



**C.U.G.R.I.**  
Consorzio inter-Universitario  
per la Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi  
Università di Salerno - Università di Napoli "Federico II"



**Atti del Seminario  
"ENERGIA DAL MARE"  
Mercoledì 29 Giugno 2016 - Ore 14  
Aula Magna dell'Università Parthenope, Via Acton 38 Napoli**

# **Energia dalle correnti marine: una nuova opportunità per l'Italia**

**Francesco Salvatore, Fabio Di Felice**  
*Unità Energia Rinnovabile dal Mare*  
**CNR-INSEAN, Roma**

E-mail: [francesco.salvatore@cnr.it](mailto:francesco.salvatore@cnr.it), [fabio.difelice@cnr.it](mailto:fabio.difelice@cnr.it)

- Energia dalle correnti marine
- Lo stato dell'arte
- Lo scenario nel Mediterraneo ed in Italia
- Attività recente al CNR-INSEAN
- Conclusioni e prospettive



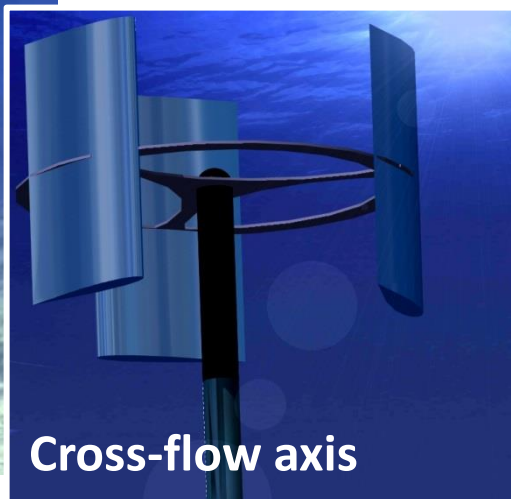
Meygen tidal array – Atlantis Resources

- Due tipologie di correnti:
  - ✓ **Di marea** (inversione ciclica del verso, vicino la costa)
  - ✓ **Oceaniche** (mono-direzionali, in alto mare)
- Tre principali tipi di sistemi di conversione dell'energia cinetica in energia meccanica ed elettrica (analogia con vento)

