



Accordo di Programma MSE-ENEA



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

**RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO**



# Progettazione e costruzione del prototipo 'on-shore' REWEC-VG (REWEC-Variable Geometry) e nuovo Power Take Off ad elastomeri

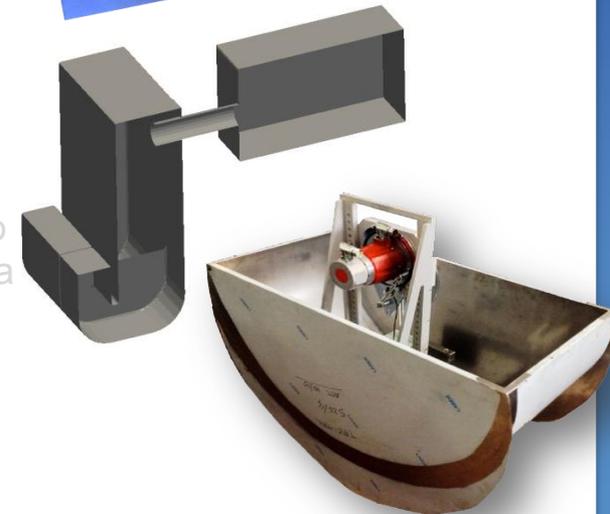
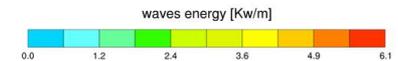
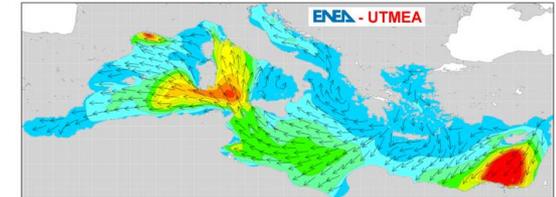
V. Russo, D. Nicolini, T. Crescenzi  
ENEA



## ATTIVITÀ PREVISTE

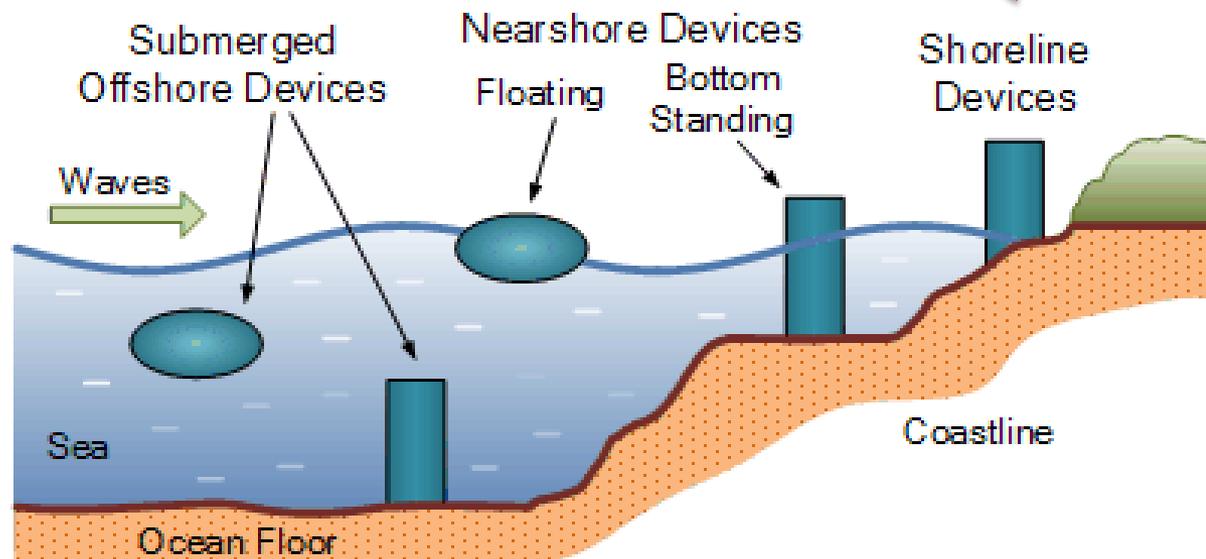
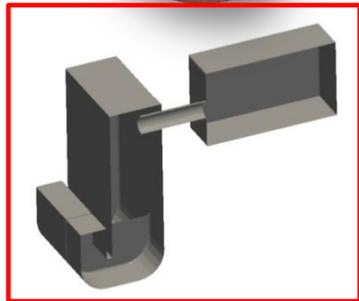
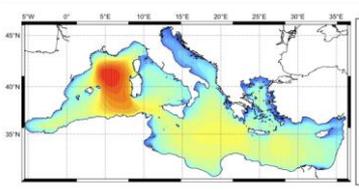
- **Obiettivo a:** Analisi climatologica dell'energia nelle diverse componenti del moto ondoso e previsioni operative
- **Obiettivo b:** Monitoraggio e mappatura degli ecosistemi costieri interessati dall'installazione di impianti di produzione di energia dal mare
- **Obiettivo c:** Esecuzione di prove sperimentali e numeriche CFD su prototipo in scala 1:8 del dispositivo a colonna d'acqua oscillante REWEC3-GV
- **Obiettivo d:** Studio di un sistema PTO per OWC del tipo REWEC-GV basato su elastomeri elettroattivi
- **Obiettivo e:** Progettazione ed esecuzione delle prove su di un prototipo in scala di dispositivo point absorber "passivo" per il recupero di energia da moto ondoso
- **Obiettivo e:** Comunicazione e diffusione dei risultati

Forecast valid for 12:00 GMT 21 Oct 2013  
Init 00:00 GMT 21 Oct 2013



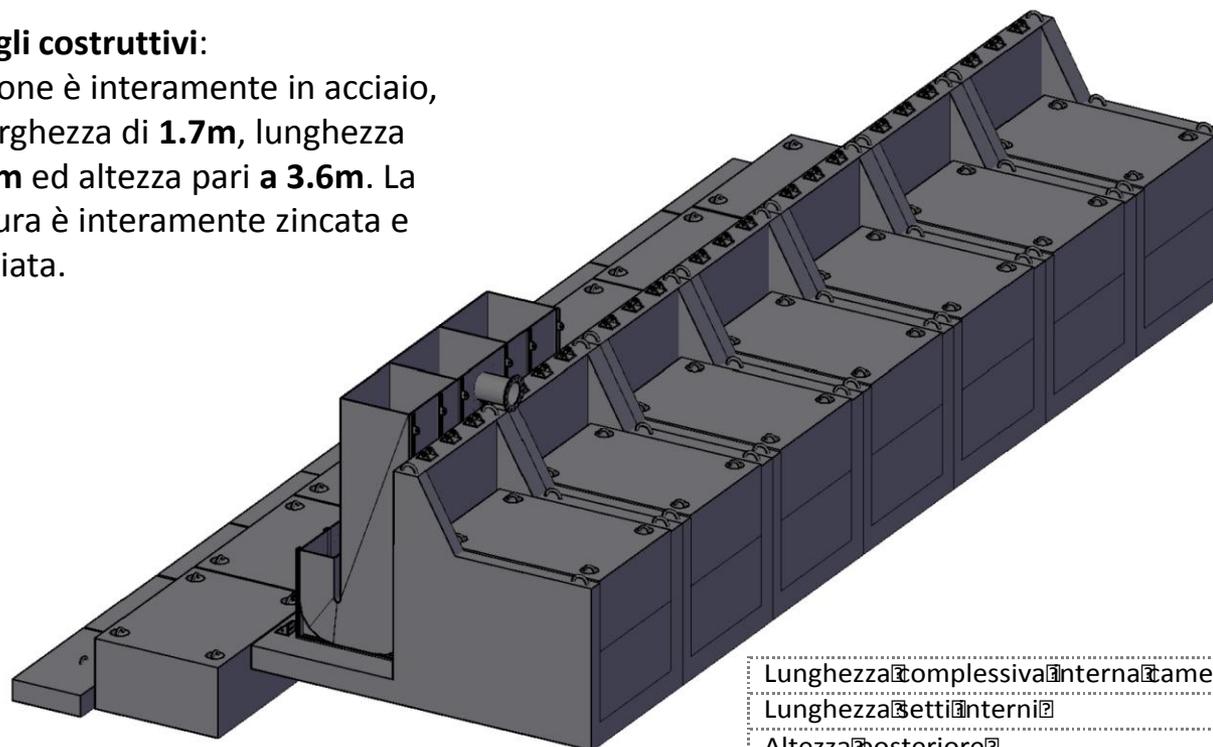
## DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ

