboratorio NOEL dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria.

Come precedentemente evidenziato, gli elementi chiave del REWEC sono 3: condotto ad U, colonna d'acqua e camera d'aria. Ovviamente le parti meccaniche rivestono un ruolo primario nella ottimizzazione delle performance energetiche del REWEC3. Tuttavia esse non sono analizzate in questo progetto e comunque rivestono un ruolo minore nell'analisi della idrodinamica dell'impianto.

Gli elementi principali del REWEC3 sono monitorati attraverso un'adeguata strumentazione. Tale strumentazione è composta da trasduttori di pressione e sonde ultrasoniche, che hanno il compito di fornire misure istantanee della quota delle superfici libere e del carico di pressione in determinati punti. In particolare, si prevede di installare la seguente strumentazione:

1. 3 ultrasuoni;
2. 15 trasduttori di pressione.

Gli ultrasuoni saranno ubicati in cima alle camere di assorbimento. Essi permetteranno di monitorare costantemente la quota della superficie libera all'interno del cassone metallico in tre punti distinti. Tre gruppi di 3 trasduttori saranno localizzati all'interno delle colonne d'acqua al di sotto delle sonde ultrasoniche. Il loro compito è quello di fornire misurazioni del carico di pressione. Inoltre, essi permettono una misura indiretta della quota della superficie libera della colonna d'acqua oscillante. Tre trasduttori di pressione saranno installati nelle bocche esterne del cassone, lato mare. Tali strumenti permettono di valutare l'entità della forzante del sistema e quindi di condurre delle opportune analisi dinamiche. Inoltre, essi sono fondamentali per la valutazione della frazione di energia ondosa assorbita dal REWEC3. Tre ulteriori trasduttori di pressione saranno installati nella camera d'aria. A differenza di quelli impiegati nella colonna d'acqua, questi strumenti sono in grado di lavorare in condizione di depressione.

### 4.1 Fasi della sperimentazione

La peculiarità dell'impianto sperimentale è la sua modularità. Infatti, esso è dotato di 2 setti interni rimovibili, che permettono di partizionare la camera in 3 celle indipendenti.

L'obiettivo generale del progetto è di identificare la configurazione ottimale del REWEC3 analizzando configurazioni con differenti larghezze della camera. Per raggiungere l'obiettivo, si articolerà l'esperimento nelle seguenti fasi:

1. REWEC3 con 3 celle indipendenti;
2. REWEC3 con 2 celle indipendenti;
3. REWEC3 a cella singola.

La fase 1 prevede il monitoraggio di celle non comunicanti. Tale configurazione è quella con le celle più strette.

La fase 2 è condotta rimuovendo uno dei 2 setti interni al cassone. Tale fase è intermedia, nel senso che sarà analizzata la configurazione con un'ampiezza della camera intermedia tra quelle sperimentabili.

La fase 3 è condotta rimuovendo tutti i setti. In queste condizioni l'impianto è a cella singola.

Il comune denominatore delle 3 fasi sperimentali è legato alla valutazione delle condizioni di lavoro ottimali (in termini di assorbimento) dell'impianto. Pertanto, nelle tre fasi si valuterà l'energia assorbita dall'impianto e la relativa energia incidente, il cui rapporto è il parametro principale per valutare l'efficienza del REWEC3.

In parallelo, si condurrà un'attività di interesse strettamente strutturale. In particolare, si condurrà una valutazione delle sollecitazioni agenti sui setti interni dell'impianto. Tale sollecitazione è valutata per mezzo delle misurazioni fornite dai trasduttori posti all'interno dell'impianto. Tali analisi non sono state oggetto di studi precedenti, pertanto è necessario, al fine di garantire la sicurezza strutturale del REWEC3, condurre ulteriori studi che sfruttino le possibilità offerte dal cassone attualmente presente presso il NOEL.