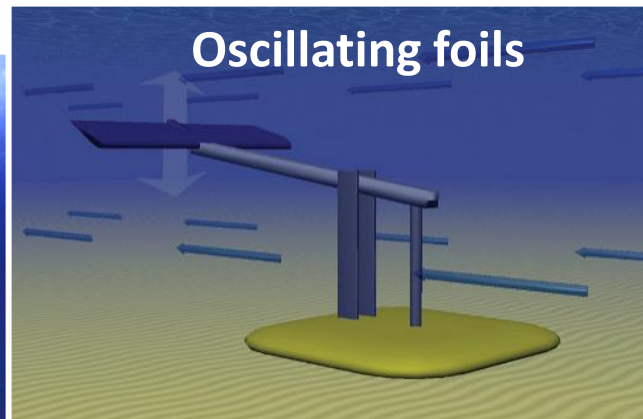
Horizontal axis



Cross-flow axis



Oscillating foils



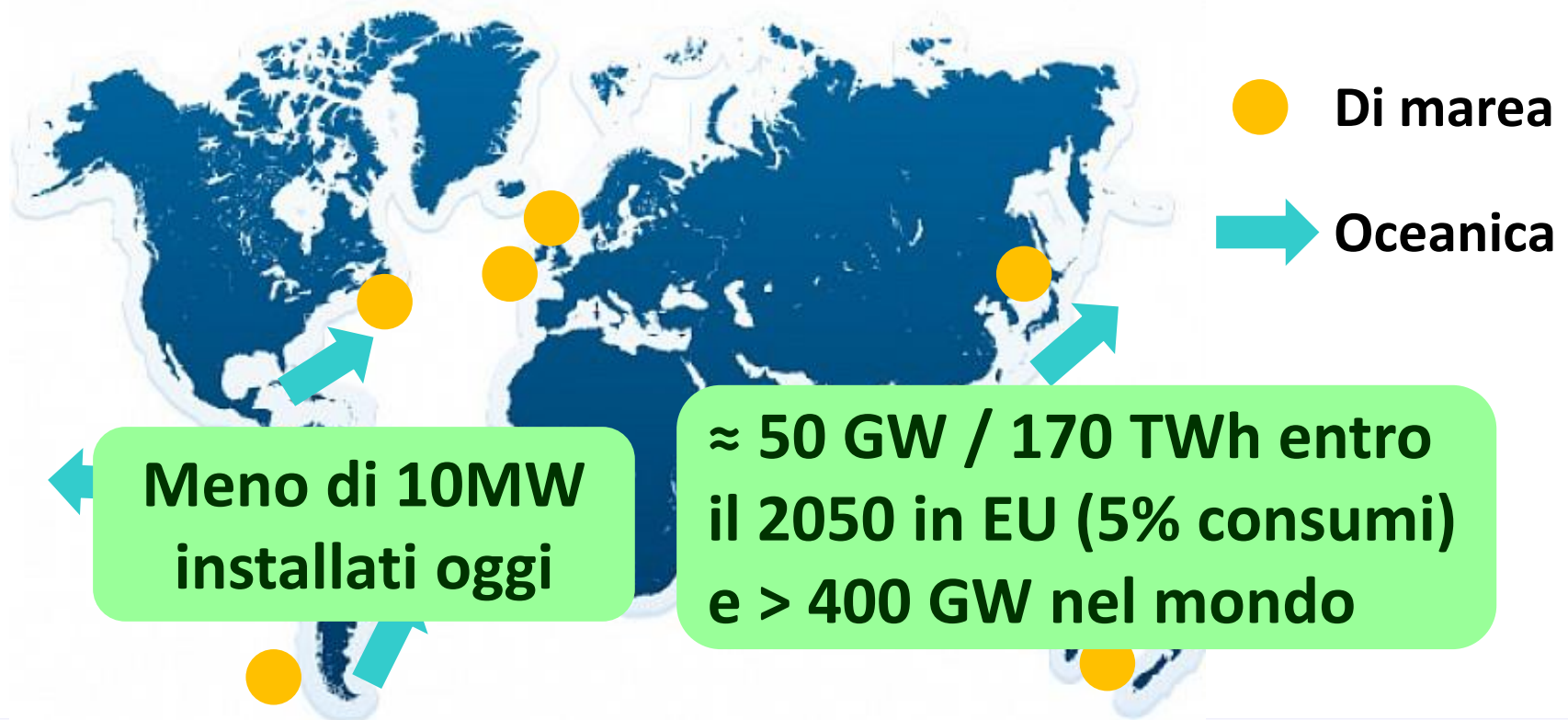
# Energia dalle correnti

- Meno diffusa di quella da vento ed onde ma **100% prevedibile**
- Risorsa **compatta**: rotore con  $D=16\text{ m} \Rightarrow 1\text{MW}$  (eolico: oltre 55m)
- Sistemi di conversione immersi: **minimo impatto**



# Energia dalle correnti

- Meno diffusa di quella da vento ed onde ma **100% prevedibile**
- Risorsa **compatta**: rotore con  $D=16\text{ m} \Rightarrow 1\text{ MW}$  (eolico: oltre 55m)
- Sistemi di conversione immersi: **minimo impatto**



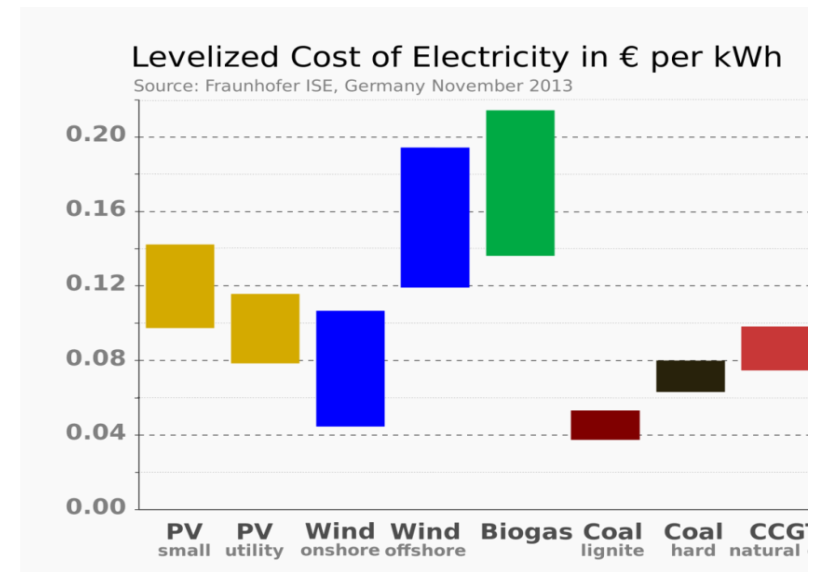


# Alcuni esempi



# La sfida tecnologica

- Fase pre-commerciale: **tidal** 5 anni avanti **waves** (ref: TP-Ocean)
- Carenza di dati per stime accurate dei costi (CAPEX, OPEX) ed attirare investimenti privati
- **Necessarie attività R&D su:**
  - ✓ Sistemi ad elevata produzione
  - ✓ Verifica su prototipi della affidabilità e durata in condizioni operative reali
  - ✓ Materiali
  - ✓ Grid-connection
  - ✓ Standards, certificazione
  - ✓ Supply-chain, logistica



