CoNISMa
Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Scienze del Mare

Naples Shipping Week
Napoli 27 giugno - 2 luglio 2016

SFIDE E SINERGIE TECNOLOGICHE NELLE INSTALLAZIONI OFF-SHORE PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA RINNOVABILE

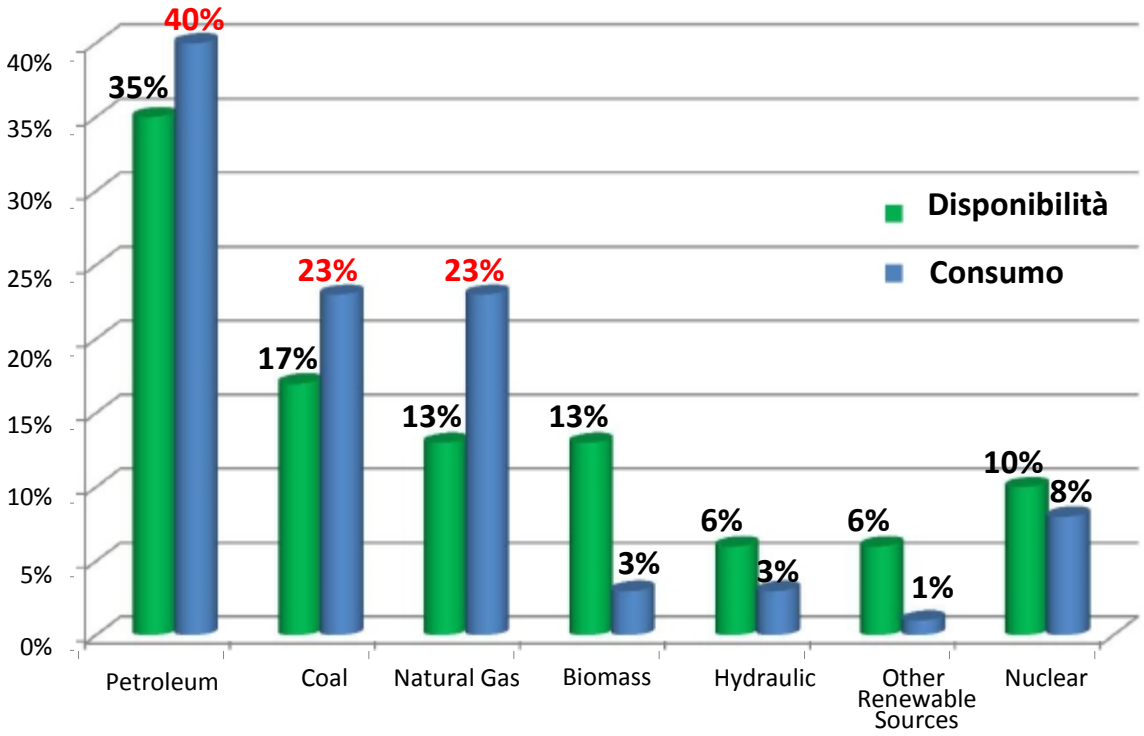
Barbara Zanuttigh

Contenuti

- Introduzione:
  - Perché energie rinnovabili dal mare?
  - Stadi di sviluppo
- Le sfide della progettazione
- Le sinergie delle installazioni: strutture multifunzione
- Applicazione progettuale esemplificativa: piattaforma multifunzionale nel Mediterraneo
- Conclusioni

Energia rinnovabile dal mare: perché?

Disponibilità e consumo medio annuo di energia



Protocollo di Kyoto, EU2020

- Le fonti di energia tradizionale **si esauriranno**
- Le emissioni inquinanti sono responsabili dei **cambiamenti climatici**
- La maggioranza delle risorse fossili si trova in paesi **politicamente instabili**

Significative opportunità di riduzione delle emissioni, crescita della sicurezza del supporto energetico e benefici economici diversi inclusa la creazione di nuovi posti di lavoro.

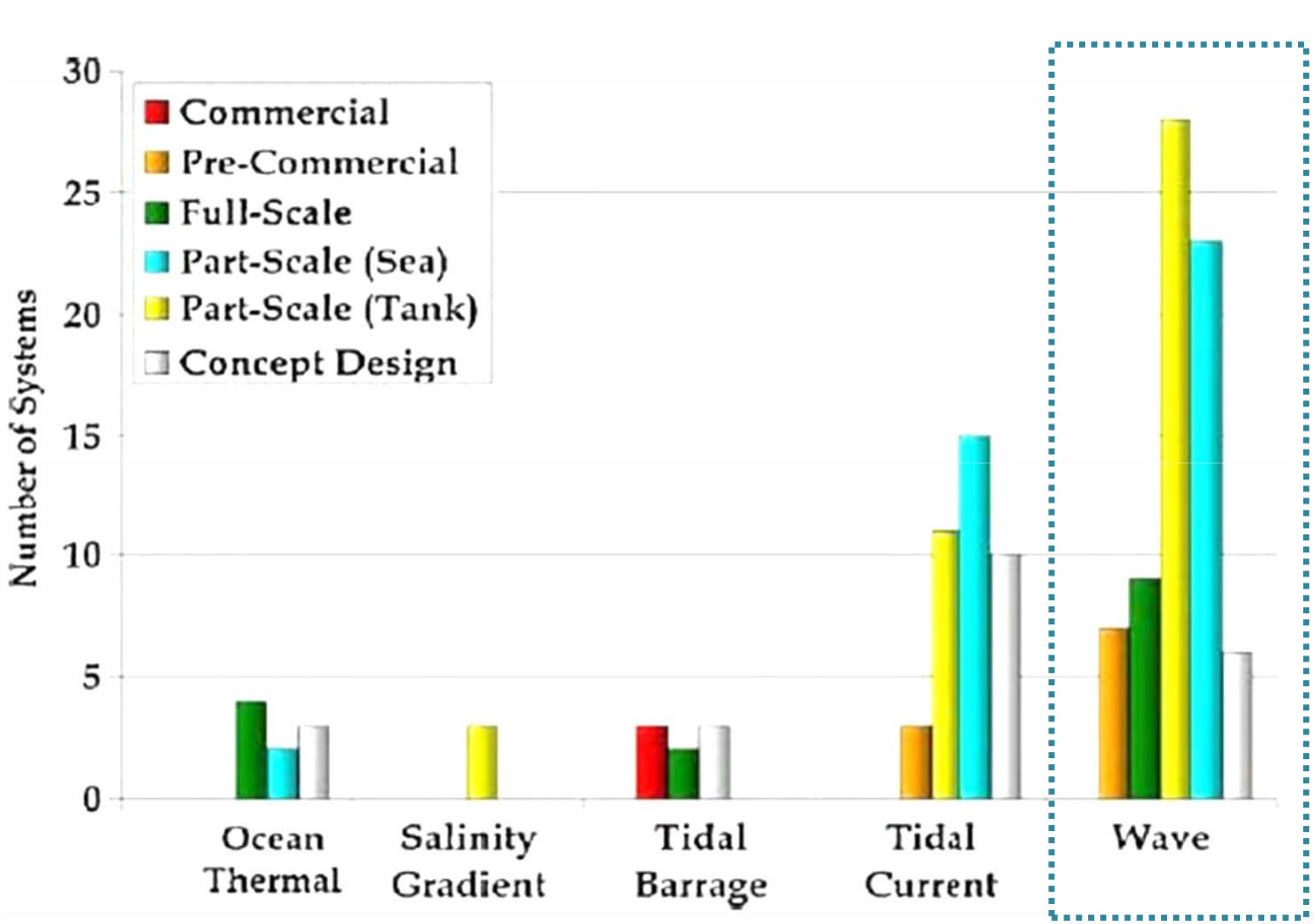
Energia rinnovabile dal mare: fonti

- Vento
- Marea
- Correnti
- Onde
- Gradiente salino
- Biomasse

L'energia dal mare può contribuire in modo significativo alla globale richiesta di energia e alla riduzione delle emissioni inquinanti.