Dispositivi di conversione considerati nel progetto



## Dettagli costruttivi:

il cassone 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.



Lunghezza complessiva interna camera	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 al fondo dell'asse della turbomacchina	3230mm
Larghezza complessiva	1700mm
Larghezza ingresso motore ondoso	500mm
Larghezza camera/setti interni	1000mm

Vista 3D della diga, con il cassone ENEA sulla sinistra

# Progettazione e costruzione del prototipo 'on-shore' REWEC-VG (REWEC-Variable Geometry) e nuovo Power Take Off ad elastomeri



# Progettazione e costruzione del prototipo 'on-shore' REWEC-VG (REWEC-Variable Geometry) e nuovo Power Take Off ad elastomeri

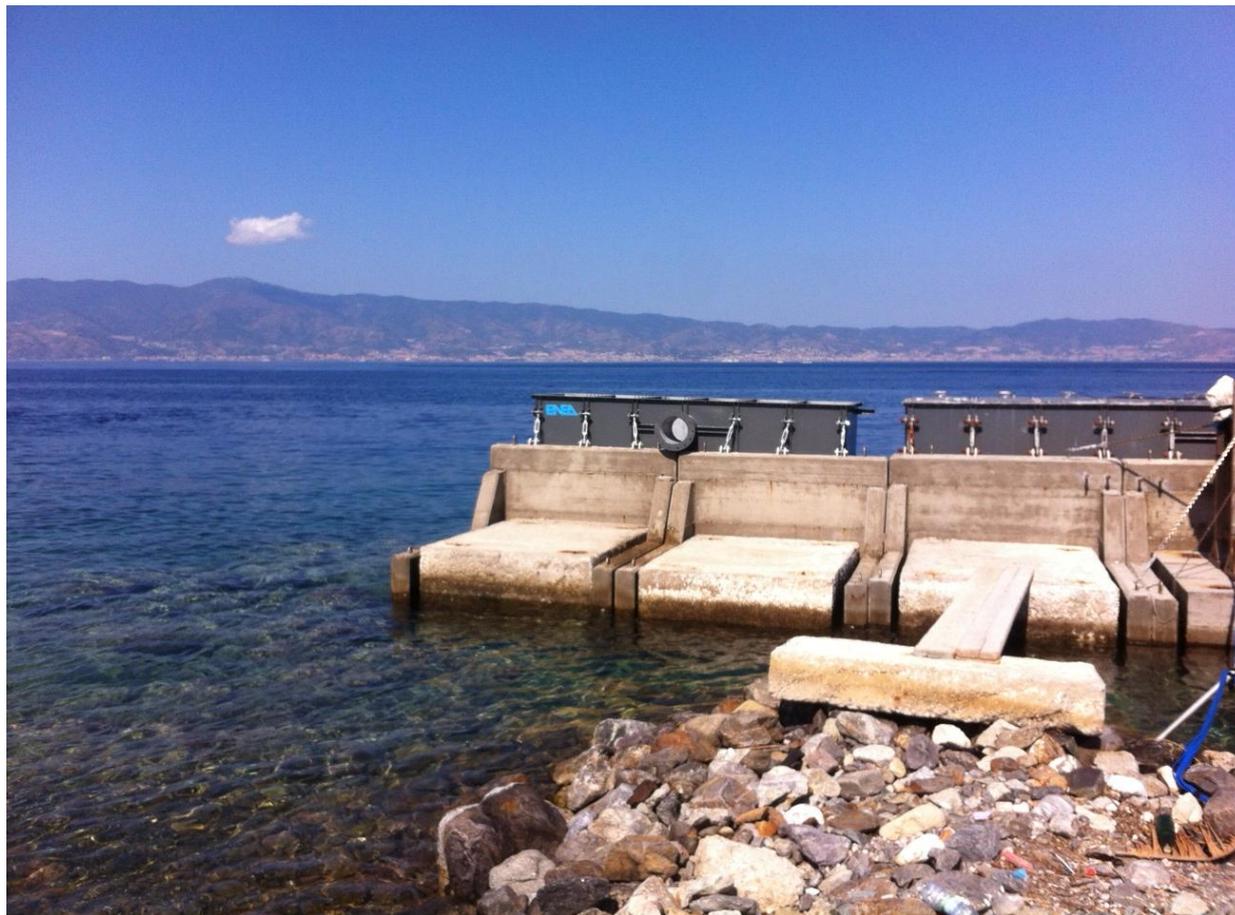
- La posa in mare è stata conclusa il giorno 11 settembre 2014, con l'ausilio di una gru da 100 tonnellate, in grado di eseguire la posa del cassone in mare direttamente da terra.



Collaborazioni:



# Progettazione e costruzione del prototipo 'on-shore' REWEC-VG (REWEC-Variable Geometry) e nuovo Power Take Off ad elastomeri



**Collaborazioni:**



# Progettazione e costruzione del prototipo 'on-shore' REWEC-VG (REWEC-Variable Geometry) e nuovo Power Take Off ad elastomeri