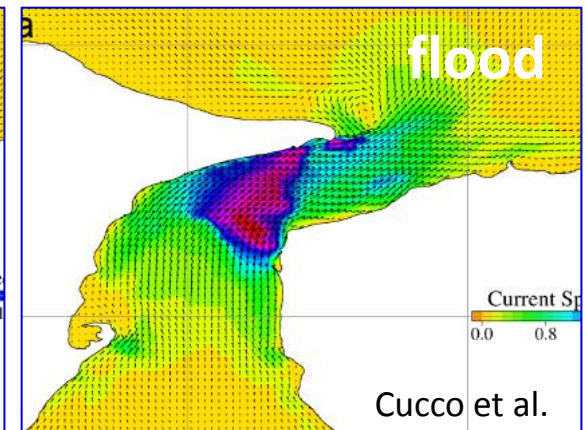
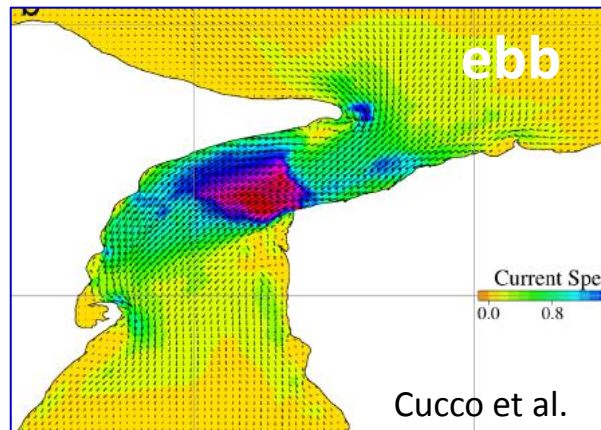
LCoE for tidal energy to be reduced to at least 0.20 €/kWh in 2020, 0.12 in 2025, down to 0.07 by 2030 (fonte: EC-Set Plan Secretary 2016)

# E nel Mediterraneo?

- Risorsa limitata: gli stretti forniscono siti di qualche interesse
- **Messina:** studio CNR (*Cucco et al., 2016*) su risorsa energetica e studio ENEA (*Sannino et al., 2013*) su produttività di un array

## Esempio:

- $V_{max} = 2.9$  m/s
- 2400 ore/anno
- Estensione  $0.5$  Km<sup>2</sup>
- Fino a 20 unità

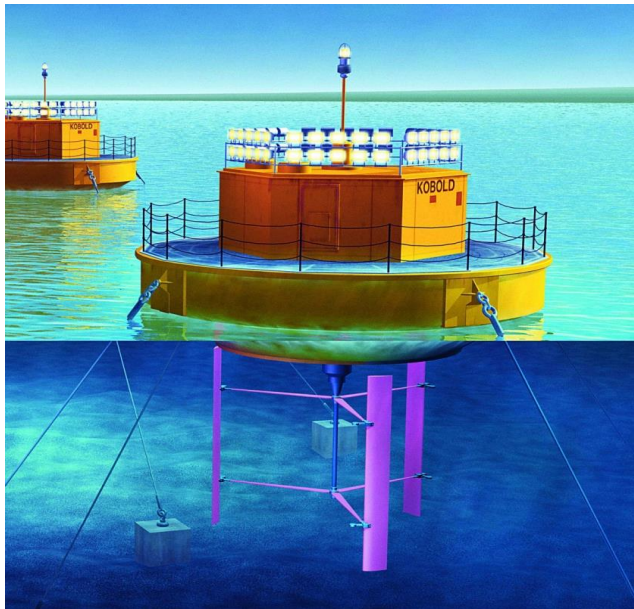


- Potenza installata complessiva di circa 20 MW (1 MW/unità)
- Produzione fino a 50 GWh/anno (varie tecnologie a confronto)
- Sfruttamento del sito condizionato da intense attività umane



# E nel Mediterraneo?

- Risorsa limitata: per contro, notevole attività di sviluppo da parte di Università, centri di ricerca e piccole aziende italiane
- Due esempi di iniziative nazionali di livello internazionale



**Turbina Kobold  
(Ponte di Archimede SpA)**



**GEM, aquilone del mare  
(Morrone & Coiro, ADAG-Uni NA F. II)**

# Un ruolo per l'Italia

- Come nel caso dell'energia da vento ed onde, l'Italia dimostra di avere una **filiera completa** per sviluppo e progettazione di sistemi innovativi per l'energia dalle correnti
- R&D in Italia per investire nei paesi **dove la risorsa esiste**:
  - ✓ orizzonte europeo per la ricerca
  - ✓ orizzonte globale per l'industria
- Lo stretto di Messina: **test site ideale** (sia per correnti che onde)
- una grande opportunità per **progetti pilota e ricerca pre-industriale**