Energia rinnovabile dal mare: sviluppo

Oltre 1500 brevetti dal 1992



Tipologie di convertitori di energia ondosa

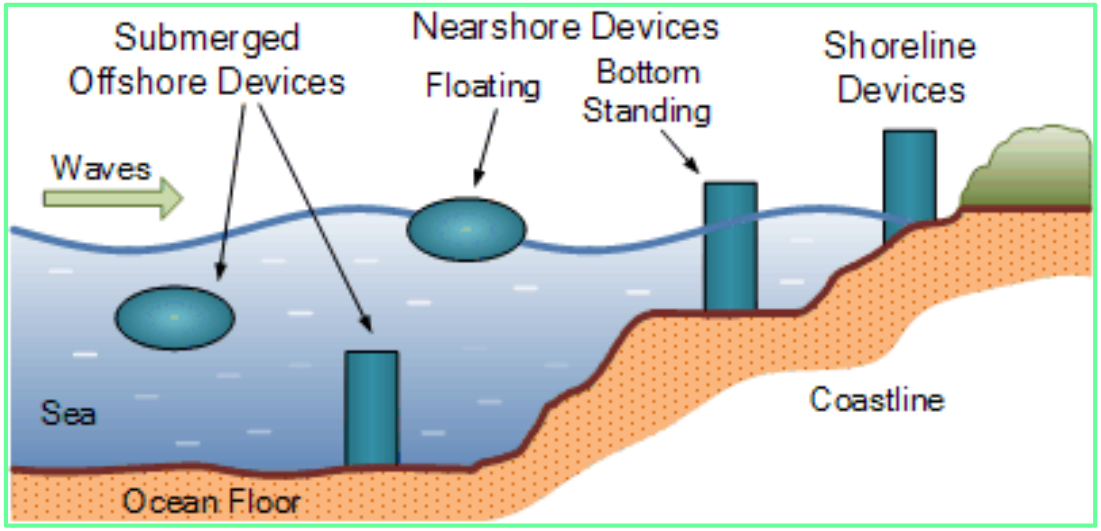
A RIVA

- Non necessaria la progettazione di ancoraggi
- Assenza di lunghi cavi sommersi per il trasferimento di energia a terra
- Facili installazione e manutenzione
- Potenziali problemi dovuti ad elevata riflessione e erosione locale al piede dell'opera
- Potenziali problemi dovuti alla sedimentazione nelle camere di raccolta dell'acqua

SOTTOCOSTA

→ Profondità 20-30m
→ Distanza dalla riva circa 500m (<km)

- Costi di installazione e manutenzione più elevate dei dispositive a riva
- Impatto visivo inferiore dei dispositive a riva

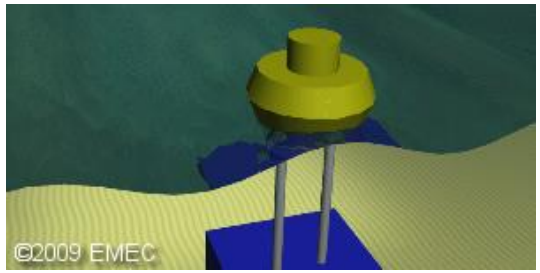


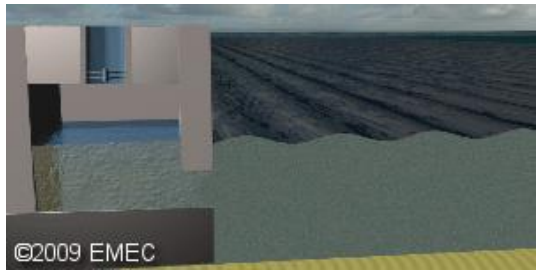
OFFSHORE

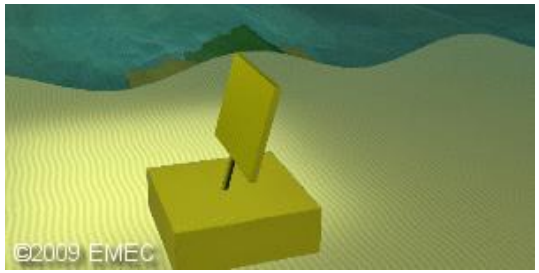
→ profondità >40m
→ km di distanza dalla riva

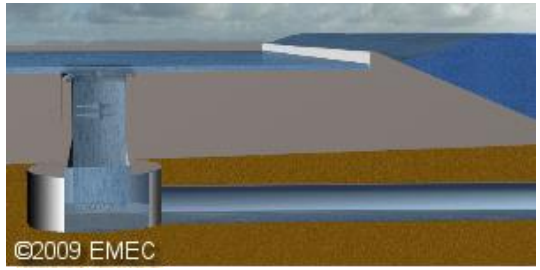
- Densità di energia ondosa elevate e regolare
- Mancanza di impatto visivo dalla costa
- Possibile installazione in parchi
- Costi elevate di installazione e manutenzione
- Progettazione degli ancoraggi
- Perdite, costi e impatto ambientale del trasferimento di energia a riva

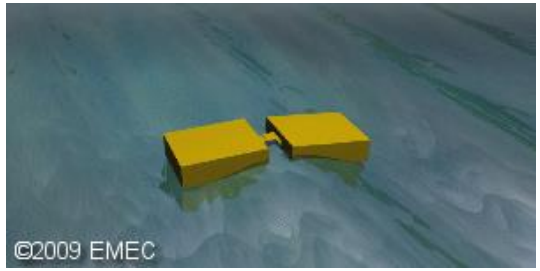
Tipologie di convertitori di energia ondosa

