



Ricerca di Sistema elettrico

# Analisi fluidodinamica CFD su dispositivi a colonna d'acqua oscillante OWC - Fase 2: Confronto tra risultati numerici e risultati sperimentali

D. Nicolini, A. Fontanella, E. Giovannini

Report RdS/PAR2013/174

ANALISI FLUIDODINAMICA CFD SU DISPOSITIVI A COLONNA D'ACQUA OSCILLANTE OWC - FASE 2 :  
CONFRONTO TRA RISULTATI NUMERICI E RISULTATI SPERIMENTALI

D. Nicolini, A. Fontanella, E. Giovannini (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: Analisi fluidodinamica CFD su dispositivi a colonna d'acqua oscillante OWC

Responsabile del Progetto: G. Sannino, ENEA

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DATI SPERIMENTALI.....	6
3 SIMULAZIONE CFD.....	8
4 CONFRONTO.....	10
5 CONCLUSIONI.....	14
6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	15

## Sommario

Il Piano Annuale di Attuazione 2013 (PAR 2013) dell'Accordo di Programma tra Ministero per lo Sviluppo Economico e l'ENEA per la Ricerca sul Sistema Elettrico, relativamente al progetto B.1.5 "Studi e valutazioni sulla produzione di energia elettrica dalle correnti marine e dal moto ondoso" e all'Obiettivo c) "Analisi fluidodinamica CFD su dispositivi a colonna d'acqua oscillante OWC", prevede l'emissione dei seguenti due rapporti:

1. Ottimizzazione del modello CFD
2. Confronto tra i risultati delle simulazioni con le misure sperimentali.

Il presente documento si riferisce al secondo rapporto, e descrive le attività svolte dall'ENEA, riguardanti il confronto tra i risultati sperimentali forniti dall'Università di Reggio Calabria e quelli ottenuti dalla simulazione CFD del sistema, utilizzando il nuovo modello ottimizzato.

Anche in questo caso, come nel caso dell'ottimizzazione del modello, il lavoro ha comportato un significativo impiego di risorse di calcolo sul sistema CRESCO.

## 1 Introduzione

Lo sviluppo delle moderne tecnologie energetiche non può prescindere dall'utilizzo di modelli di calcolo sempre più sofisticati. In particolare nel campo della fluidodinamica i codici CFD e i sistemi di calcolo ad alte prestazioni consentono di affrontare problemi di notevole complessità e soprattutto consentono di approssicare il problema in modo più aderente alla realtà, secondo le tre dimensioni spaziali, oltre che nella sua evoluzione nel tempo.

A fronte di queste interessanti possibilità, si pongono tuttavia una serie di problemi aggiuntivi, in conseguenza della grande mole di calcoli che comporta questo tipo di elaborazioni. Si rende quindi indispensabile una fase di ottimizzazione, in quanto la risorsa "tempo di calcolo", oggi sicuramente più abbondante rispetto al passato, comporta comunque un costo non trascurabile e i tempi di attesa per ottenere i risultati possono costituire un problema nei frequenti casi in cui si rende necessario esaminare diverse situazioni in fase di costruzione dei dispositivi o per attività che si svolgono in parallelo con le attività sperimentali.

Il lavoro di confronto tra i dati sperimentali e i dati ottenuti dalle simulazioni CFD ha lo scopo di validare il modello numerico sviluppato nel lavoro svolto nell'ambito del precedente PAR (RdS/2013/230) ed ottimizzato nel corso di questo anno (documento [2]).

Partendo da una prova sperimentale, condotta presso l'Università Mediterranea di Reggio Calabria, si procederà alla simulazione numerica del sistema, utilizzando come forzante il dato di pressione registrato sulla superficie di ingresso/uscita dell'acqua di mare, e successivamente si procederà al confronto tra i dati ottenuti sperimentalmente e quelli ottenuti dalla simulazione CFD.

## 2 Dati sperimentali

Nel presente capitolo sono riportati i risultati di una prova sperimentale condotta presso l'Università Mediterranea di Reggio Calabria.

I dati forniti per il confronto con le simulazioni CFD sono le registrazioni delle evoluzioni della pressione in due punti dell'apparato sperimentale, il primo in corrispondenza della superficie di ingresso/uscita dell'acqua di mare, che quindi corrisponde alla forzante che sarà successivamente inserita nelle simulazioni, il secondo in corrispondenza della copertura della camera interna, quindi nella zona occupata dall'aria.

Nella figura 2.1 è riportato il modello definitivo con l'indicazione della posizione dei due trasduttori di pressione. Il trasduttore di pressione 1 (superficie di ingresso/uscita dell'acqua) è posizionato alla distanza di circa 1.3 m dalla superficie di simmetria del modello (piano x-y contenente l'asse del tubo turbina [2]). Il trasduttore di pressione 2 (copertura camera interna) è posizionato alla distanza di circa 1.7 m dalla superficie di simmetria del modello (piano x-y contenente l'asse del tubo turbina [2]).