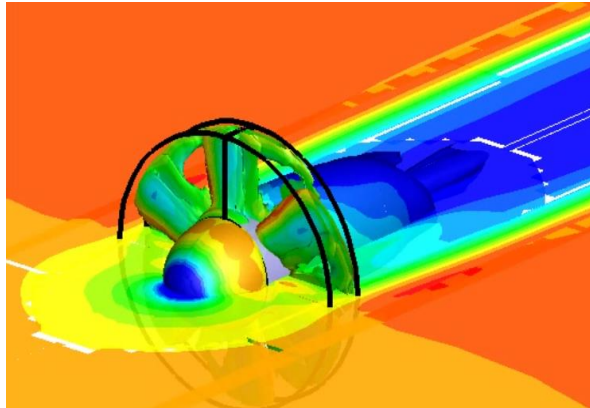
- Istituto di ricerca attivo in vari settori delle tecnologie marine (tematiche in ambito **Blue Growth**):
  - ✓ **Trasporti**
  - ✓ **Strutture offshore**
  - ✓ **Energia rinnovabile dal mare**
- Una storia che parte da lontano:
  - ✓ **1927**: fondata come bacino di prova della Marina Militare
  - ✓ **1985**: Ente Pubblico di Ricerca
  - 2010**: Entra nel Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)





- Nel campo delle rinnovabili dal mare ed in particolare su energia dalle correnti, i principali ambiti di ricerca riguardano:

- Comprensione dei meccanismi di conversione dell'energia
- Sviluppo strumentazione dedicata
- Standardizzazione delle prove



- Sviluppo e validazione di modelli CFD per analisi, design ed ottimizzazione
- Creazione di database per la validazione dei modelli numerici



# Prove di turbine in vasca

- Due bacini di grandi dimensioni per le prove di modelli di grande scala sia in acqua calma che in onde

- **Bacino Pugliese:**

- ✓ 460 x 13.5 x 6.5 m
- ✓ Vel. max. 10 m/s

- **Bacino Castagneto:**

- ✓ 220 x 9 x 3.5 m
- ✓ Vel. max. 10 m/s
- ✓ Onde regolari/irregolari, 1-10 m (L), 100-450 mm (H)
- ✓ Wind-maker, 12 fan, velocità tra 0 e 20 m/s



Carro dinamometrico in azione nel bacino Pugliese

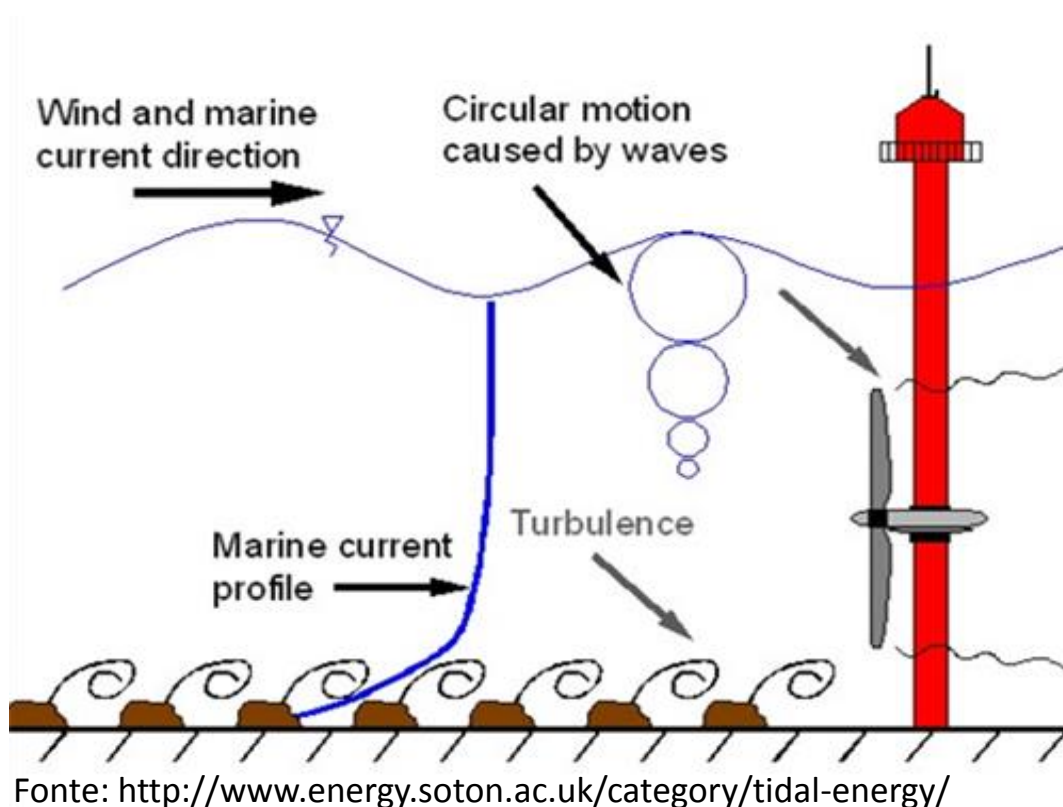
- Il canale di circolazione INSEAN è tra i più grandi nel suo genere per prove di turbine