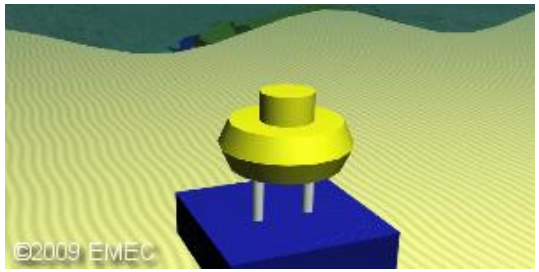




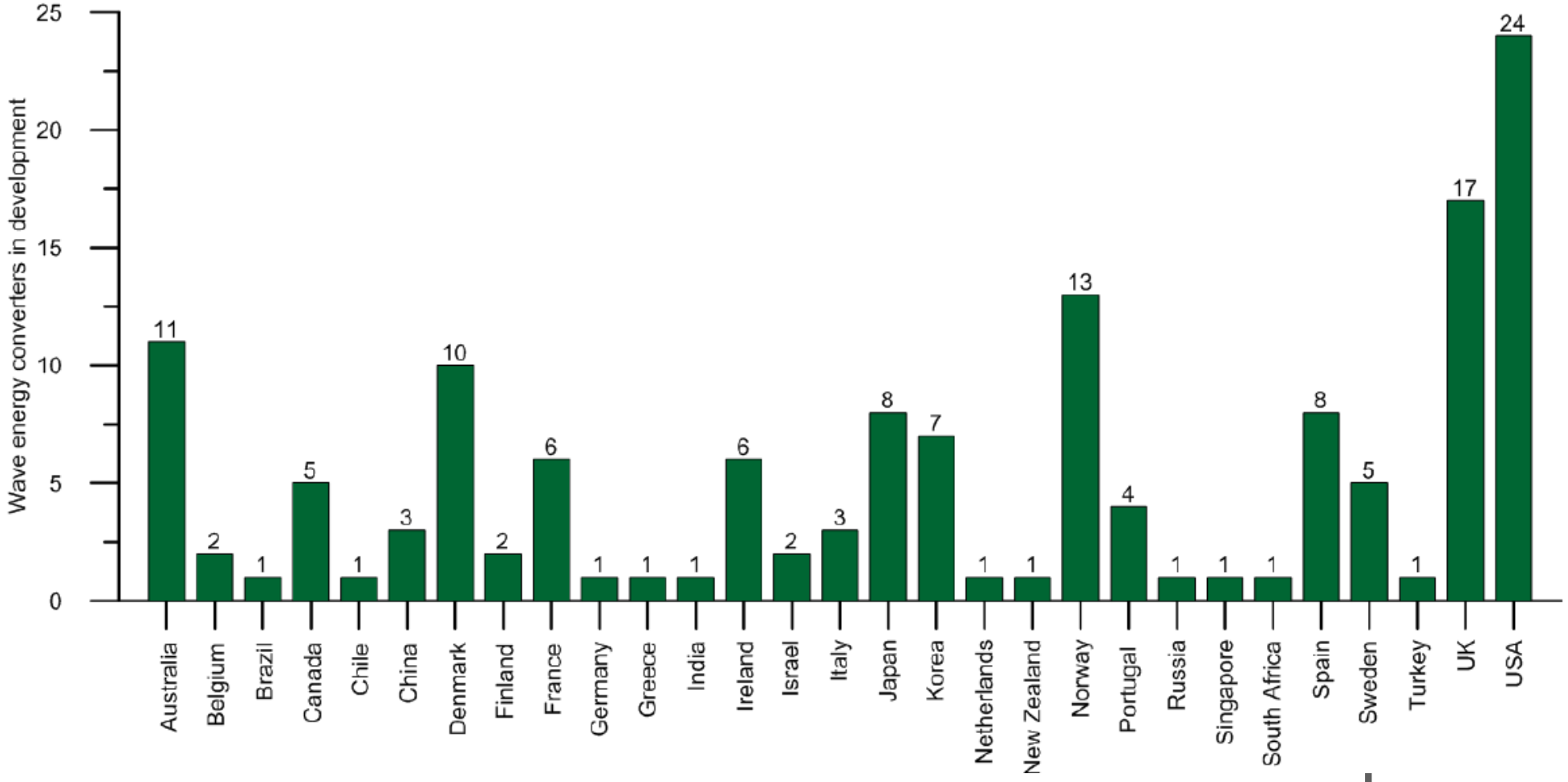




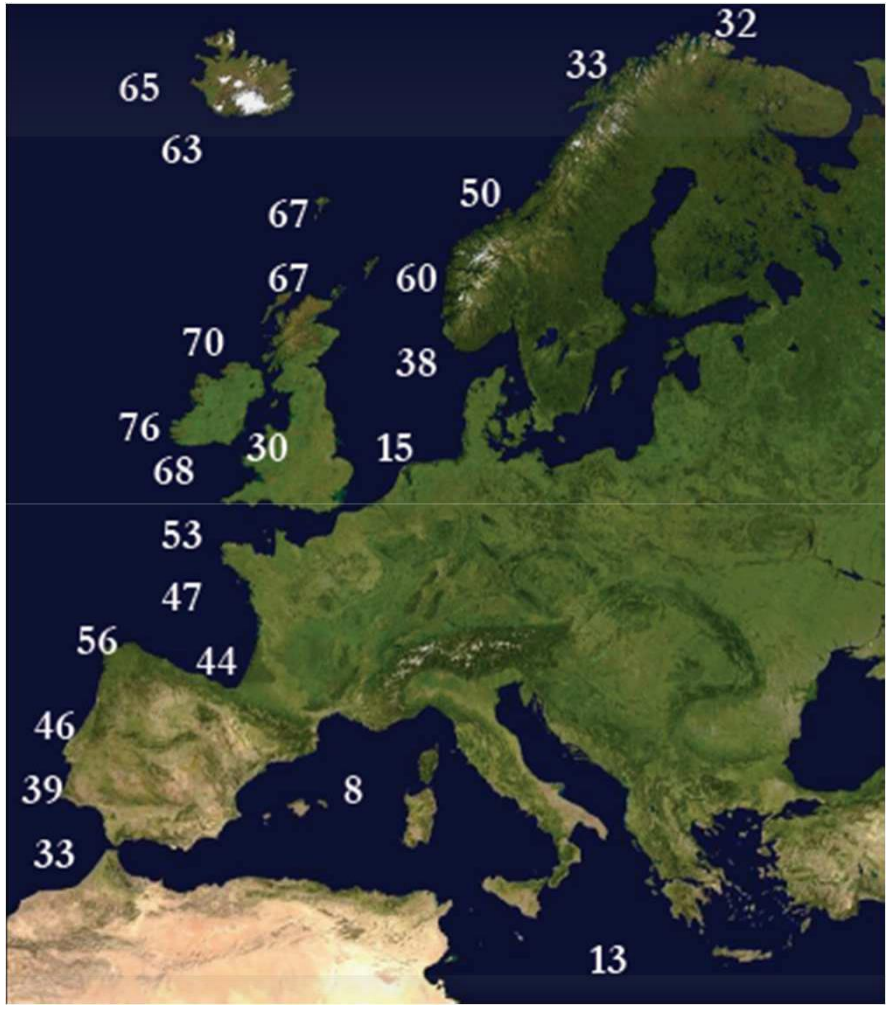




Energia da onda: sviluppo



Energia da onda: distribuzione

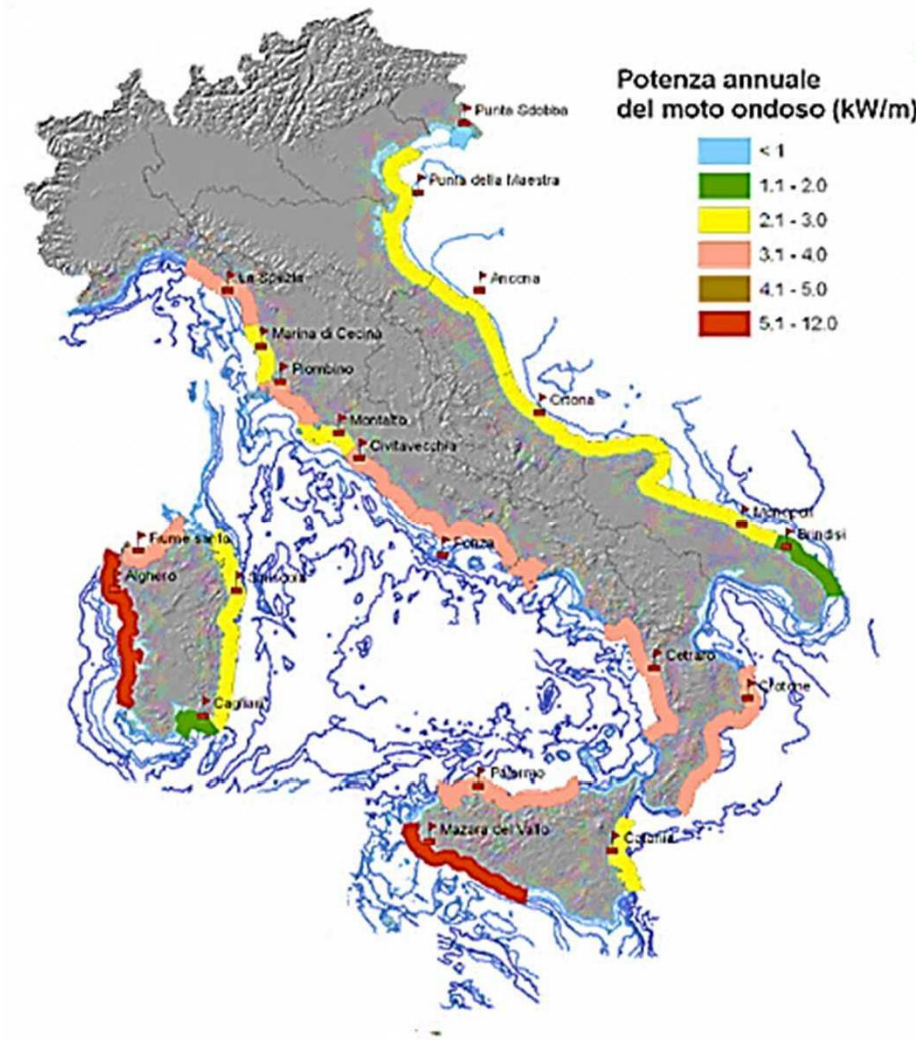


Source: *MERMAID Derivable 3.3*

Total Wave Energy: 286 - 320 GW

- South Atlantic ~ 25 kW/m
- Scothland and Ireland ~ 75 kW/m
- North Sea: 10–30 kW/m
- Mediterranean Sea: 4–11 kW/m