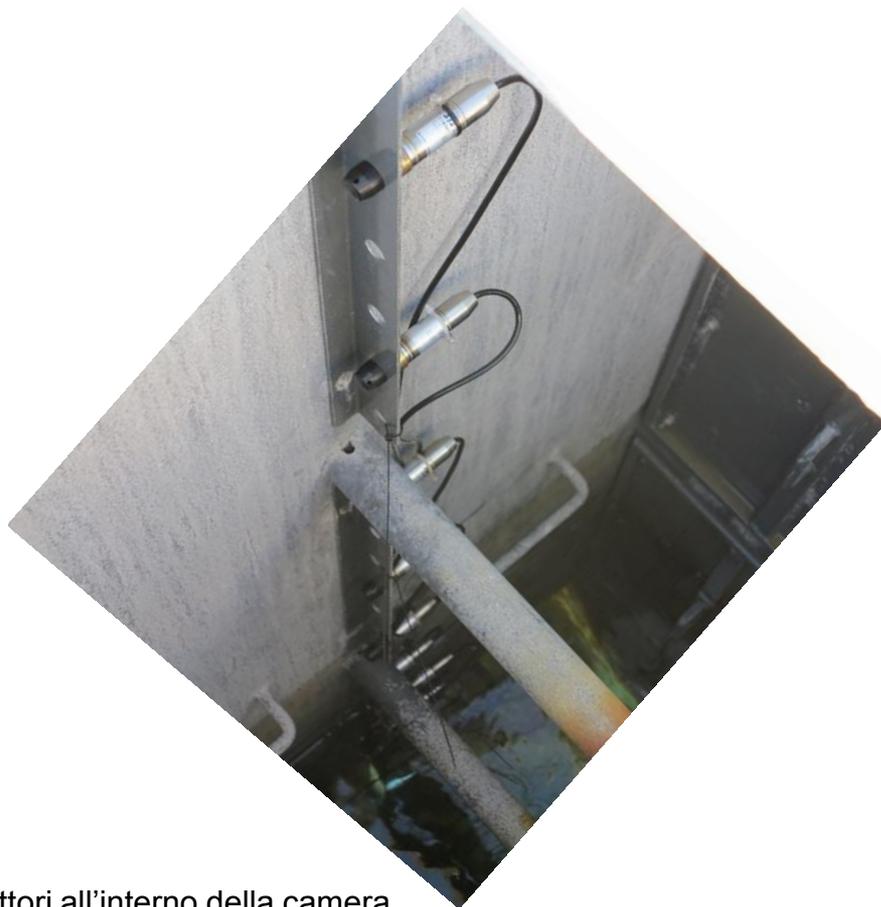


Sfiato nella camera di destra



Sfiato nella camera di sinistra

## POSIZIONE DI ALCUNI SENSORI PER LE PROVE SPERIMENTALI



Trasduttori all'interno della camera



Ultrasuono per le misure di livello

## ATTIVITÀ PREVISTE

- **Obiettivo c:** Esecuzione di prove sperimentali e numeriche CFD su prototipo in scala 1:8 del dispositivo a colonna d'acqua oscillante REWEC3-GV

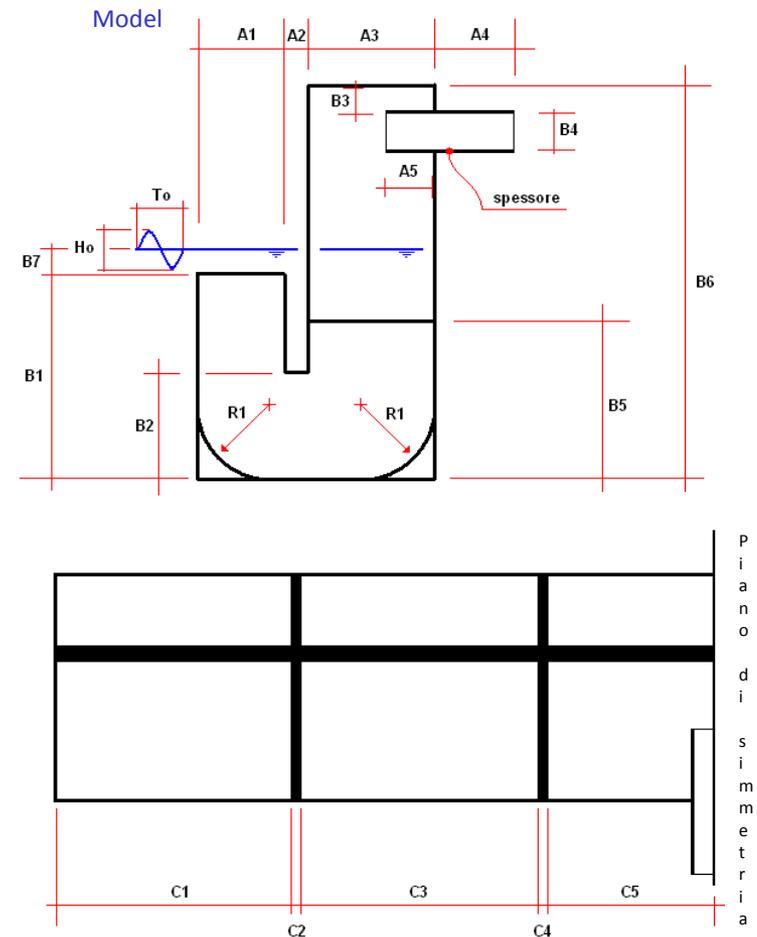
### Sintesi delle registrazioni già effettuate

- Record effettuati: 502
- Caratteristiche degli stati di mare:
  - $H_s < 1.2\text{m}$
  - $T_p < 15\text{s}$
  - $|\theta_m| < 30^\circ$
  - Natura degli stati di mare: onde pure generate dal vento, onde di mare lungo, stati di mare misti

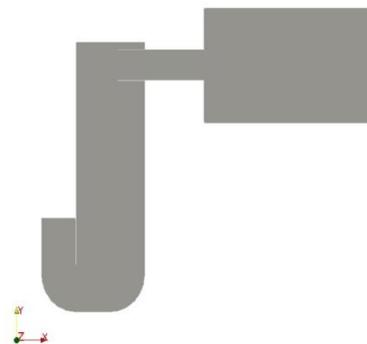
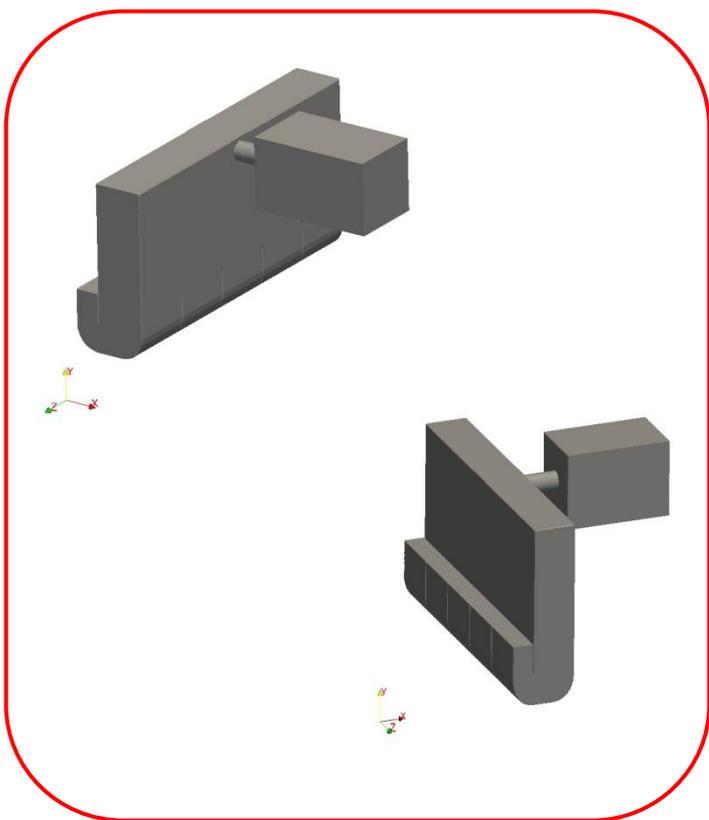
## Analisi CFD del prototipo scala 1:8 installato in mare

Il presente lavoro descrive lo sviluppo di un modello per la simulazione CFD del REWEC capace di predire il comportamento sia dell'acqua che dell'aria all'interno del device. In questo modo è possibile ottimizzare il sistema riducendo i costi.

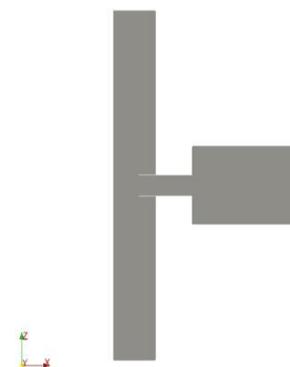
Il sistema è composto da due volumi, uno pieno di acqua (colonna oscillante) e l'altro contenente sia acqua che aria nella parte alta. Quest'ultima viene spinta dal movimento delle onde sottostanti all'interno del condotto della turbina.