## 5 Conclusioni

L'attività sperimentale avviata, con l'installazione del cassone, ha previsto l'impiego di una diga a cassoni di tipo U-OWC (o REWEC3 – brevetto prof. P. Boccotti), dotata di un condotto verticale che si estende lungo tutta la parete lato-mare-aperto collegato ad una camera di assorbimento attraverso un'apertura verticale di fondo.

L'innovativo impianto U-OWC, realizzato presso il laboratorio di ingegneria marittima dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria, NOEL, si particolarizza rispetto agli impianti OWC tradizionali, che hanno resistenza ridotta a causa delle aperture lato-mare, per l'elevata resistenza strutturale nonché per la caratteristica di avere un periodo proprio di oscillazione che può essere regolato.

Le attività sperimentali, che sono state organizzate, consentiranno di determinare le pressioni massime prodotte dalle onde incidenti sui cassoni U-OWC, sia all'esterno sia all'interno della sacca d'aria, nonché di analizzare l'idrodinamica dell'impianto stesso.

Dal punto di vista dell'innovazione di sistema, infine, il progetto realizzato si propone di analizzare il comportamento dell'impianto di tipo U-OWC, al variare delle dimensioni della camera di assorbimento.

## 6 Riferimenti bibliografici

- Boccotti P. (2003) On a new wave energy absorber. *Ocean Engineering*, 30, pp. 1191-1200.
- Arena, F. & Filianoti, P. (2003) A new kind of breakwater for converting wave energy into electric power, *Proc. Of the Fifth European Wave Energy Conference EWEC*, University College Cork, Ireland, 17<sup>th</sup>-20<sup>th</sup> September 2003, pp. 277-291.
- Boccotti P. (2007) Comparison between a U-OWC and a conventional OWC. *Ocean Engineering*;34, pp. 799-805.
- Arena, F. & Filianoti, P. (2007) A small-scale field experiment on a submerged breakwater for absorbing wave energy, *ASCE Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Volume 133, Issue 2, pp. 161-167,
- Boccotti P. (2007) Caisson breakwaters embodying an OWC with a small opening part I: theory. *Ocean Engineering*; 34, pp.806-819
- Boccotti P., Filianoti P., Fiamma, V. & Arena, F. (2007) Caisson breakwaters embodying an OWC with a small opening. Part II: a small scale field experiment, *Ocean Engineering*, Volume 34, Issues 5-6, pp. 820-841,
- Romolo, A. & Arena, F. (2008) Mechanics of nonlinear random wave groups interacting with a vertical wall, *Physics of Fluids*. Vol. 20, Issue 3, paper 036604, pp. 1-16.
- Boccotti, P., Arena, F., Fiamma, V., Romolo, A. & Barbaro, G. (2011) Estimation of mean spectral directions in random seas, *Ocean Engineering*, Vol. 38, Issue 2-3, pp. 509–518,
- Boccotti, P., Arena, F., Fiamma, V., Romolo, A. & Barbaro, G. (2012) A small scale field experiment on wave forces on upright breakwaters, *ASCE Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol. 138, Issue 2, pp. 97-114.
- Arena, F., Romolo, A., Ascanelli, A., Ferrante, A., Ghiretti, S., Valentino, E. (2012) Green ports: an Italian experience, *Proc. of the 2<sup>nd</sup> Mediterranean Days of Coastal and Port Engineering MEDDAYS 2012*, 23<sup>rd</sup> - 25<sup>th</sup> May, 2012 Valencia (Spain), pp. 391-405.
- Romolo A., Arena F. (2012) Nonlinear wave pressures given by extreme waves on an upright breakwater: theory and experimental validation, *Proceedings of 33<sup>rd</sup> International Conference on Coastal Engineering (ICCE 2012) - ASCE*, No 33, 1-6 July 2012, Santander, Spain, paper waves.33, pp. 1-15 - ISSN: 2156-1028.
- Arena, F., A. Carillo, V. Laface, G. Malara, A. Romolo, G. Sannino (2012). Extreme waves in the Central Mediterranean Sea for design of offshore wind farms and wave energy devices. *Proc. of the European Seminar OWEMES 2012*, Rome, 199-213.
- Malara, G. and Arena, F. (2013) Analytical modelling of an U - Oscillating Water Column and performance in random waves, *Renewable Energy*, Vol. 60, pp. 116-126