Energia da onda: distribuzione



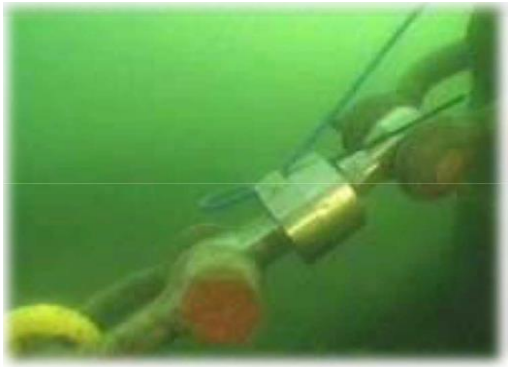
Total Wave Energy ~ 30 GW

- Adriatic Sea ~ 2 kW/m
- Ionian Sea and North Tyrrhenian Sea ~ 3kW/m
- South Tyrrhenian Sea ~ 4kW/m

Le ‘sfide’ - affidabilità

Le ‘sfide’ - affidabilità

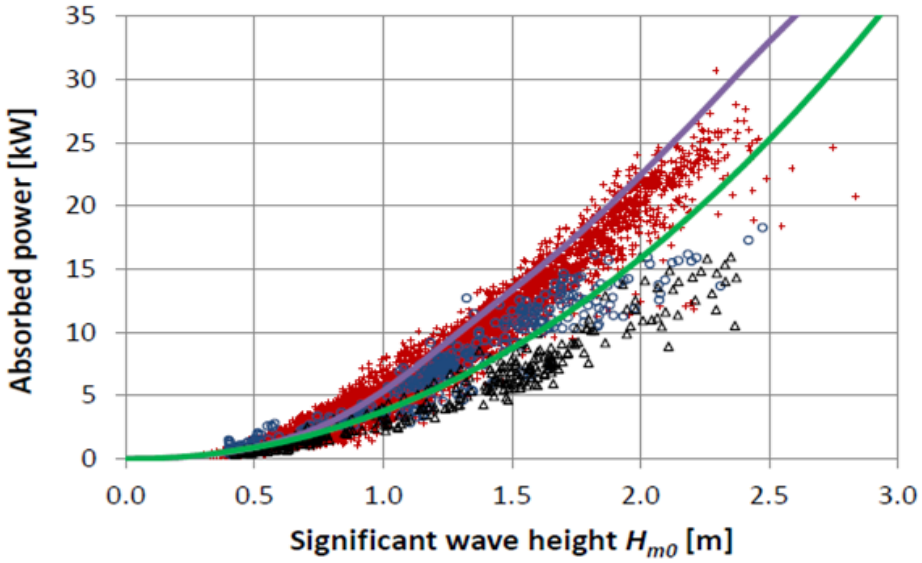
Wave Dragon, Nissum Bredning, Gennaio 2009

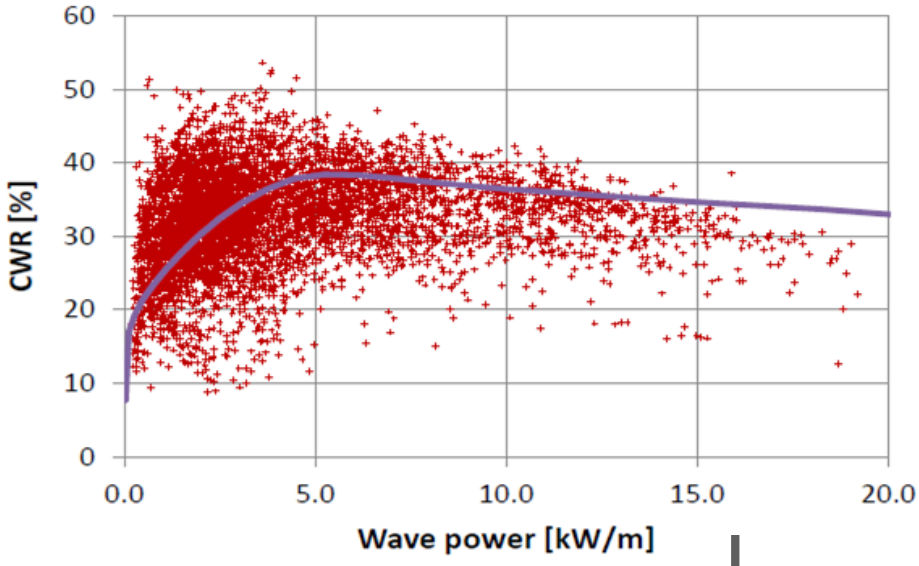


DEXA, Hanstholm, Novembre 2011

Le ‘sfide’ - producibilità

WAVESTAR



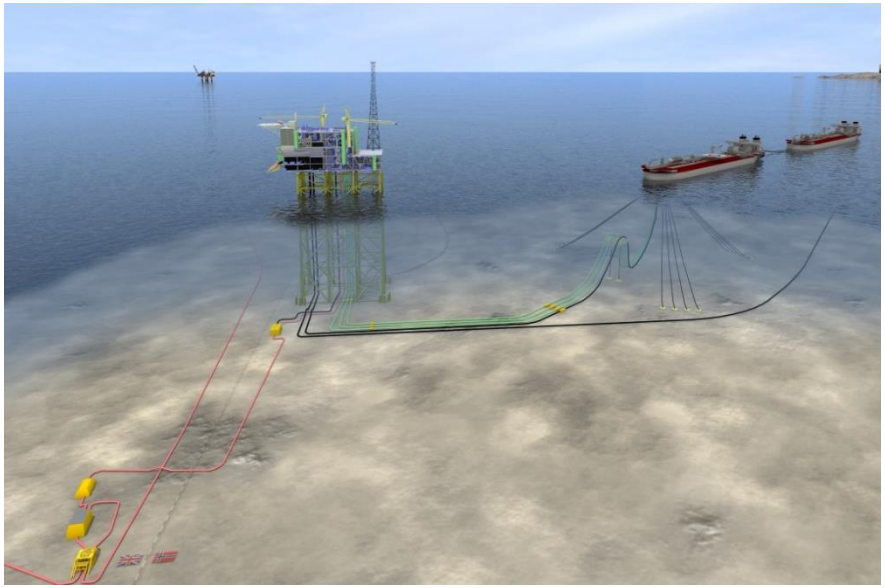


Le ‘sfide’ – impatti sull’ambiente marino

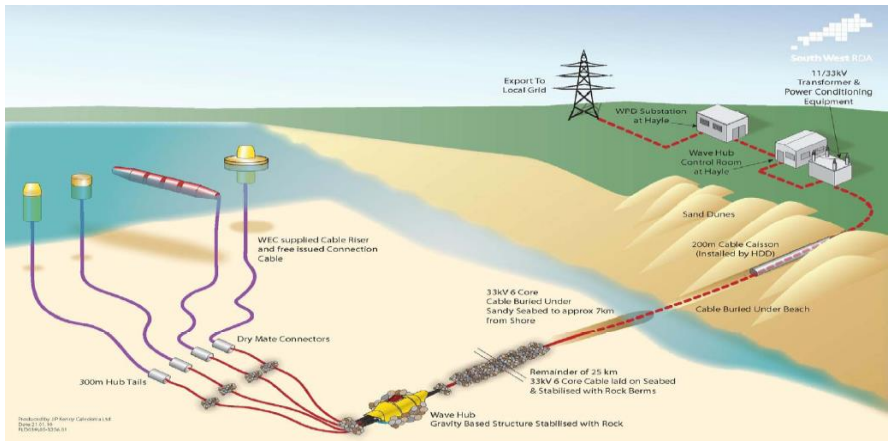
Materiali

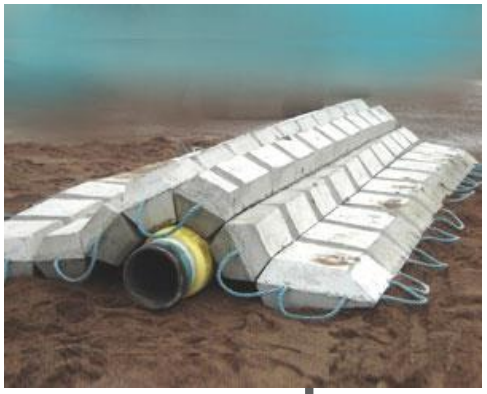
- Biodiversità e operatività
- Usura e corrosione
- Tossicità
- Detriti