## Geometria del modello



Sezione verticale (piano x-y)  
passante attraverso l'asse della  
turbina



Sezione orizzontale (piano x-z)  
passante per l'asse della  
turbina

Nel modello non è stata presa in considerazione la turbina poichè l'obiettivo di questo studio è la valutazione della capacità del modello di simulare il comportamento del sistema accoppiato acqua/aria

Per la simulazione del sistema il movimento del mare è stato approssimato da un'onda sinusoidale. Sono state prese in considerazione due tipi di onde presenti nel sito dove è stato montato il REWEC con le seguenti caratteristiche:

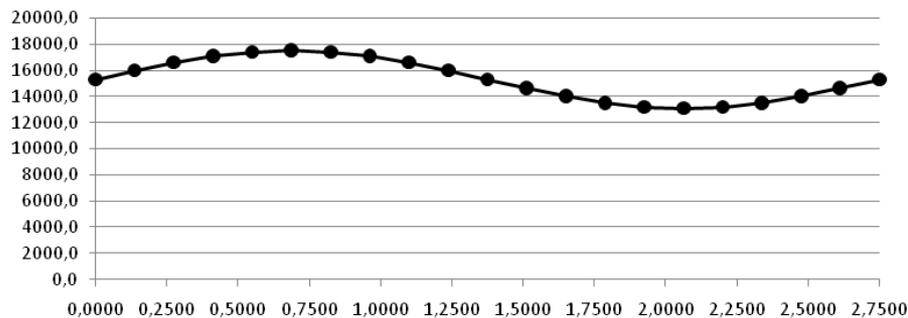
Prima Onda:

Altezza d'onda= 0.438 m  
Periodo d'onda= 2.75 s

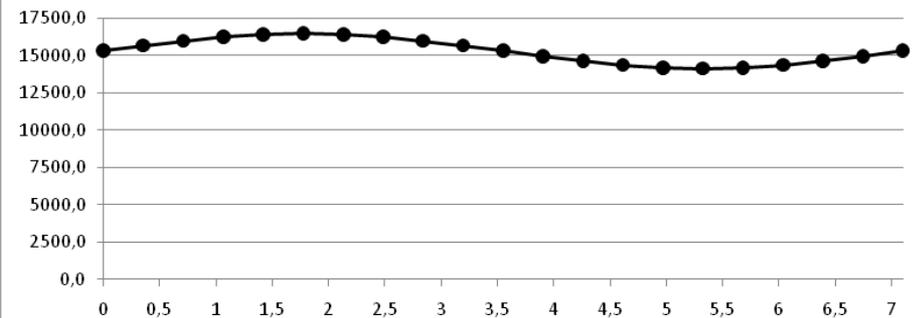
Seconda Onda:

Altezza d'onda= 0.232 m  
Periodo d'onda= 7.10 s

p-rgh [Pa]



p-rgh [Pa]



Altezza d'onda=minimo/massimo

Periodo d'onda=tempo tra due massimi

## Modelli matematici utilizzati

Il sistema è composto da acqua in fase liquida ed aria in fase gassosa



Algoritmo bifasico:  
**VOF** (Volume of Fluid)

Numero di Mach stimato:

$$Ma = v/c \cong 0,05$$



**Flusso incompressibile**

Per la stima del numero di Reynolds si ipotizza che durante la fase di innalzamento del livello del mare il volume di acqua è uguale al volume di aria che fluisce all'interno del condotto della turbina

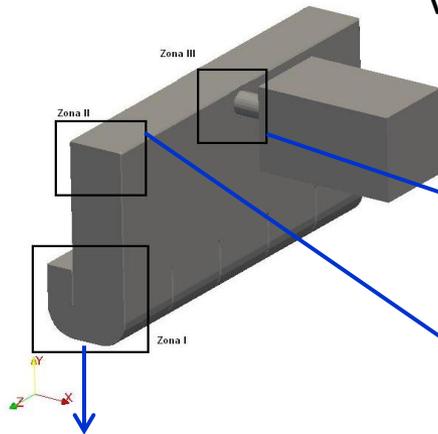


Modello per **Flusso Turbolento**:  
**STANDARD K-ε**

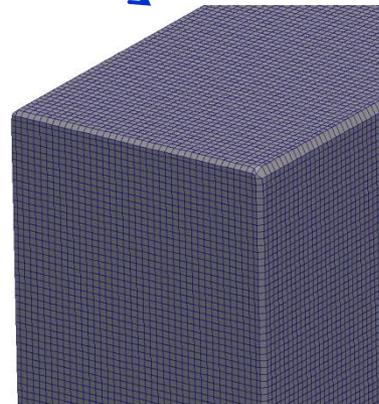
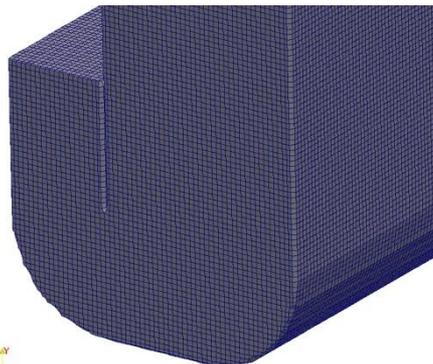
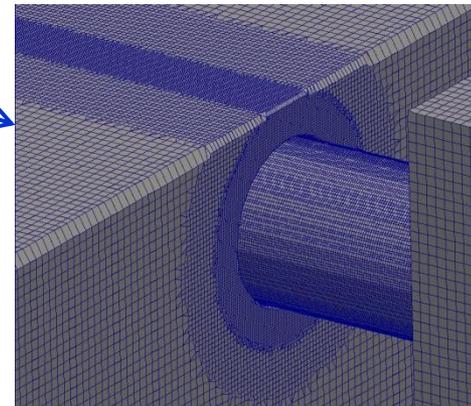
$$Re \cong 10e5$$

**Realizzazione della mesh** Nei volumi lontani dal condotto turbina la velocità è bassa quindi avrò celle di circa 25 mm

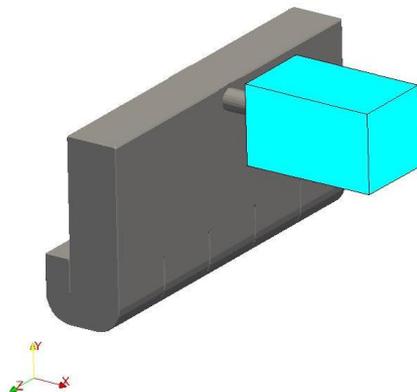
Vicino al condotto turbina le dimensioni delle celle vengono valutate attraverso le funzioni di parete e risultano di circa 6-7 mm



Zona contenente il condotto turbina e zona di transizione della mesh (15-20cm di estensione)



Numero totale di celle:  
5.1 milioni



- Superficie inlet/outlet aria
- Superficie inlet/outlet acqua
- Pareti

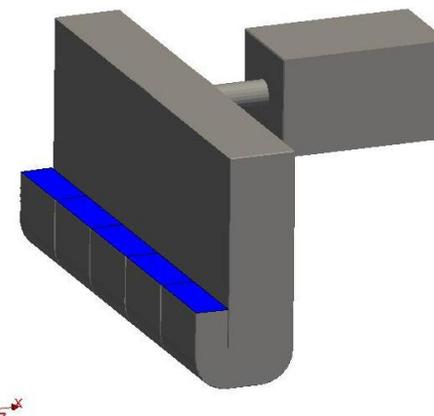
## CONDIZIONI DI VELOCITA' (Pressure\_Inlet\_Outlet\_Velocity)