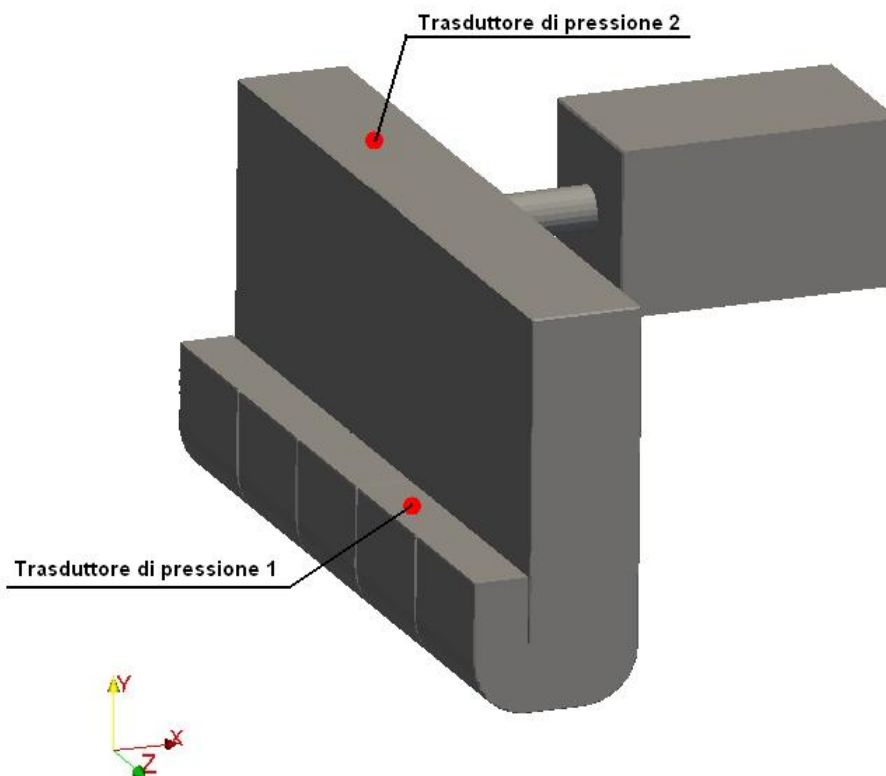


Fig. 2.1 – Modello definitivo con indicazione della posizione dei due trasduttori di pressione

Nella figura 2.2 è riportata l'andamento nel tempo della pressione registrata dal trasduttore di pressione 1, posizionato sulla superficie di ingresso/uscita dell'acqua di mare.

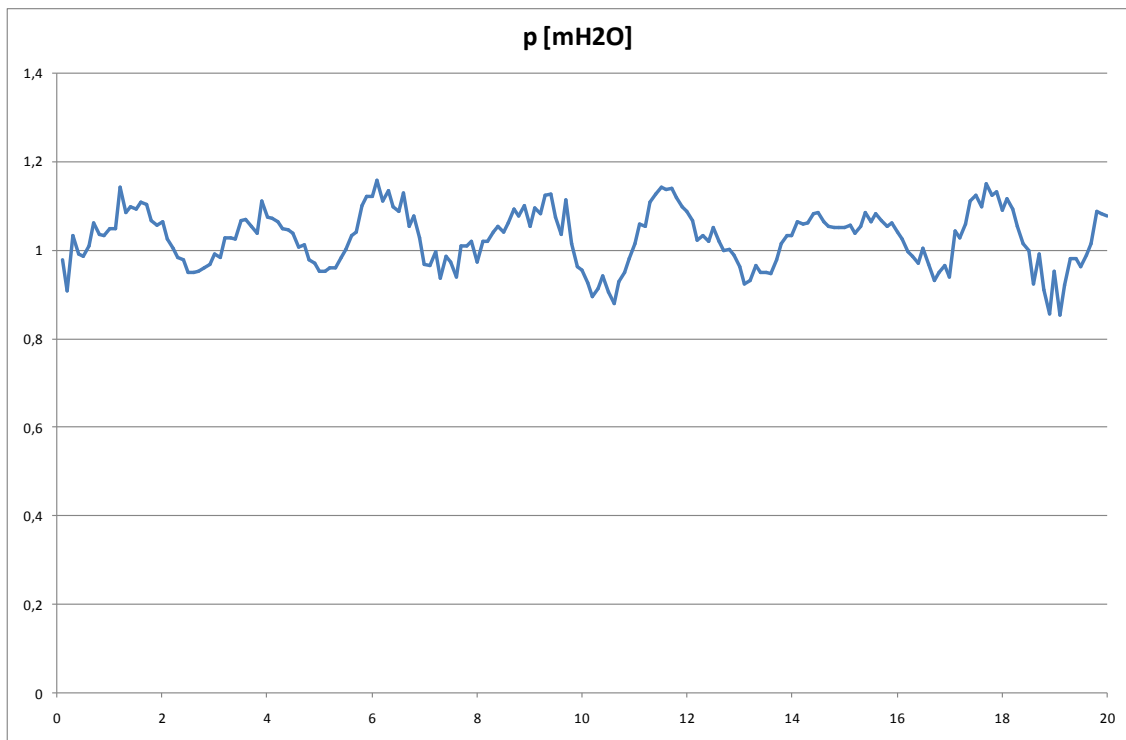


Fig. 2.2 – Andamento nel tempo di  $p$  registrata dal trasduttore di pressione 1 sulla superficie di In/Out dell'acqua di mare

Nella figura 2.3 è riportata l'andamento nel tempo della pressione registrata dal trasduttore di pressione, 2, posizionato in prossimità della copertura della camera interna del cassone, nella zona quindi occupata dall'aria.