- ✓ Sezione di prova:
  - ✓ 10 x 3.6 x 2.2 m
- ✓ Velocità max. 5 m/s
- ✓ Modi operativi:
  - ✓ Vena aperta o chiusa
  - ✓ Superficie libera
- ✓ Depressione fino a 35 Pa
- ✓ Turbolenza flusso 3-5 %



# Condizioni operative reali

- La vera sfida consiste nello sperimentare e modellare le turbine in condizioni veramente rappresentative di quelle reali dove il flusso in ingresso alle turbine presenta non-omogeneità e non-stazionarietà dovute a varie cause

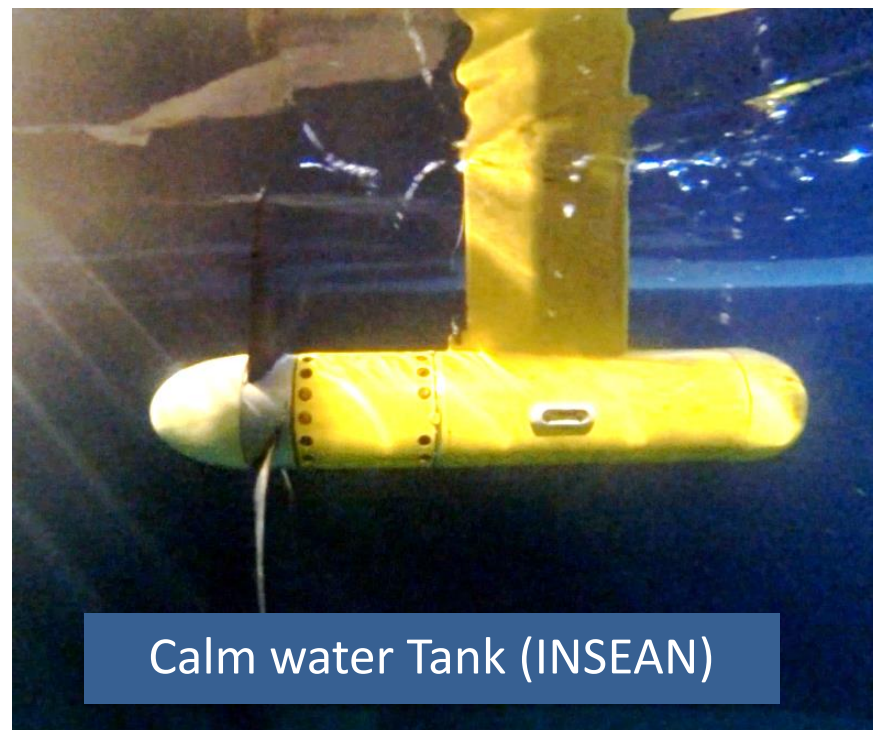


- Inversione del ciclo di marea
- Corrente ed asse rotore disallineati
- Moti ondosi  
Batimetria ed asperità dei fondali
- Interferenza tra rotori (negli array)
- Interazione tra rotore e strutture di supporto



# Prove in mare o in vasca?

- Anche se non è possibile riprodurre in modo completo la complessità della fenomenologia di un sito in mare, la sperimentazione in bacino consente di caratterizzare i dispositivi in un ambiente rigorosamente controllato ed in condizioni operative perfettamente riproducibili

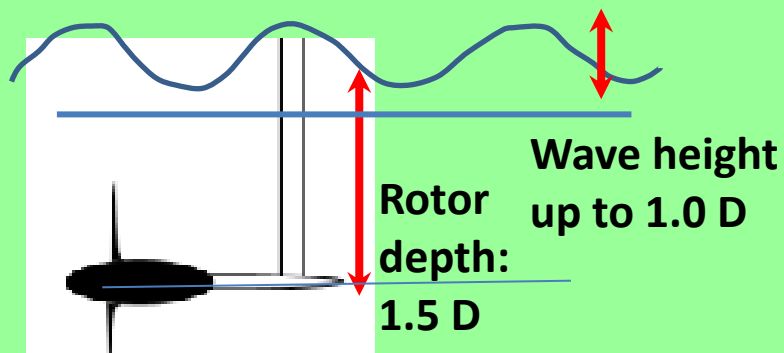




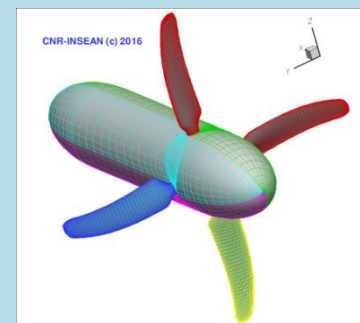
# Interazione onde/correnti

- I moti ondosi generano fluttuazioni della velocità del flusso che investe la turbina provocando carichi dinamici su pale e strutture
- L'effetto è modesto sui carichi medi ma si osservano forti fluttuazioni dei carichi che possono danneggiare a fatica pale e componenti