Le ‘sfide’ – generazione e trasmissione

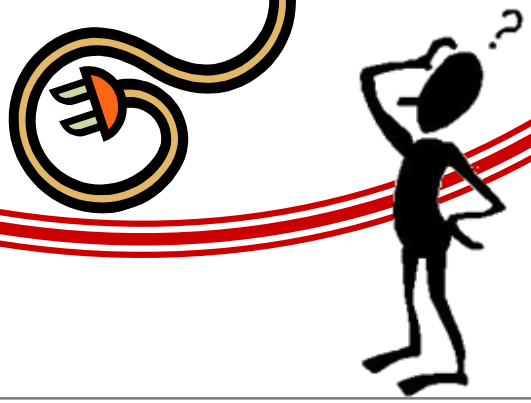


- Produzione effettiva
  - Integrazione con la griglia
  - Perdite nella trasmissione a riva
- Operatività
  - Rumore e vibrazioni
  - Sversamento accidentale
  - Impatto cavi sul fondale marino





Installazioni multi-funzione off-shore (anche in piattaforme esistenti O&G)



Sinergie

- Supporto (al decomissionamento di) piattaforme esistenti O&G
- Fondazioni comuni
- Ancoraggi e linee di ancoraggio comuni
- Simili tecnologie di conversione della energia
- Connessione alla griglia ed integrazione comune
- Condivisione delle migliori pratiche per una progettazione efficace dei sistemi di più dispositivi (effetti di scia e co-locazione)
- Condivisione di migliori pratiche per limitare O&M, trasporti e infrastrutture
- Comune gestione per la pianificazione d'uso dello spazio marino semplificandola procedura di autorizzazione delle installazioni.

Il contesto – FP7-OCEAN2011-1

- MERMAID - "Innovative Multi-purpose offshore platforms: planning, design & operation" - www.mermaidproject.eu
- TROPOS – "Modular Multi-use Deep Water Offshore Platform Harnessing and Servicing Mediterranean, Subtropical and Tropical Marine and Maritime Resources" - www.troposplatform.eu
- H2OCEAN - "Development of a Wind-Wave Power Open-Sea Platform Equipped for Hydrogen Generation with Support for Multiple Users of Energy" - www.h2ocean-project.eu

Progettazione concettuale di una piattaforma multi-funzione

- Caratteristiche del sito
  - Posizione
  - Clima
  - Conflitti d'uso
- Potenziali usi della MUP
  - Usi singoli
  - Integrazione di più usi
  - Alternative progettuali
- Selezione della MUP ottimale
  - Producibilità
  - Configurazione
  - Criticità e rischi

Pre-screening phase

- Preliminary assessment of available resources (wind, wave, tide) and environmental conditions (physical water parameters)
- Comparison of the results of the assessment with threshold values and/or available experience in the area
- Identification of feasible maritime uses

Preliminary design of single-use platforms

- Reconstruction of typical (wind, wave) climate (and tidal conditions)
- Reconstruction of site environmental conditions (for aquaculture potential)
- Selection of the device components and/or of the type of acqualcuture activities
- Production and layout in case of single-use platforms
- Legal constraints
- Identification of conceptual multi-use platforms

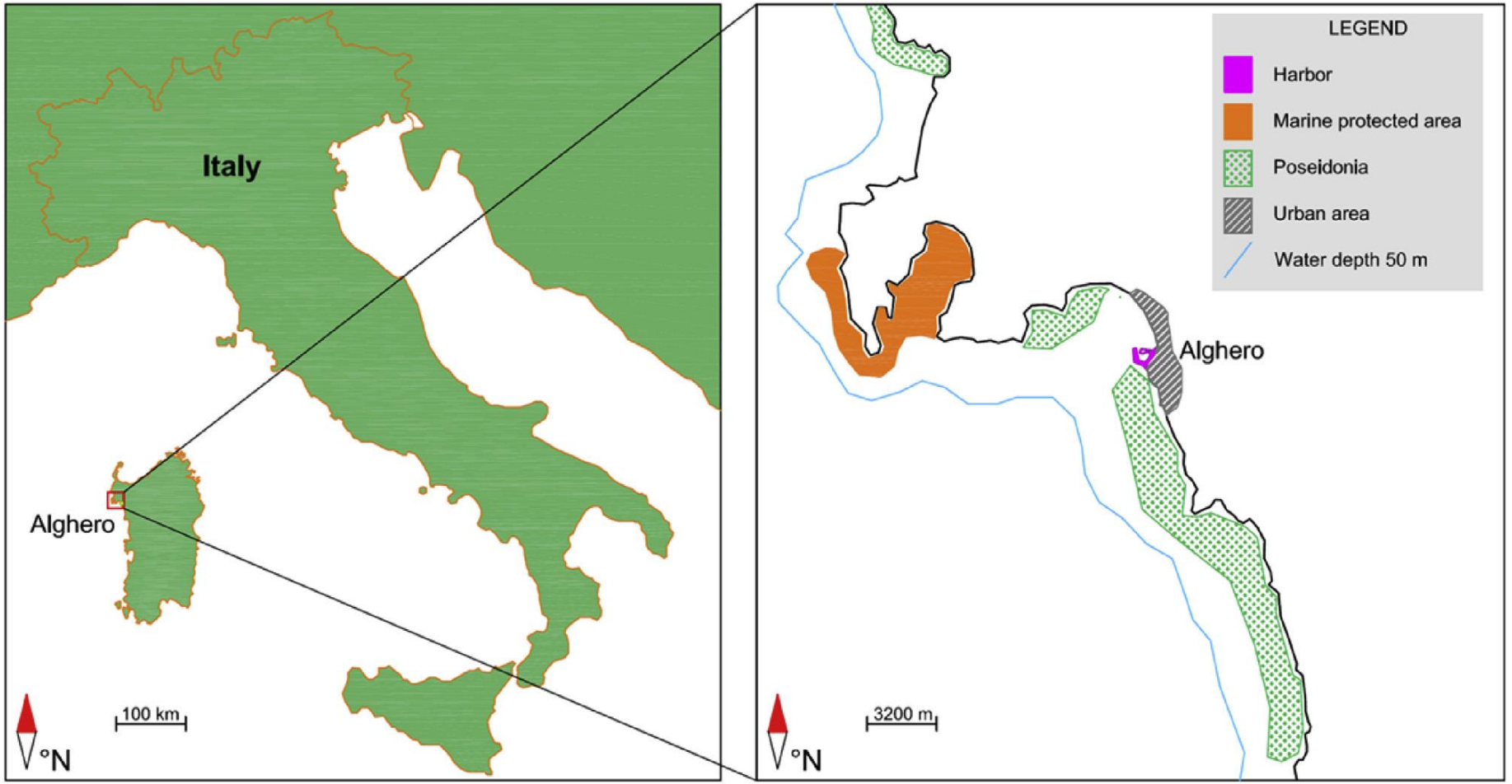
Ranking phase

- Score of the selected critiera for each conceptual multi-use platform
- Ranking of the conceptual multi-use platforms
- Identification of the best multi-use platform