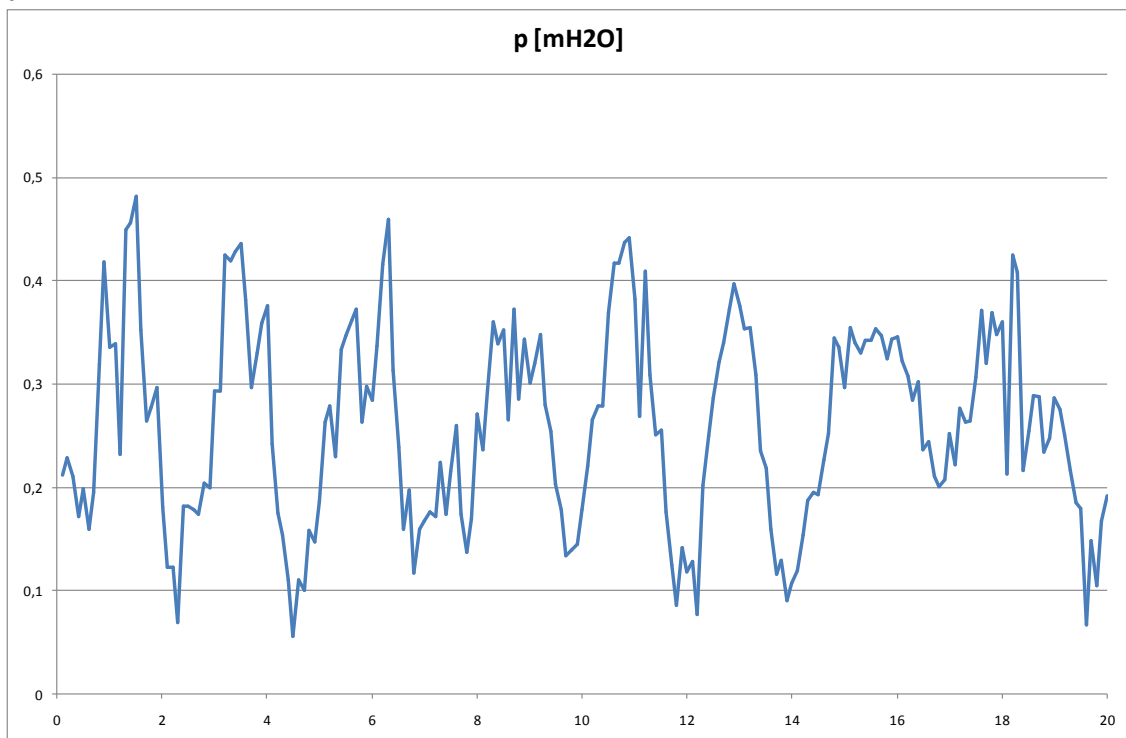


Fig. 2.3 – Andamento nel tempo di  $p$  registrata dal trasduttore di pressione 2 in prossimità della copertura della camera interna

### 3 Simulazione CFD

Nel presente capitolo sono riportati i risultati ottenuti dalla simulazione CFD utilizzando il nuovo modello sviluppato, riportato sul documento [2], e simulando le condizioni sperimentali riportate nel precedente capitolo 2.

La prova sperimentale ha fornito l'andamento nel tempo della pressione sulla superficie di ingresso/uscita dell'acqua, trasduttore di pressione 1. Questo dato è stato utilizzato per ottenere la forzante per la simulazione CFD.

Come ampiamente descritto nei documenti precedenti [1] [2], nel modello numerico la forzante è introdotta come evoluzione nel tempo della variabile p-rgh, quindi partendo dalla pressione p, ottenuta sperimentalmente, si è calcolato l'andamento nel tempo della variabile p-rgh:

$$p\text{-rgh} = P_{\text{sperimentale}} - (\rho_{\text{H2O mare}} \times g \times h) \quad \text{Pa}$$

con:

$$\rho_{\text{H2O mare}} = 1025 \text{ kg/m}^3;$$

$$g = -9.81 \text{ m/s}^2;$$

$$h = 1.22 \text{ m (quota del trasduttore di pressione 1 rispetto alla base del modello – pari a B1 [2])}.$$

Nel grafico di figura 3.1 è riportato l'andamento di p, in Pa, sulla superficie di ingresso/uscita dell'acqua e l'andamento di p-rgh, sempre in Pa, così ottenuto.