Gradiente nullo per  
componente tangenziale

Superficie di inlet

- Gradiente nullo per  
componente tangenziale
- Gradiente nullo per  
componente normale

Superficie di outlet



## CONDIZIONE DI PRESSIONE (Uniform\_Total\_Pressure)

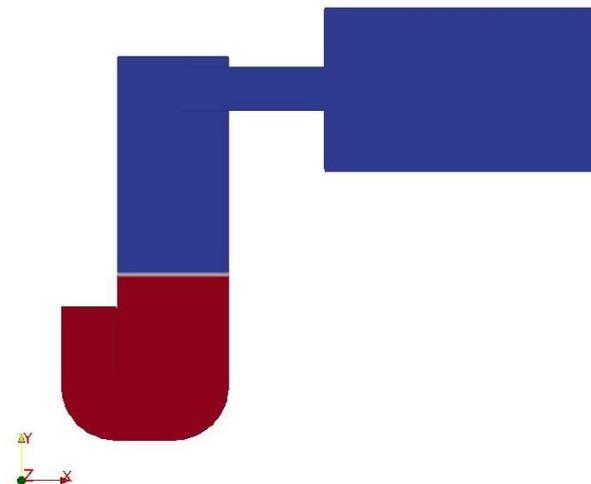
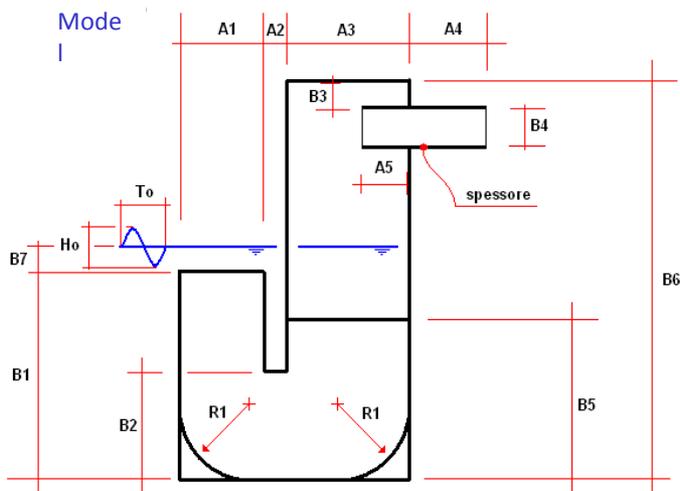
Pressione variabile con il tempo

(Total\_Pressure)

Pressione calcolata

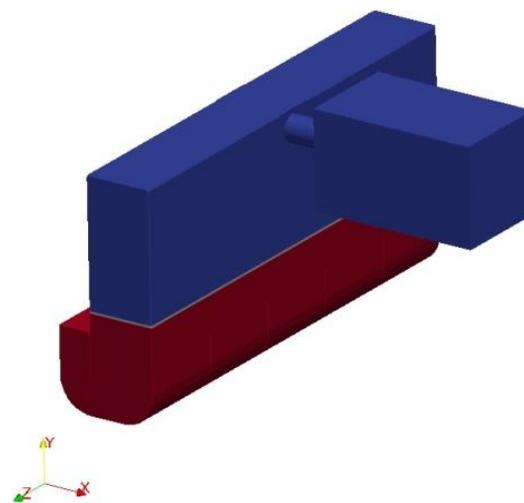
Pressione fissata

# Progettazione e costruzione del prototipo 'on-shore' REWEC-VG (REWEC-Variable Geometry) e nuovo Power Take Off ad elastomeri



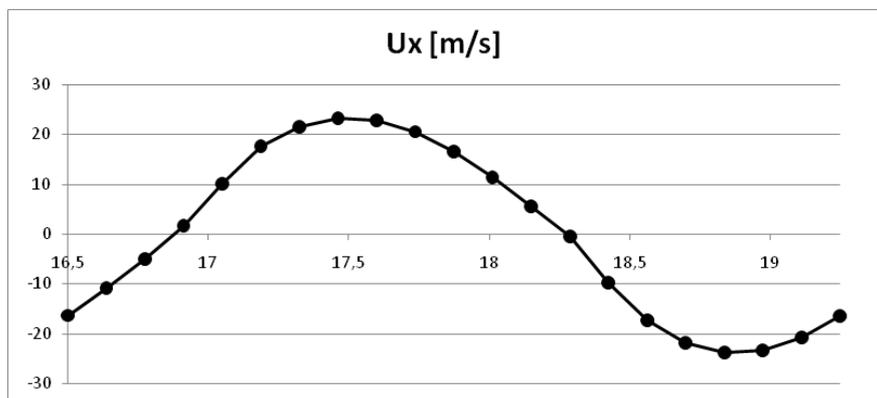
## CONDIZIONI INIZIALI

Livello del mare fissato=  $B1+B7=1,52\text{m}$



- Per le simulazioni è stato utilizzato il codice OpenFoam in grado di sviluppare simulazioni CFD in 3D. E' un codice open-source prodotto da Open CFD Ltd.
- Visto la complessità dei fenomeni fisici, le dimensioni del sistema e la velocità del flusso, è stato necessario l'utilizzo di rilevanti risorse computazionali (256 processori).
- Le risorse di calcolo ed il relativo supporto tecnico utilizzate per questo lavoro sono state fornite da CRESCO/ENEAGRID High Performance Computing infrastructure e dal suo staff; vedere <http://www.cresco.enea.it> per info. CRESCO/ENEAGRID High Performance Computing infrastructure è stata fondata dall'ENEA e dai programmi di ricerca nazionali ed europei.
- Tempo macchina: 3 cicli d'onda in 3/4 giorni.

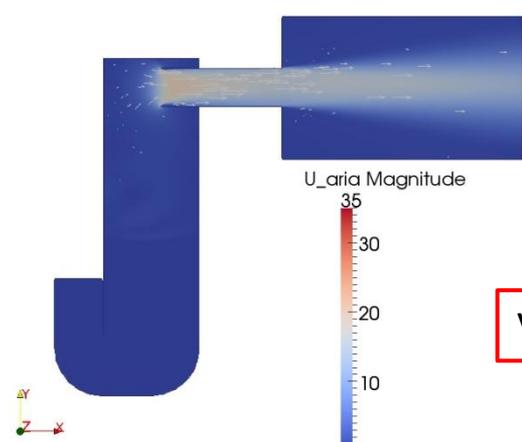
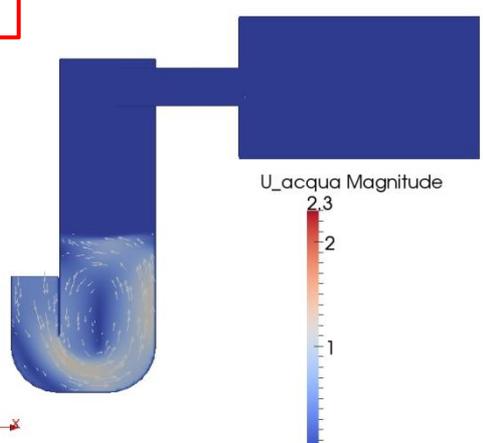
# Progettazione e costruzione del prototipo 'on-shore' REWEC-VG (REWEC-Variable Geometry) e nuovo Power Take Off ad elastomeri



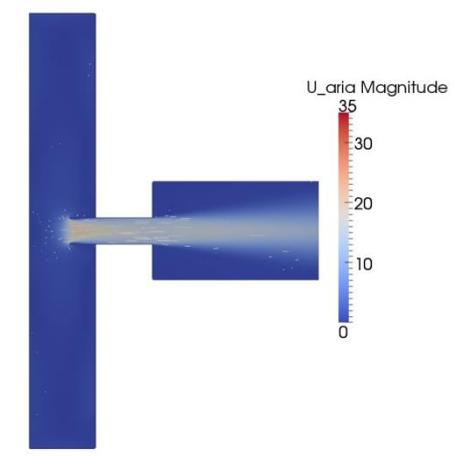
Risultati a t=17,875 s.