Preliminary design of the selected multi-use platform

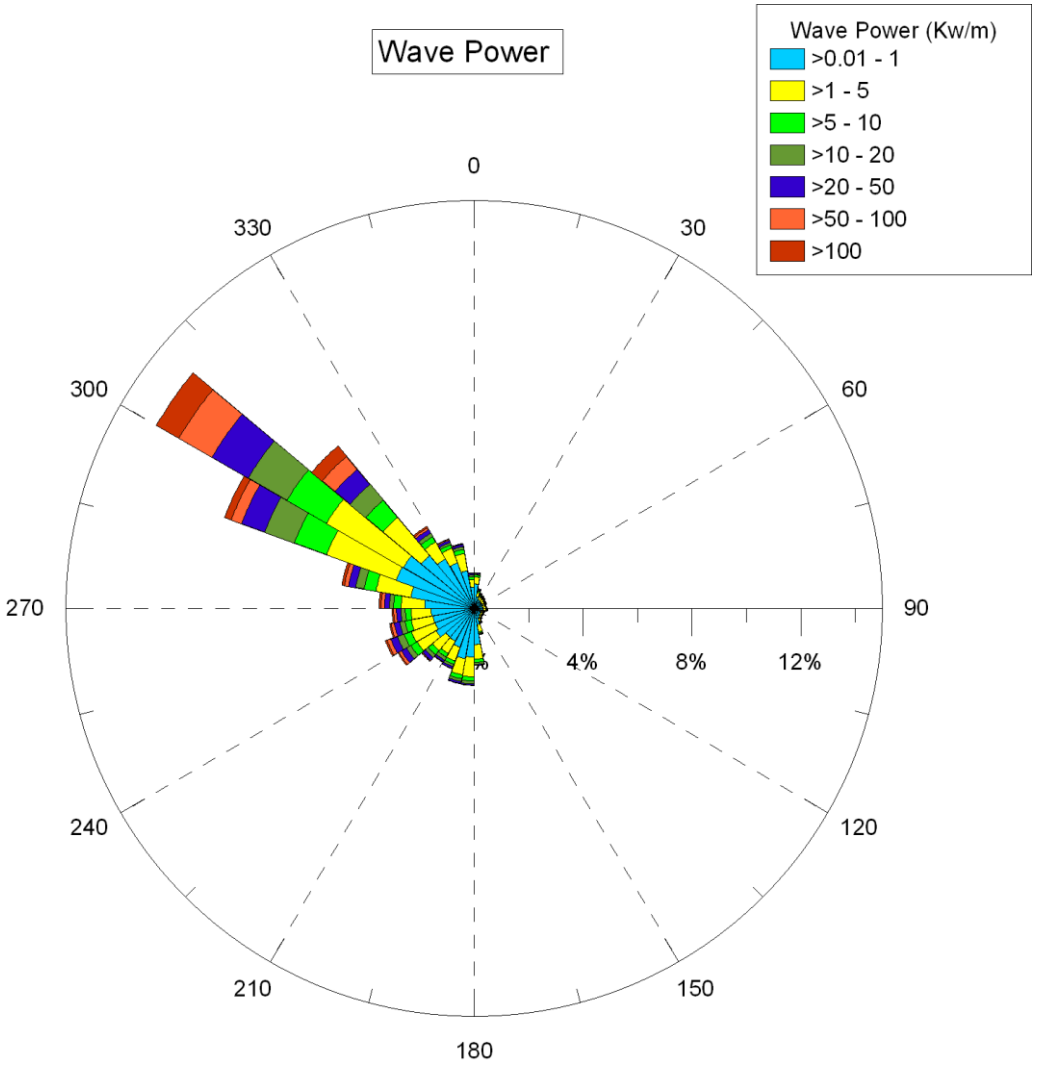
- Identification of the installation area
- Production and layout of the multi-use platform
- Indications regarding operation of the multi-use platform

Caratteristiche del sito



Caratteristiche del sito

Pw=9.4 kW/m annuale
Direzione prevalente:
250-300 °N,
P(Hs>2m)<20%,
P(Hs>4.5m)=1%



Fonte: WaveAtlas,
Vicinanza et al. 2014

Possibili usi della piattaforma

Energia da onda	Dispositivi galleggianti (Wave Dragon, Pelamis) Dispositivi fissi (WaveStar)
Energia da vento	Turbine tradizionali (tipo Vestas) Micro-eolico (integrato su strutture fisse)
Acquacultura	
Stoccaggio di energia	Stoccaggio locale / Supporto del fabbisogno energetico della piattaforma Trasferimento a riva

Scelta del convertitore di energia ondosa

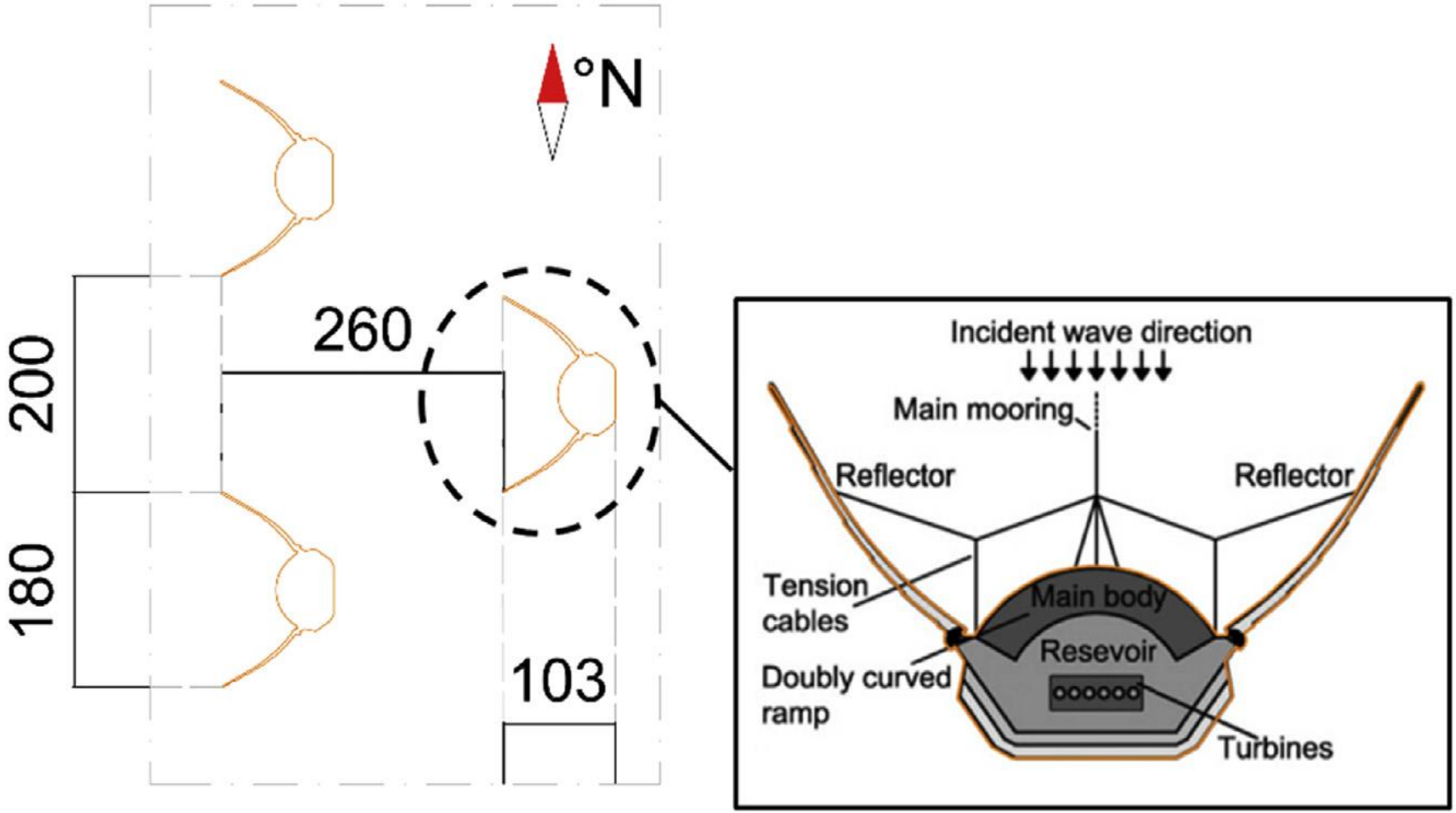
MERMAID, Deliverable 3.3

Selection Criteria	
Maturity of Technology	**Risks**
Have completed meaningful levels of power generation and hours, can therefore give credible capacity factor projections?	Geotechnical failure
Reliability	Hazard for maritime activities (submergence and debris)
Performance	Moorings
Performed technology innovations for reduced cost of energy (different materials, device power capture improvements, minimizing loads, etc.)	PTO type
Environmental impact	Survivability mode
Use of marine space:	Modularity of the structure/s
Foundation type (moorings….fixed):	**Costs**
Materials (including need of toxic paintings):	Installation depth
Impacts on native habitats and species:	Weight (device and fixed components)
Impact on the coast:	PTO
Inclusion of exposed components/parts:	*Power take off type:*
Noise/Vibration during operation:	*Power transfer to shore*
Aesthetic impact:	Mechanical complexity of overall system
Maintenance:	Maintenance
Transportation:	*Offshore accesibility*
Fouling:	*Cost-effective materials (durability)*
Material durability	Moorings
	Installation/maintenance methods requirements