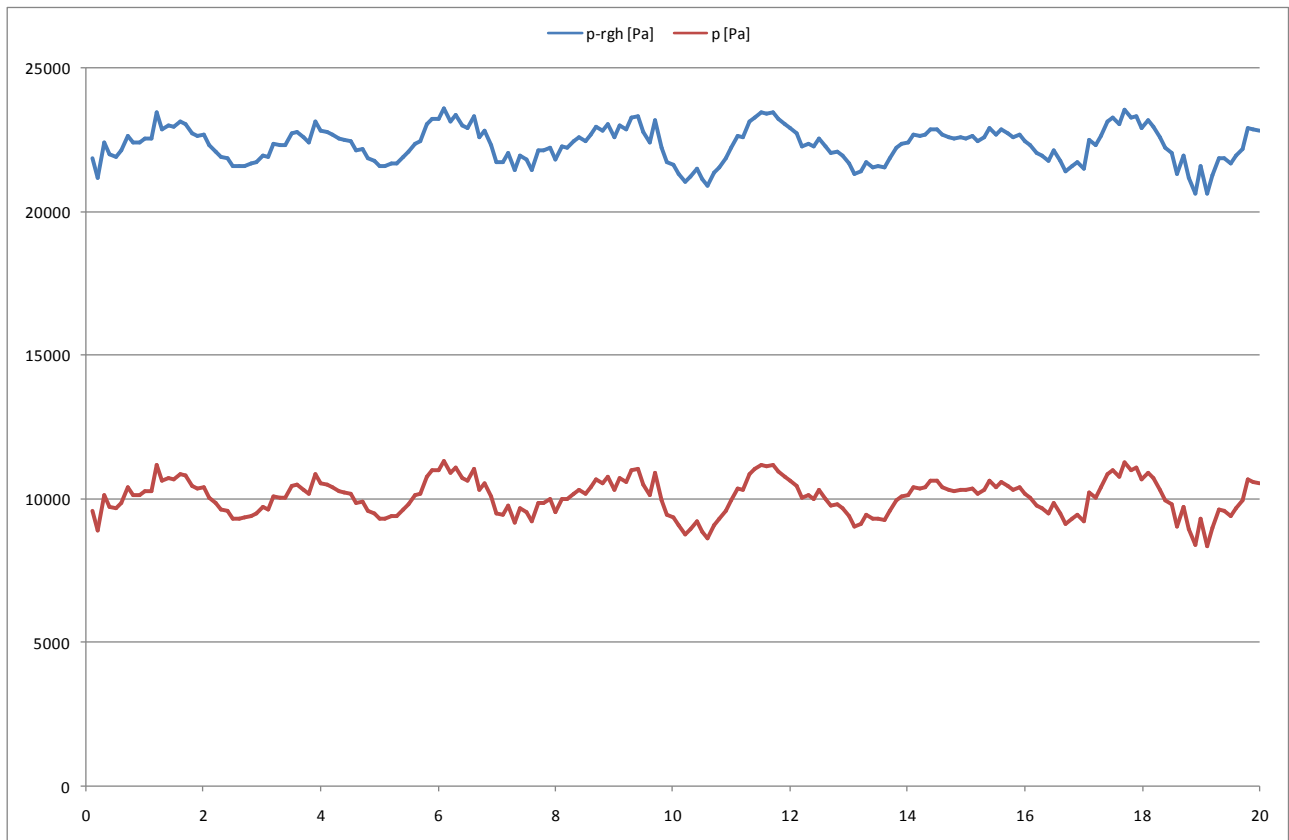


Fig. 3.1 – Andamento di p e di p-rgh – Trasduttore di pressione 1



Nel grafico di figura 3.2 è riportato l'andamento della pressione  $p$ , calcolata nella simulazione CFD, nel punto corrispondente alla posizione del trasduttore di pressione 2 (figura 2.1).

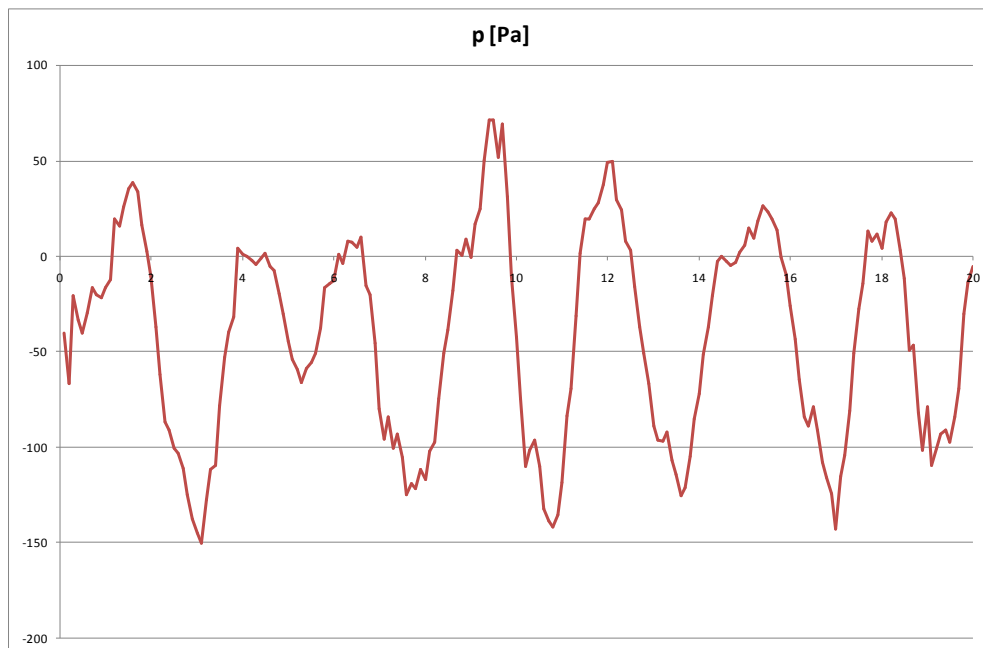


Fig. 3.2 – Andamento di  $p$ , calcolata numericamente, in corrispondenza della posizione del trasduttore di pressione 2

Nel grafico di figura 3.3 è riportato l'andamento della componente lungo l'asse  $x$  della velocità ( $U_x$ ) dell'aria calcolata al centro del tubo turbina, ad una distanza di 0.5 m dalla sezione di uscita dell'aria. Questo dato è stato riportato al solo scopo di mostrare il comportamento dinamico del modello numerico, ottenuto nella simulazione CFD.