- Arena, F., Barbaro, G. (2013) The Natural Ocean Engineering Laboratory, NOEL, in Reggio Calabria, Italy, *Journal of Coastal Research*, Vol. 29, No. 5, pp. vii-x
- Arena, F., A. Romolo, G. Malara, A. Ascanelli, S. Ghiretti (2013) A new U-OWC device to produce electrical power from ocean waves: some applications to Italian coasts, Proc. ICE Breakwaters Conference - 17 - 20 September 2013, Edinburgh, UK. In press
- Franco, L., Arena, F., Mazzola, O., Petrosemolo, L. (2013) The new deepwater “Marina di Cicerone” at Formia (I), Proc. ICE Breakwaters Conference - 17 - 20 September 2013, Edinburgh, UK.
- Malara, G. and Arena, F. (2013) U-Oscillating Water Column in Random Waves: Modelling and Performances, Proc. of the ASME 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE2013-10923), June, 9-14, Nantes, France, Vol. 8: Ocean Renewable Energy, pp. V008T09A059;10 pages, ISBN: 978-0-7918-5542-3, doi:10.1115/OMAE2013-10923. ISBN: 978-0-7918-5542-3
- Arena, F., Fiamma, V., Laface, V., Romolo, A., Viviano, A., Sannino, G., Carillo, A. (2013) Installing U-OWC devices along Italian coasts, Proc. of the ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE2013-10928), June, 9-14, Nantes, France, Vol. 8: Ocean Renewable Energy, pp. V008T09A061;-11 pages, ISBN: 978-0-7918-5542-3, doi:10.1115/OMAE2013-10928. ISBN: 978-0-7918-5542-3
- Arena, F., Romolo, A., Malara, G. and Ascanelli, A. (2013) On design and building of a U-OWC wave energy converter in the Mediterranean sea: a case study, Proc. of the ASME 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE2013-11593), June, 9-14, Nantes, France, Vol. 8: Ocean Renewable Energy, pp. V008T09A102-;8 pages doi:10.1115/OMAE2013-11593. ISBN: 978-0-7918-5542-3
- Arena F., Laface V., Malara G., Romolo A., Viviano A., Carillo A., Sannino G. (2013) Wave energy and extreme value analysis in coastal zone in the central Mediterranean sea, oriented to the design of energy harvesters, Proc. of the European Wave and Tidal Energy Conference EWTEC 2013, Aalborg, Denmark, 2-5 September
- Arena F., Romolo A., Malara G., Fiamma V. (2013) A Small Scale Field Experiment on a U-OWC (REWEC3), Proc. of the European Wave and Tidal Energy Conference EWTEC 2013, Aalborg, Denmark, 2-5 September 2013
- Arena, F., Malara, G., Fiamma, V., Romolo, A., (2014) Field experiment on a U-OWC wave energy converter in confused sea waves, Proc. of the 7th Computational Stochastic Mechanics Conference, Santorini, Greece, 15-18 June 2014, in press
- Arena, F. (2011) Il mare come fonte di energia, Atti Convegno Lincei ‘Acqua ed Energia’, XI Giornata Mondiale dell’Acqua, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, 22 marzo, pp. 57-77.
- Arena, F., Ascanelli, A. (2011) On design of a new breakwater to produce electrical power from wave energy, Atti Convegno Lincei ‘Acqua ed Energia’, XI Giornata Mondiale dell’Acqua, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, 22 marzo, pp. 117-126
- Arena, F., Laface, V., Malara, G., Romolo, A., Viviano, A., Fiamma, V., Sannino, G., Carillo, A. (2014) Wave climate analysis for the design of wave energy harvesters in the Mediterranean Sea, under peer review

## 7 Acronimi

- REWEC3 : REsonant Wave Energy Converter, release n. 3  
OWC : Oscillating Water Column