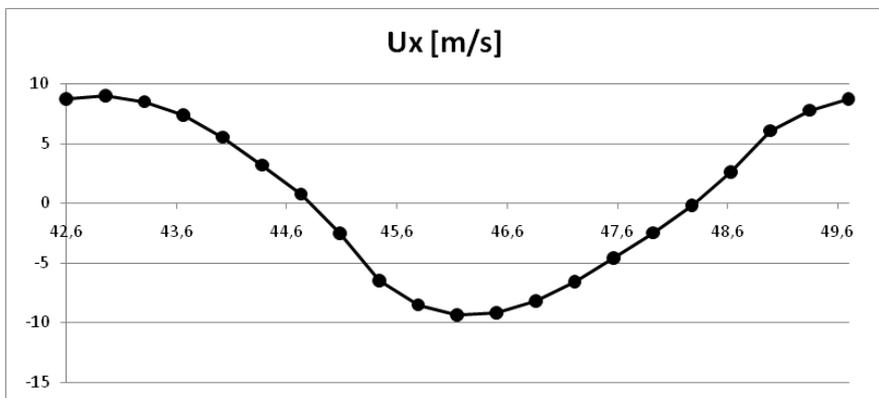
Velocità condotto turbina



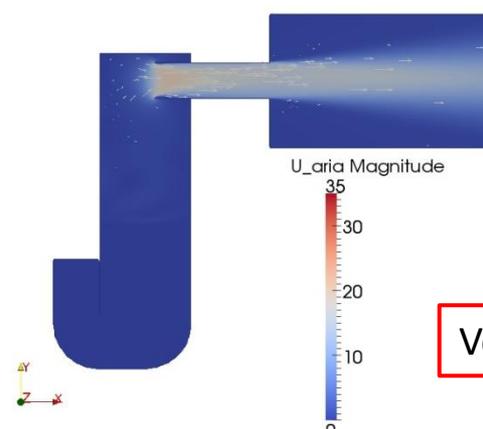
Velocità aria



# Progettazione e costruzione del prototipo 'on-shore' REWEC-VG (REWEC-Variable Geometry) e nuovo Power Take Off ad elastomeri

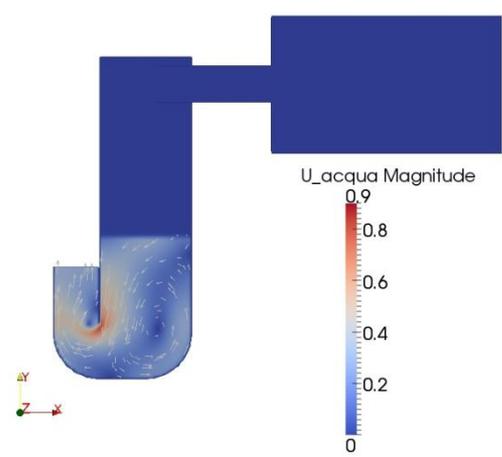


Risultati a t=46,15 s.



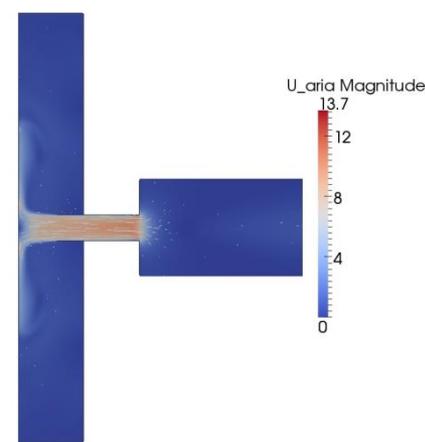
Velocità aria

Velocità condotto turbina



Livello dell'acqua

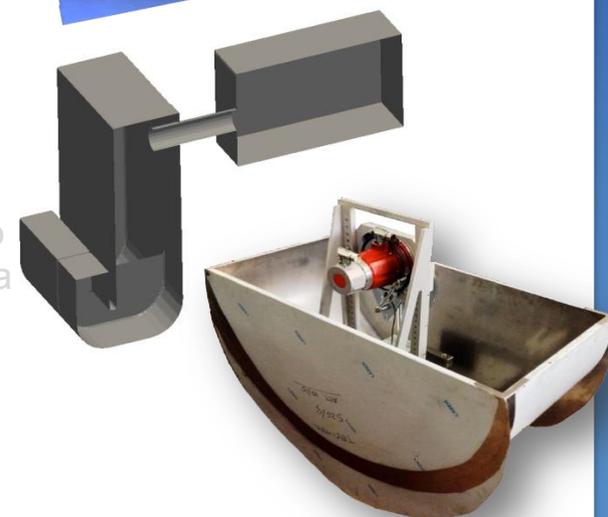
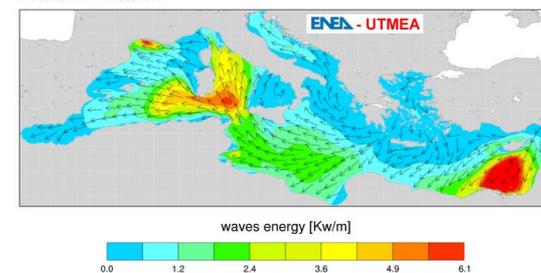
Velocità acqua