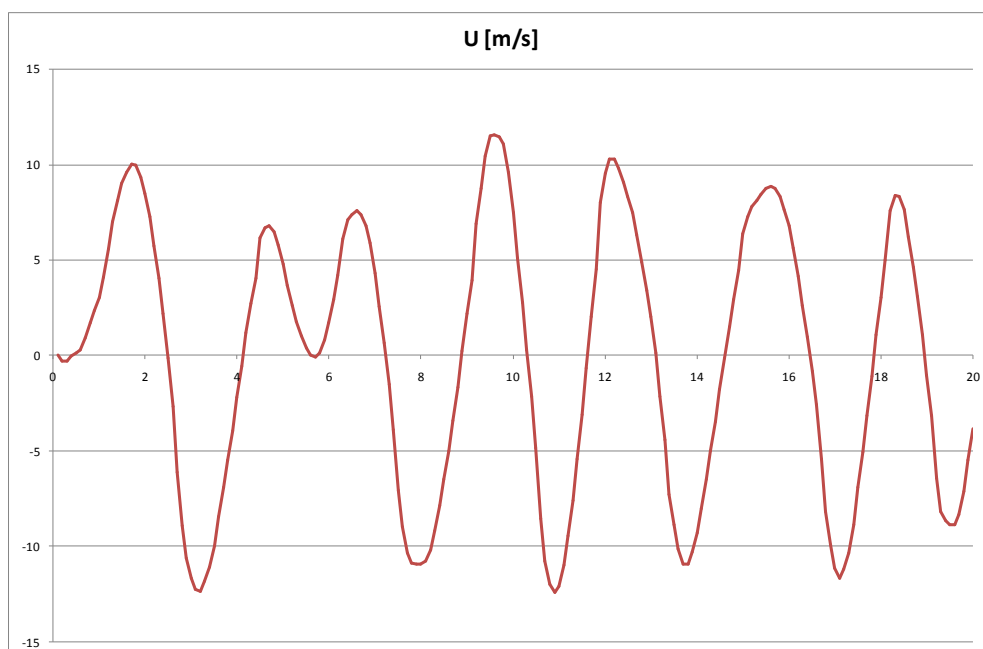


Fig. 3.3 – Andamento della componente lungo l'asse  $x$  della velocità ( $U_x$ ) dell'aria a 0.5 metri dalla sezione di uscita del tubo turbina

## 4 Confronto

Nel presente capitolo è riportato il confronto tra il dato sperimentale disponibile e il corrispondente risultato ottenuto dalla simulazione CFD.

Nel grafico di figura 4.1 è riportato l'andamento nel tempo della pressione  $p$  registrata dal trasduttore di pressione 2, in Pa.

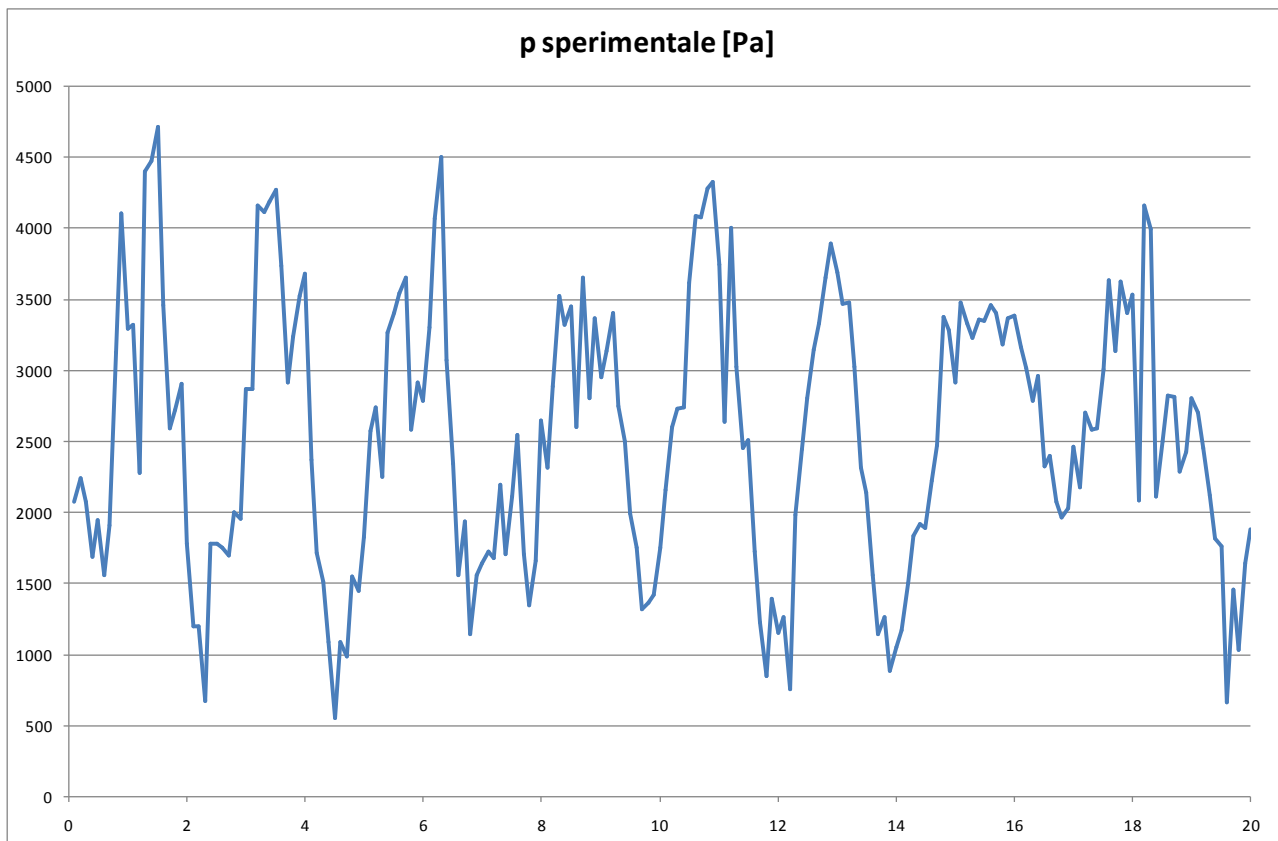


Fig. 4.1 – Andamento della pressione  $p$  sperimentale registrata dal trasduttore di pressione 2