- Esperienza all'INSEAN con prove su modello di diametro 500 mm
- Collaborazione con Università Cardiff e Strathclyde (U.K), nel progetto EU-FP/ MaRINET (2015)

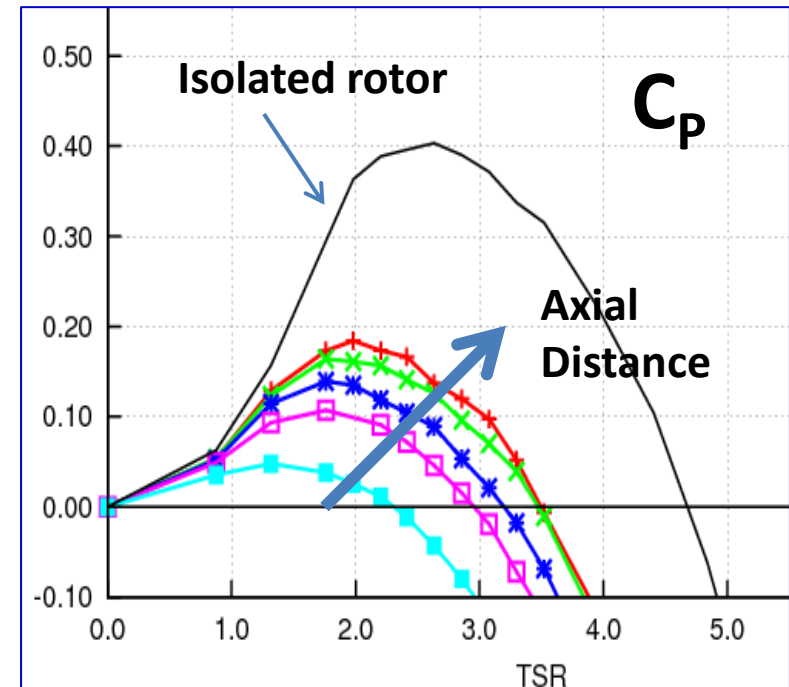


- Attività in corso: Progetto **ULYSSES**
- modello di turbina per ricerca interamente progettato all'INSEAN
- Pale a passo variabile
- Sensori per misura carichi 6-GdL su pala isolata
- Vari set di pale
- Geometria *CFD-friendly*



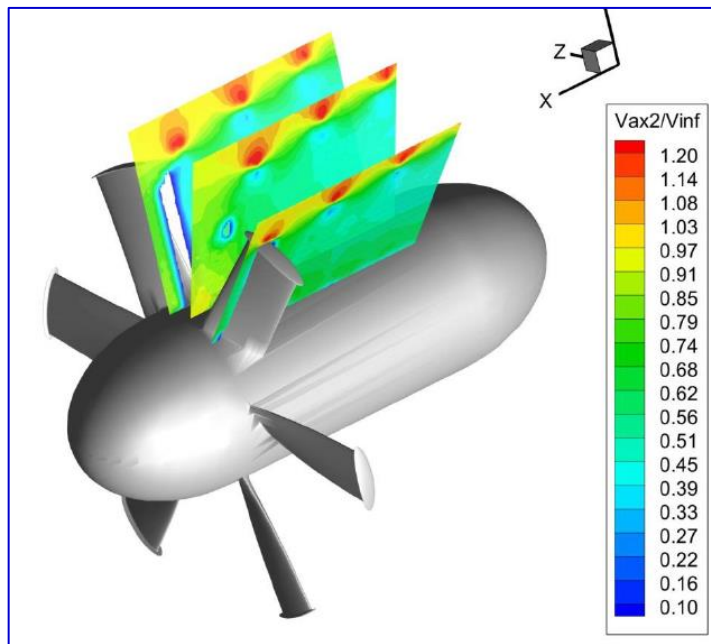
# Interazione tra turbine

- Come per l'eolico, la riduzione del costo dell'energia prodotta (LCoE) impone l'installazione di schiere di turbine (*tidal arrays*)
- Fondamentale lo studio delle interazioni tra rotori per determinare la perdita di potenza dei rotori in scia: campagna di misure all'INSEAN nel 2015
- Collaborazione con francese SABELLA SaS, progetto EU-FP7 MaRINET