Il Wave Dragon: down-scaling

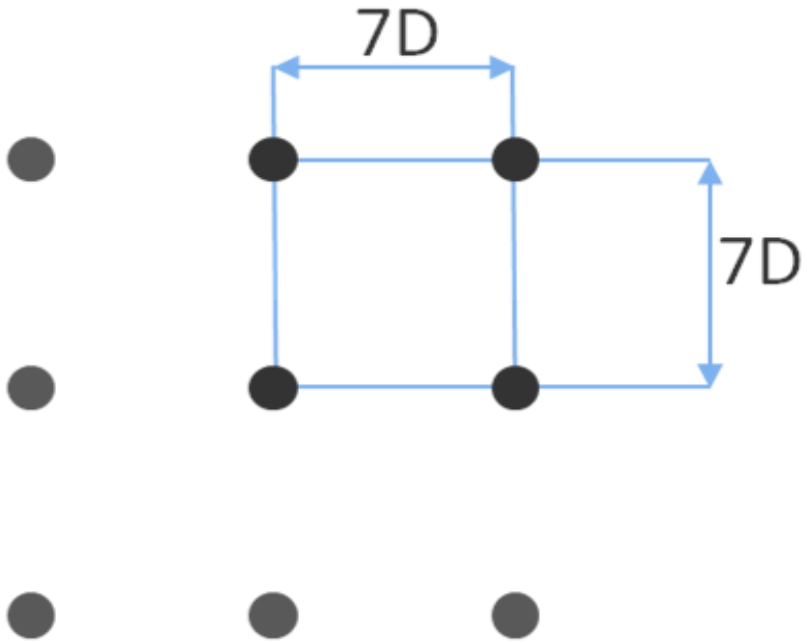
	DK	IT
Larghezza dispositivo [m]	260	180
Dimensione della vasca [mc]	5000	1620
Peso complessivo [t]	220000	70150
Profondità installazione [m]	>25	>17
Potenza di target [MW]	4	1.1

Dimensioni del modulo di Wave Dragon



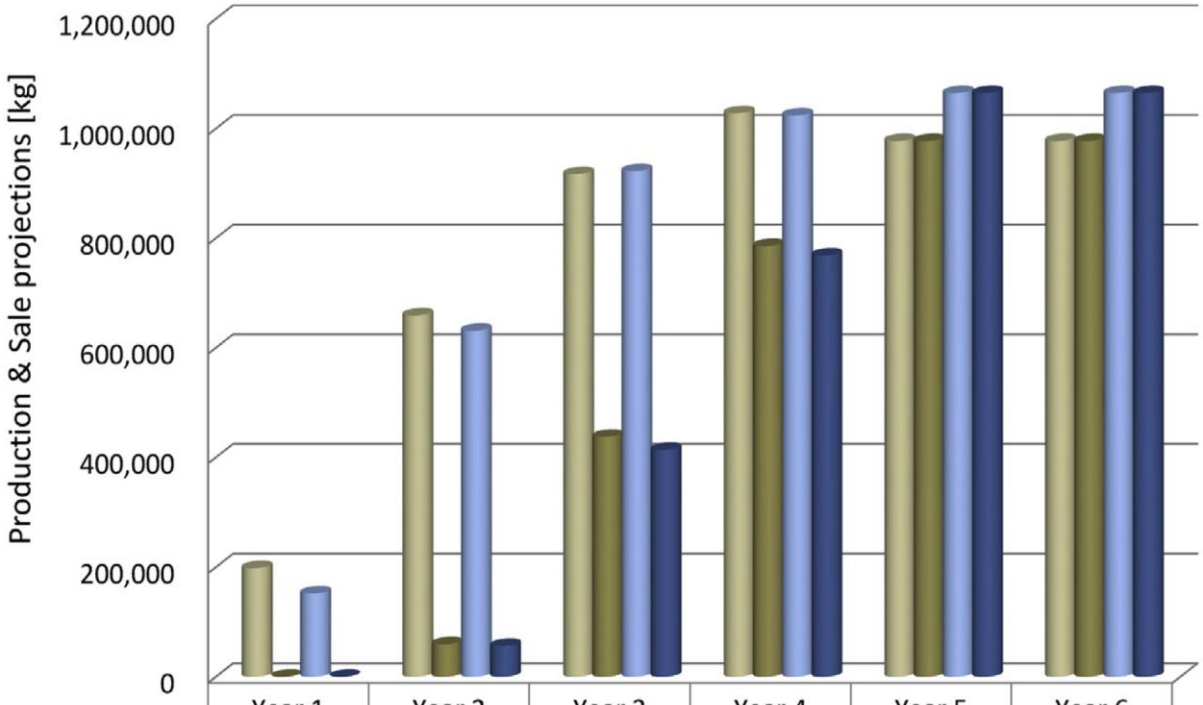
Energia da vento

- Tecnologia off-shore consolidata: VESTAS, V112 (3 MW)
  - Produzione media: 9.2 GWh/anno
  - Distanza intermedia turbine: 7 diametri
- Cella singola (4 turbine):
  - Area: 0.64 km^2
  - Produzione: 36 GWh/anno
- Cella doppia (9 turbine):
  - Area: 2.54 km^2
  - Produzione: 82 GWh/anno



Acquacultura

	€/kg	sales size distribution	
Sea-Bream 200-300 gr	3,90	3%	59%
Sea-Bream 300- 400gr	4,55	27%	
Sea-Bream 400-600 gr	4,94	30%	
Sea-Bream 600-800 gr	6,00	27%	41%
Sea-Bream 800-1000 gr	8,99	10%	
Sea-Bream 1000-1500 gr	10,82	4%	
Sea-Bass 200-300 gr	3,67	1%	47%
Sea-Bass 300-400 gr	5,17	17%	
Sea-Bass 400-600gr	5,77	30%	
Sea-Bass 600-800 gr	8,03	31%	53%
Sea-Bass 800-1000 gr	10,94	13%	
Sea-Bass 1000-1500 gr	12,59	9%	