Nel grafico di figura 4.2 sono riportate entrambe le pressioni  $p$  nella posizione corrispondente al trasduttore di pressione 2, per l'intero periodo di simulazione pari a 20s. In colore blu è riportata la pressione registrata sperimentalmente, mentre in colore rosso è riportata la pressione calcolata numericamente.

Nel grafico l'asse verticale di sinistra riporta i valori riferiti alla pressione calcolata, mentre l'asse verticale di destra riporta i valori riferiti alla pressione registrata sperimentalmente.

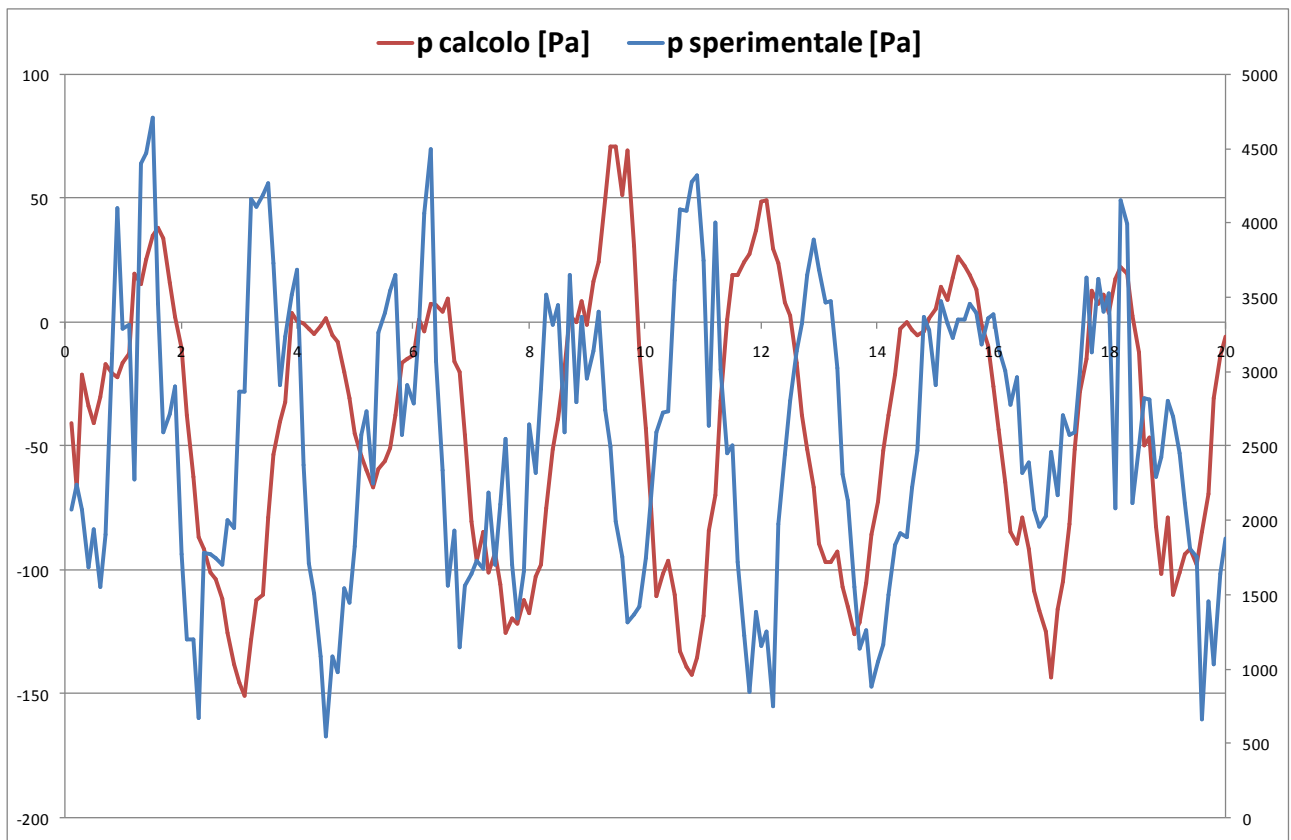


Fig. 4.2 – Andamento della pressione  $p$  calcolata e della pressione  $p$  sperimentale in corrispondenza del trasduttore di pressione 2

Nel grafico di figura 4.3 sono riportati gli stessi andamenti del grafico di figura 4.2, nell'intervallo temporale che va da 10s a 20s.