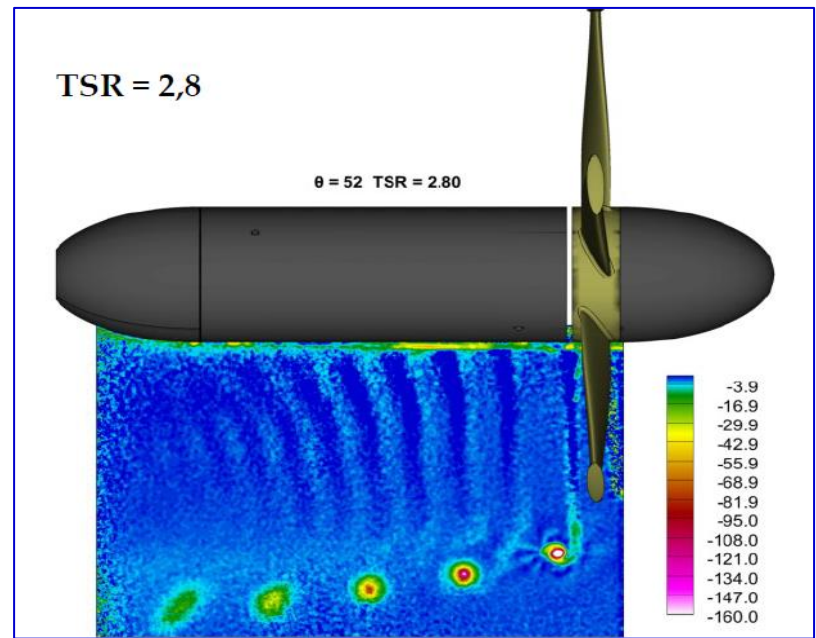


# Studio delle scie dei rotori

- Circa 20 anni di esperienza per l'analisi del flusso attorno a carene e propulsori trasferito alle turbine marine
- Laser-Doppler Velocimetry (LDV) e Particle Image velocimetry (PIV) per studiare in dettaglio velocità, vorticità, turbolenza nelle scie



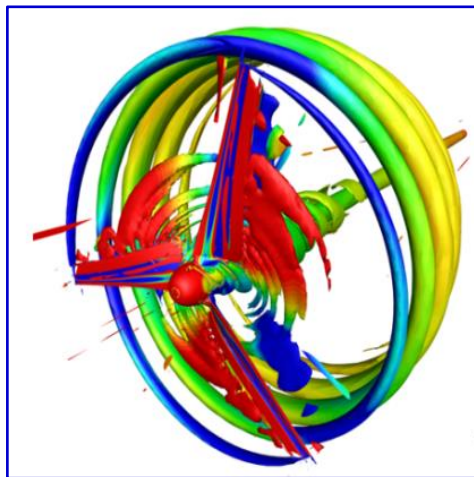
**LDV: axial velocity**



**Stereo-PIV: turbulence**

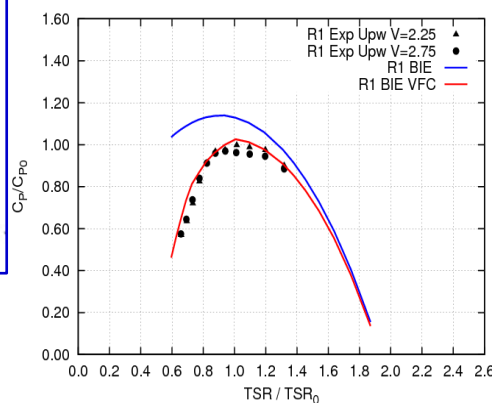
# Modelli computazionali

- I risultati delle prove sperimentali sono elaborati in database per validare i modelli CFD sviluppati in sede all'INSEAN
- Modelli derivati da codici estesamente validati per propulsori navali
- Adattati al problema: **design-oriented** Vs. **numerical experiments**