## ATTIVITÀ DA SVOLGERE – OBIETTIVI ANNUALITÀ 2014-2015

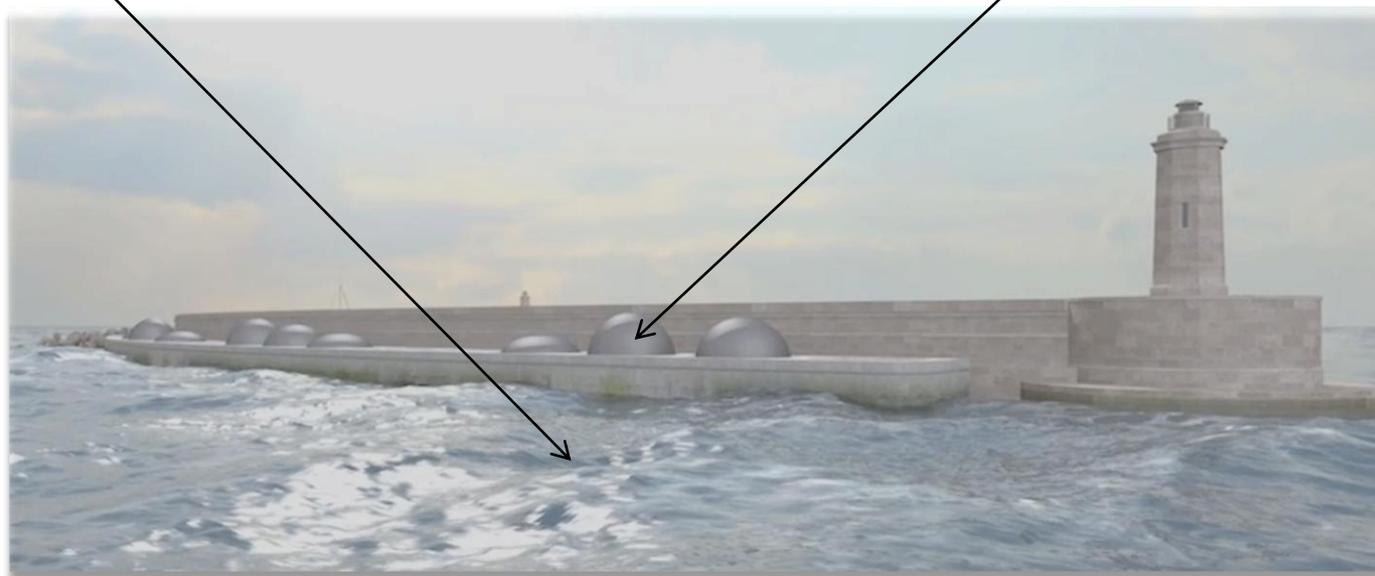
- **Obiettivo a:** Analisi climatologica dell'energia nelle diverse componenti del moto ondoso e previsioni operative
- **Obiettivo b:** Monitoraggio e mappatura degli ecosistemi costieri interessati dall'installazione di impianti di produzione di energia dal mare
- **Obiettivo c:** Esecuzione di prove sperimentali e numeriche CFD su prototipo in scala 1:8 del dispositivo a colonna d'acqua oscillante REWEC3-GV
- **Obiettivo d:** Studio di un sistema PTO per OWC del tipo REWEC-GV basato su elastomeri elettroattivi
- **Obiettivo e:** Progettazione ed esecuzione delle prove su di un prototipo in scala di dispositivo point absorber "passivo" per il recupero di energia da moto ondoso
- **Obiettivo e:** Comunicazione e diffusione dei risultati

Forecast valid for 12:00 GMT 21 Oct 2013  
Init 00:00 GMT 21 Oct 2013



## ATTIVITÀ DA SVOLGERE – OBIETTIVI ANNUALITÀ 2014-2015

- **Obiettivo d:** Studio di un sistema PTO per OWC del tipo REWEC-GV basato su elastomeri elettroattivi

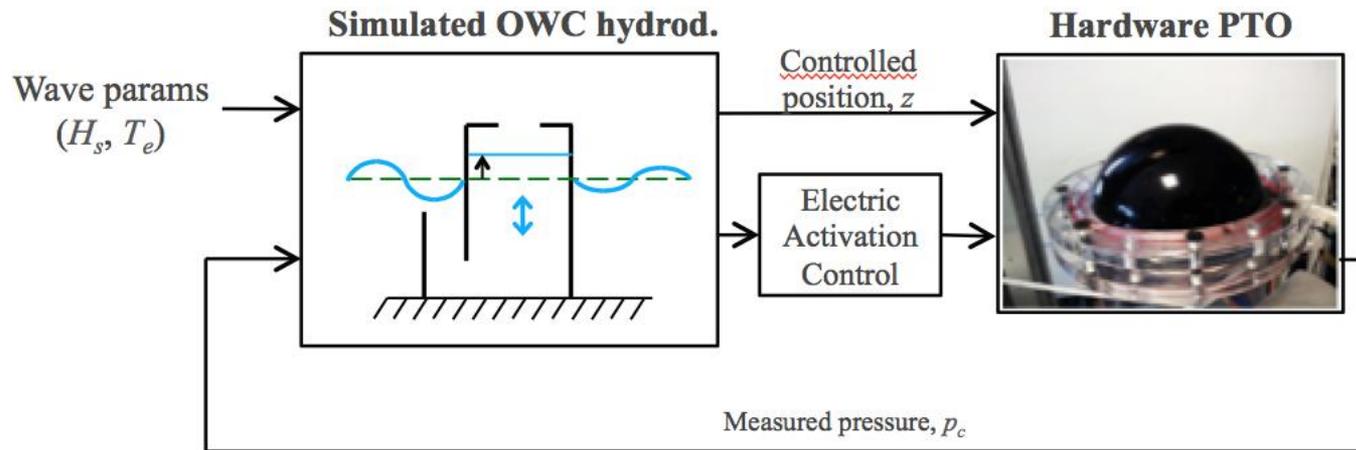


## ATTIVITÀ DA SVOLGERE – OBIETTIVI ANNUALITÀ 2014-2015

- **Obiettivo d:** Studio di un sistema PTO per OWC del tipo REWEC-GV basato su elastomeri elettroattivi

Università coinvolte

- Università di Bologna - **UNIBO** (modellazione)
- Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa – **SSSA** (test sperimentali)



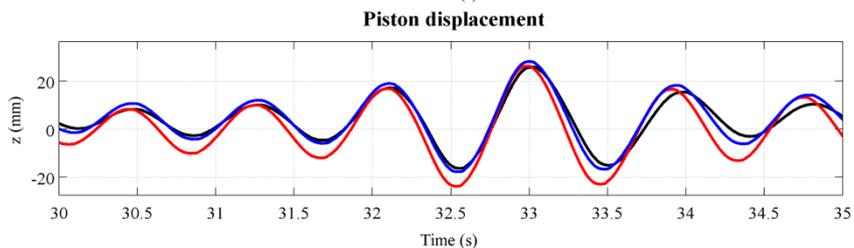
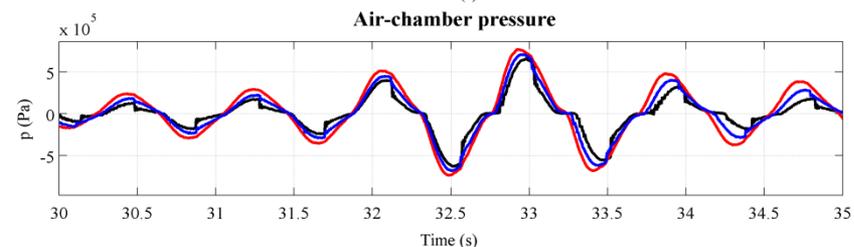
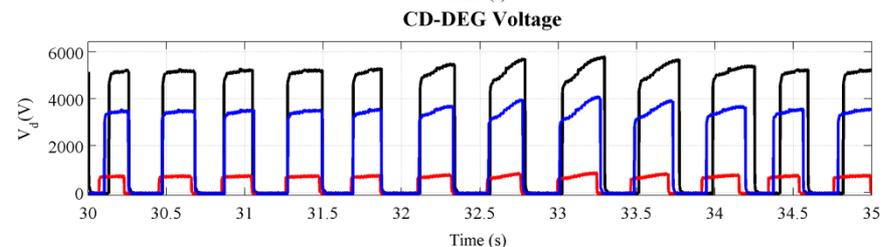
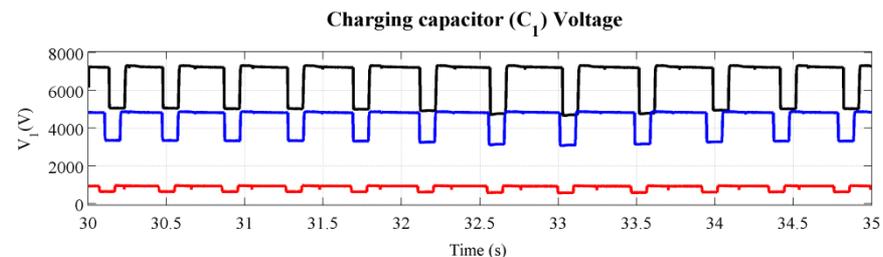
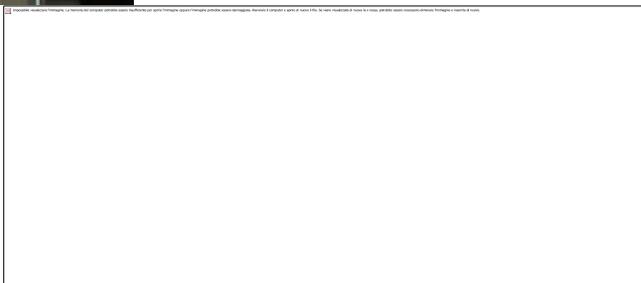
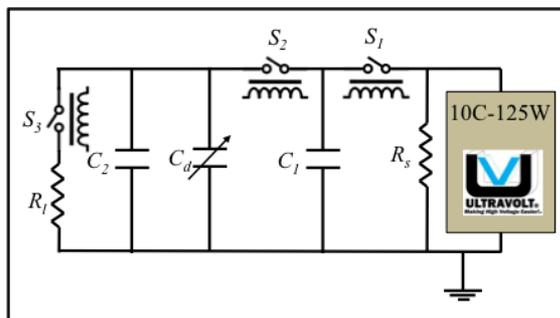
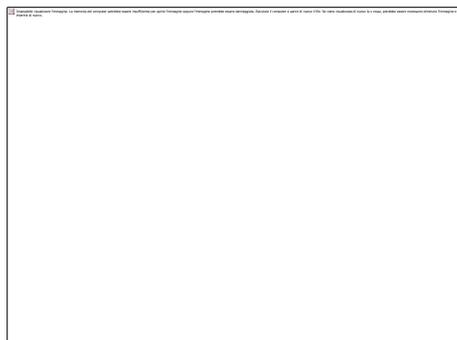
Collaborazioni:



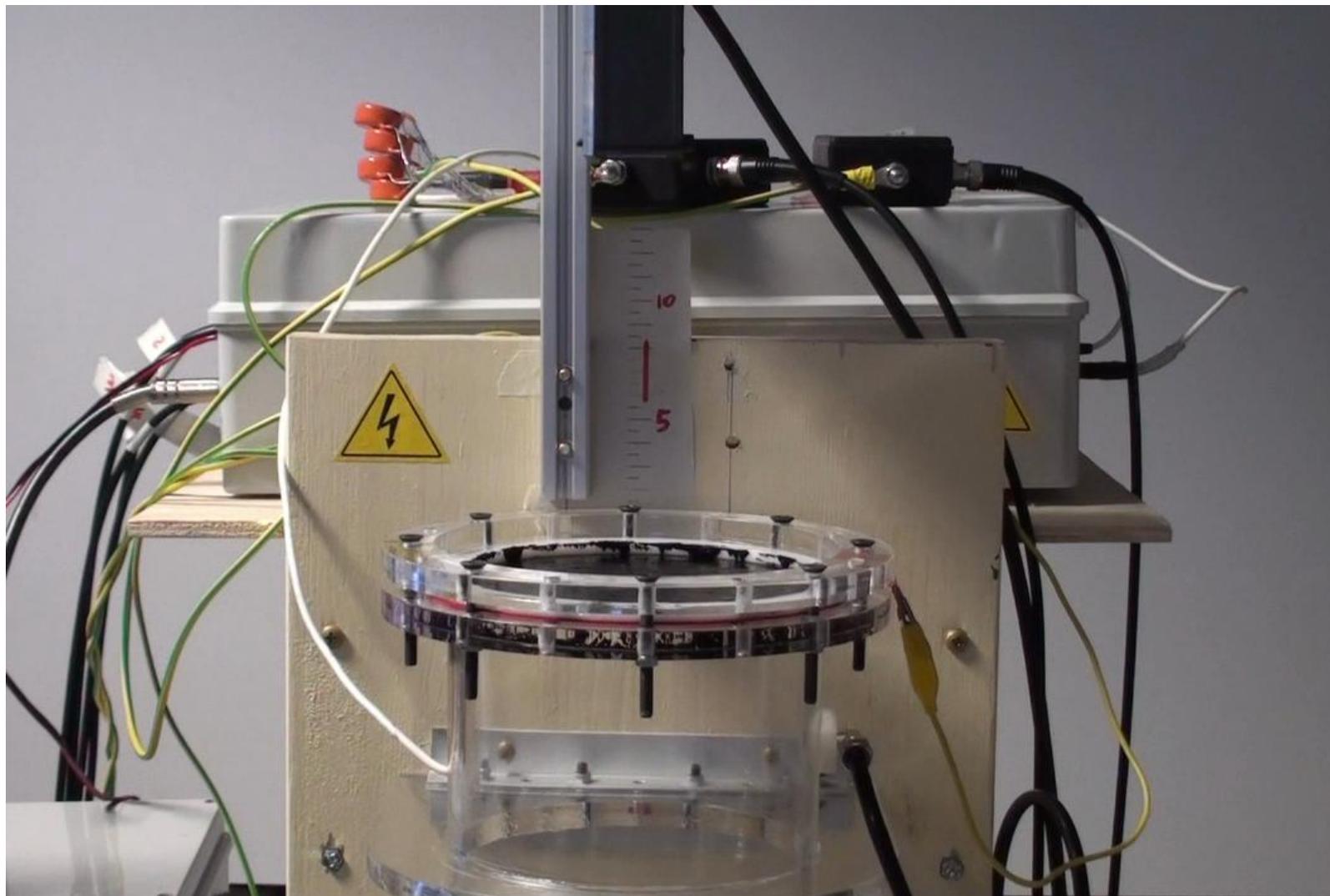
**Scuola Superiore  
Sant'Anna**  
di Studi Universitari e di Perfezionamento



# Progettazione e costruzione del prototipo 'on-shore' REWEC-VG (REWEC-Variable Geometry) e nuovo Power Take Off ad elastomeri



# Progettazione e costruzione del prototipo 'on-shore' REWEC-VG (REWEC-Variable Geometry) e nuovo Power Take Off ad elastomeri



## Conclusioni

- E' stato realizzato ed installato in mare un REWEC a geometria variabile in collaborazione con l'Università di Reggio Calabria.
- E' stata realizzata una simulazione CFD del REWEC per la produzione di energia elettrica.
- Vista la complessità della simulazione è stato necessario utilizzare un'elevata potenza di calcolo (256 processori) forniti da CRESCO.
- Le simulazioni sono state effettuate considerando come input un'onda sinusoidale ed applicando una pressione variabile sulla superficie di ingresso/uscita dell'acqua di mare.
- E' stato studiato il nuovo Power Take Off ad elastomeri ed è stato testato in laboratorio.

## Attività future

- Validazione ed ottimizzazione del modello attraverso il confronto dei risultati ottenuti con i dati ottenuti dalle prove sperimentali in campo.
- Ulteriori approfondimenti e test sull'utilizzo delle membrane ad elastomeri elettroattivi.

# Grazie per l'attenzione

Valeria Russo  
[valeria.russo@enea.it](mailto:valeria.russo@enea.it)