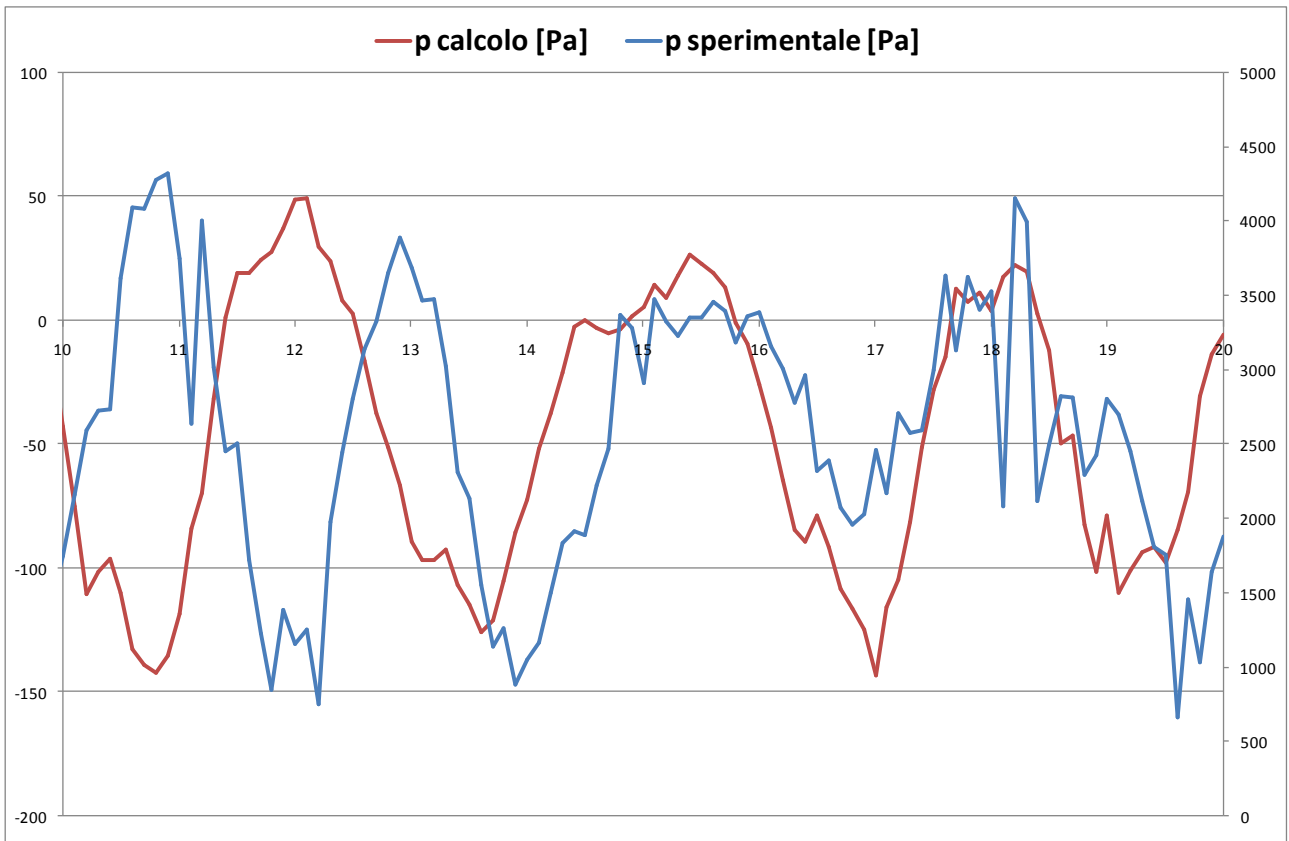


Fig. 4.3 – Andamento della pressione  $p$  calcolata e della pressione  $p$  sperimentale in corrispondenza del trasduttore di pressione 2, nell'intervallo di tempo da 10s a 20s

Nel grafico di figura 4.4 sono riportati gli stessi andamenti del grafico di figura 4.2, nell'intervallo temporale da 15s a 20s.