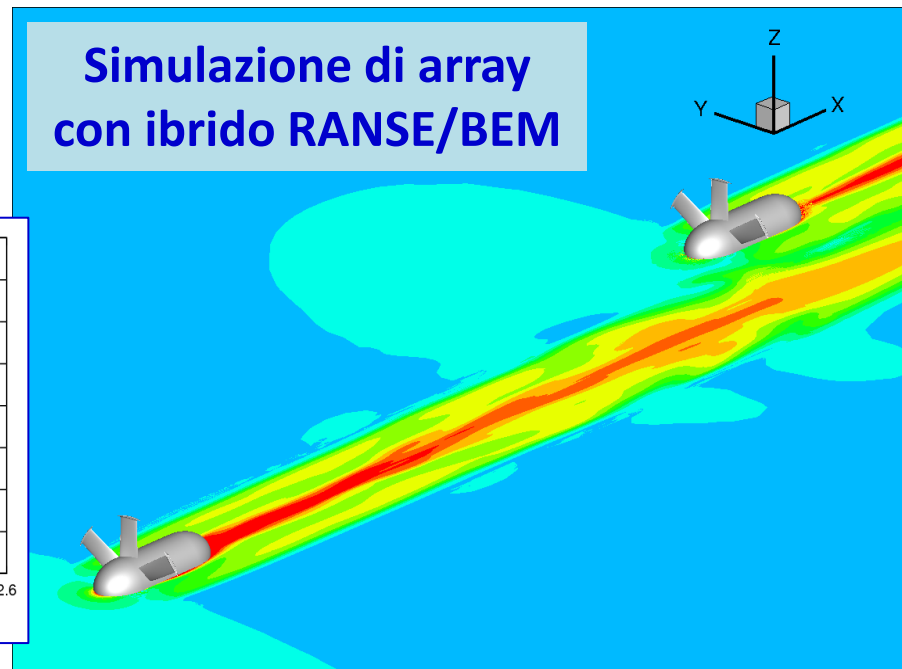


Analisi RANSE  
scia di turbina

## Stima BEM delle prestazioni



## Simulazione di array con ibrido RANSE/BEM





## Lavori pubblicati sul tema energie rinnovabili dal mare

- Gaurier, B., Germain, G., Facq, J.V., Johnstone, C.M., Grant, A.D., Day, A.H., Nixon, E., Di Felice, F., Costanzo, M. "Tidal Energy Round Robin Tests: comparisons between towing tank and circulating tank results." *Int. Journal of Marine Energy*, Vol. 12, pp. 87-109, 2015. [doi:10.1016/j.ijome.2015.05.005](https://doi.org/10.1016/j.ijome.2015.05.005)
- Morandi B., Di Felice, F., Costanzo, M., Romano, G.P, Dhomé, D., Allo, J.-C.,. "Experimental investigation of the near wake of a horizontal axis tidal current turbine." *Int. Journal of Marine Energy*, [Volume 14](#), June 2016, Pages 229–247. [doi:10.1016/j.ijome.2016.02.004](https://doi.org/10.1016/j.ijome.2016.02.004)
- Jeffcoate, Salvatore, F., Elsaesser, B., Boake, C., P., Effect of submergence on tidal turbine performance. 11<sup>th</sup> EWTEC Conference, Nantes, France, settembre 2015.
- Salvatore, F., Bellotto, F., Calcagni, D., Di Felice, F., Dhomé, D., Allo, J.-C. Validation of a computational hydrodynamics model for horizontal-axis marine current turbines. 11<sup>th</sup> EWTEC Conference, Nantes, France, settembre 2015.
- Zaghi, S., Muscari, R., Di Mascio, A. Assessment of blockage effects in wind tunnel testing of wind turbines, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, June 2016
- Calabretta, A. et al. (2015), "Assessment of a FEM-based Formulation for Horizontal Axis Wind Turbine Rotors Aeroelasticity," *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 798 (2015), pagg. 75-84.
- Calabretta, A. et al. (2015), "Finite Element Analysis of Horizontal Axis Wind Turbines Performance," 6<sup>th</sup> *International Conference on Computational Methods in Marine Engineering (MARINE 2015)*.
- Greco, L. et al. "Effectiveness of a GNG-based MPPT and related Control System for Marine Current Turbines in Unsteady Operating Conditions," *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE2015)*.
- E. Marino, H. Nguyen, C. Lugni, L. Manuel, and C. Borri. "Irregular Nonlinear Wave Simulation and Associated Loads on Offshore Wind Turbines". In: *J. Offshore Mech. Arct. Eng.* 137.2 (2015), 9. doi: {10.1115/1.4029212}
- Ling Wan, Zhen Gao, Torgeir Moan, and Claudio Lugni. "Comparative experimental study of the survivability of a combined wind and wave energy converter in two testing facilities". In: *Ocean Engineering* 111 (2016), pp. 82 –94. issn : 0029-8018. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.10.045>

# Conclusioni ...

- I prossimi anni vedranno un enorme sforzo in EU per investimenti nel settore MRE
- Energia dalle correnti ha oggi il maggior grado di maturazione tecnologica
- Grande attenzione in Italia sia dalla ricerca che dall'industria
- L'esempio dell'INSEAN
- Una opportunità per le imprese nel mercato globale e per nuovi posti di lavoro



Fonte: EMEC/Ocean Energy Europe

- Nel quadro dello sviluppo delle rinnovabili dal mare (vento, onde, correnti) assumono particolare significato alcune iniziative in cui il CNR-INSEAN è coinvolto:

## Programma di collaborazione tra CNR ed ENEL Green Power

- ✓ Assessment di tecnologie innovative (onde e correnti)

## MARINET II (H2020, under evaluation)

- ✓ Segue FP7-MaRINET: standards, Research, training, education
- ✓ E-infrastructure, **Trans-national Access**

## MARINERG-I (H2020, under evaluation)

- ✓ EU Distributed infrastructure on Marine Renewables (ESFRI Roadmap)

# Energia dalle correnti marine: una nuova opportunità per l'Italia

Francesco Salvatore & Fabio Di Felice

CNR-INSEAN, Roma

francesco.salvatore@cnr.it, fabio.difelice@cnr.it

## ..... grazie per l'attenzione

Attività co-finanziate  
nell'ambito dei progetti  
EU-FP7 MaRINET e Progetto  
Regione Lazio RESMARE



Courtesy Queen's Univ.