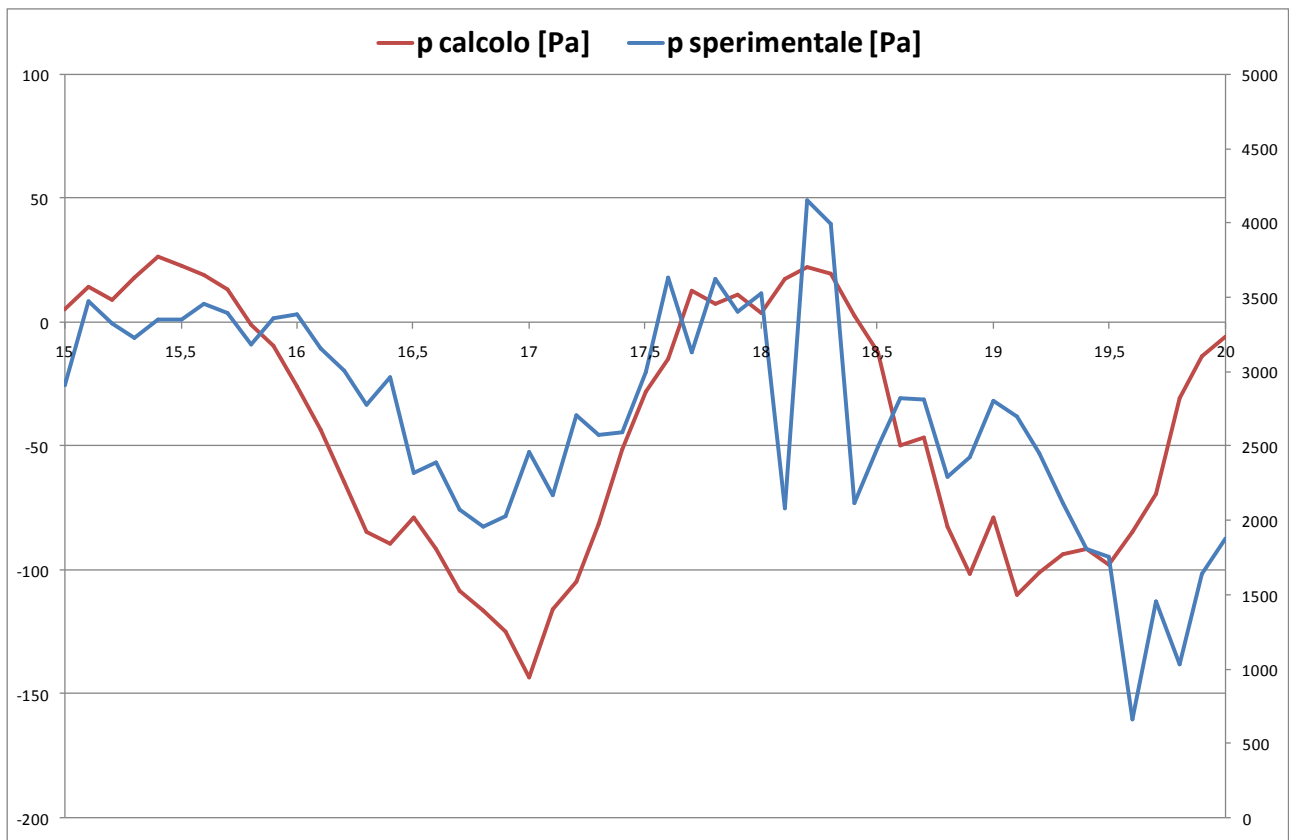


Fig. 4.4 – Andamento della pressione  $p$  calcolata e della pressione  $p$  sperimentale in corrispondenza del trasduttore di pressione 2, nell'intervallo di tempo da 15s a 20s

Come si può vedere dalla figura 4.2, dal punto di vista qualitativo, le due evoluzioni presentano un andamento che tende ad accordarsi verso la fine dell'intervallo temporale simulato, tale comportamento dimostra come il calcolo numerico necessiterebbe di un intervallo temporale di simulazione superiore per raggiungere la stabilità.

Il raggiungimento di questa stabilità è legato al fatto che il sistema sperimentale ed il sistema numerico, pur partendo dallo stesso tempo iniziale, non partono dalle stesse condizioni iniziali: il modello parte da una condizione di quiete, mentre quello sperimentale parte da una condizione reale non nota.

Per questo motivo, nel confronto qualitativo, che mostra un buon accordo, si considera solo la fase finale dell'intervallo temporale simulato (figura 4.3 e figura 4.4).

Dal punto di vista quantitativo, focalizzando l'attenzione sempre solo sulla fase finale, la differenza tra il valor medio dei dati numerici e sperimentali è legata al fatto che la pressione atmosferica del modello è stata posta pari a 0 Pa (si è quindi considerata solo la pressione relativa).

La forte variazione delle fluttuazioni della pressione sperimentale, può dipendere dal fatto che la pressione registrata dal trasduttore potrebbe essere fortemente influenzata da fenomeni dinamici.

## 5 Conclusioni

Nel presente documento è riportato il lavoro svolto dall'ENEA per il confronto tra i dati sperimentali, forniti da una prova condotta presso l'Università Mediterranea di Reggio Calabria, ed i dati ottenuti dalle simulazioni CFD, utilizzando il modello numerico sviluppato nel lavoro svolto nell'ambito del precedente PAR (RdS/2013/230) ed ottimizzato nel corso di questo anno (documento [2]).

Si è proceduto alla simulazione numerica del sistema, utilizzando come forzante il dato di pressione registrato sperimentalmente sulla superficie di ingresso/uscita dell'acqua di mare, e successivamente si è proceduto al confronto tra i dati sperimentali forniti e quelli ottenuti dalla simulazione CFD.

Il confronto dei risultati ha dimostrato che, da un punto di vista quantitativo, i risultati calcolati e quelli sperimentali presentano delle forti discordanze dovute presumibilmente al fatto che il modello CFD non può tenere conto di fenomeni dinamici, che possono essere anche legati a variazioni atmosferiche, i quali influenzano invece le misurazioni sperimentali.

Dal punto di vista qualitativo i risultati del modello numerico e quelli sperimentali presentano un buon accordo verso la fine del periodo temporale simulato a dimostrazione della bontà del modello numerico sviluppato.

## 6 Riferimenti bibliografici

1. T. Crescenzi, D. Nicolini, A. Fontanella, L. Sipione, "Sviluppo di un modello numerico per simulazioni CFD di sistemi di conversione del moto ondoso tipo U-OWC (Oscillating Water Column)", Report Ricerca di Sistema Elettrico, Report RdS/2013/230, Settembre 2013.
2. D. Nicolini, A. Fontanella, E. Giovannini, "Analisi fluidodinamica CFD su dispositivi a colonna d'acqua oscillante OWC – Fase 1 : Messa a punto del modello CFD sulla base della geometria definitiva dell'apparato U-OWC sperimentale", Report Ricerca di Sistema Elettrico, Report RdS/PAR2013/173, Settembre 2014.