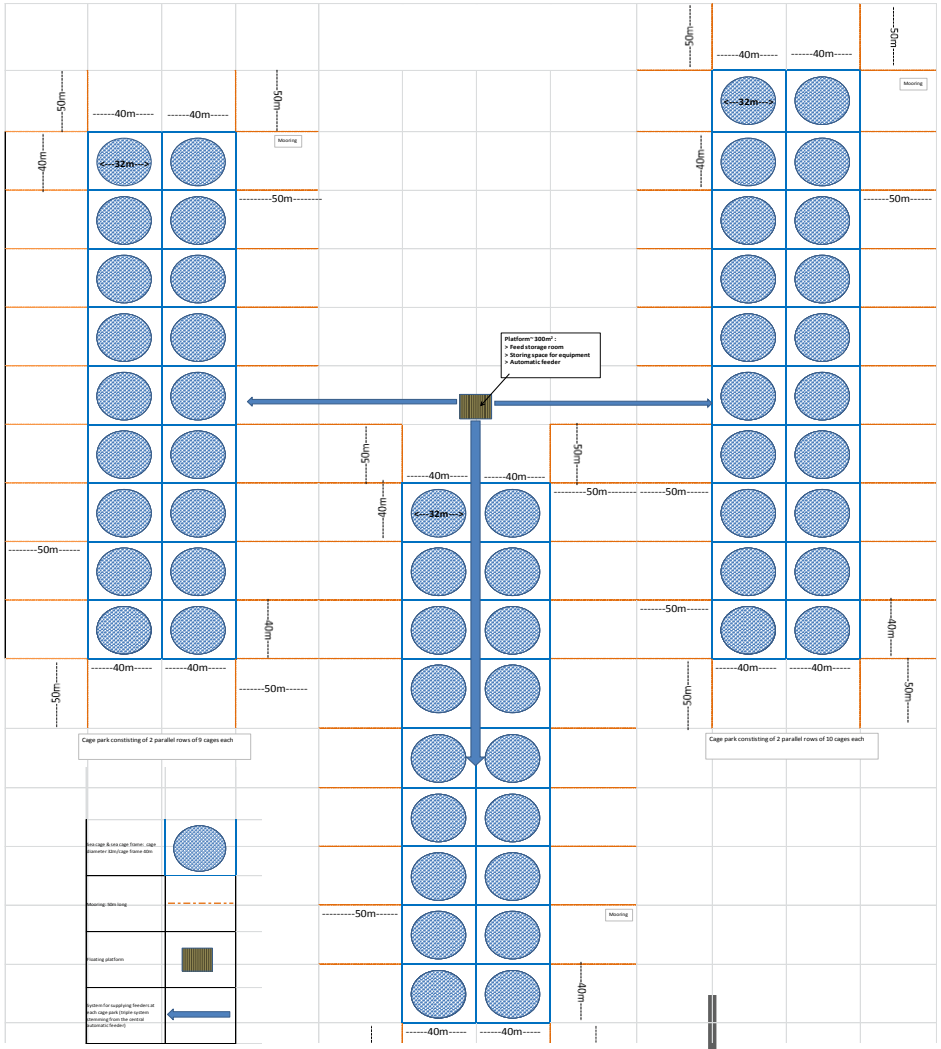


	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5	Year 6
Sea-Bass PRODUCTION	198,346	659,027	916,873	1,027,932	977,360	977,360
Sea-Bass SALES	0	59,284	437,578	785,660	977,360	977,360
Sea-Bream PRODUCTION	152,096	631,135	922,391	1,023,946	1,064,709	1,064,709
Sea-Bream SALES	0	56,234	413,707	768,497	1,064,709	1,064,709

- Vasta esperienza pregressa nell'area
- Specie prescelte: branzini, orate

Acquacultura: il parco

- Produzione annua: 2’000 t
- Dimensione del modulo
  - Dimensione del singolo modulo: 300-440 m
  - Distanza mutua: 100 m
  - 3 parchi
  - Piattaforma: 300 m^2
  - Nutrimento pesci: 150 t
- Frequenza di trasporto: 4 giorni



Alternative progettuali

	Vento	Onda	Acquacultura	Senza connessione alla griglia	Con connessione alla griglia
MUP 1	x		x	x	
MUP 2		x	x	x	
MUP 3	x	x		x	
MUP 4	x	x	x	x	
MUP 5	x		x		x
MUP 6		x	x		x
MUP 7	x	x			x
MUP 8	x	x	x		x

Selezione della piattaforma multifunzione

La metodologia è spiegata negli articoli a rivista

- Zanuttigh et al., 2015, Sustainability Journal;
- Zanuttigh et al., 2016, Renewable Energy.

Step 1- Feasibility assessment	
Criteria	Type of judgment
Renewable energy potential Wind Wave Tide	Yes/no Wind: >6m/s on average for offshore plants, after ORECCA, 2011 Wave: no specific threshold available Tide: 2.5 m/s mean spring peak based on DECC, 2010
Aquaculture potential	Yes/no – if yes specification of • what (sea-weeds, fish farm, etc) • minimum installation requirements (depth, space, etc.)

Selezione della piattaforma multifunzione

Step 2 – Ranking

Criteria	Type of judgment
Exploitation potential	Score 1 (highest)…5 (lowest) Renewable energy potential (to be repeated for wind, wave and tide): • Maturity of technology • Reliability: • Performance: Aquaculture potential: • Existing practice in the area: • Technological challenges: • Performance:
Innovation	Score 1 (highest)…5 (lowest) Technological Innovation: Synergy with other uses:

Selezione della piattaforma multifunzione

Criteria	Type of judgment
Environmental impact	Score 1 (lowest)…5 (highest) Use of marine space • Wind piles/devices dimension • Size of energy farm • Size of aquaculture farm Foundation type Materials Impact on the coast Inclusion of exposed components/parts Noise /Vibration Aesthetic impact Local energy storage/use Maintenance • Transportation • Fouling • Material durability

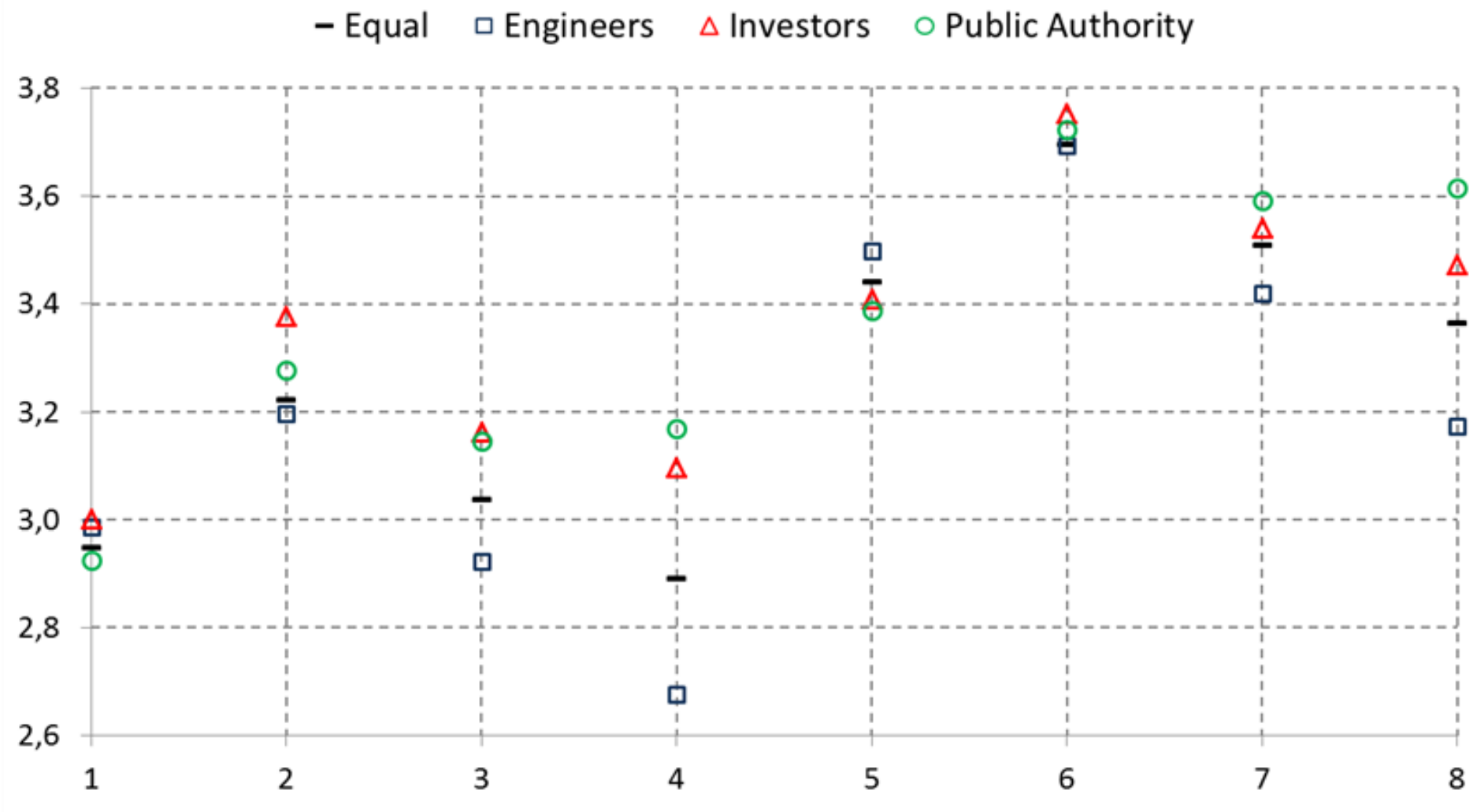
Selezione della piattaforma multifunzione

Criteria	Type of judgment
Risks	Score 1 (lowest)…5 (highest) Structural failure • Modular or single/ rigid structure • Geotechnical failure • Moorings Power failure • Power take off/feeding • Local energy storage/use Pollution

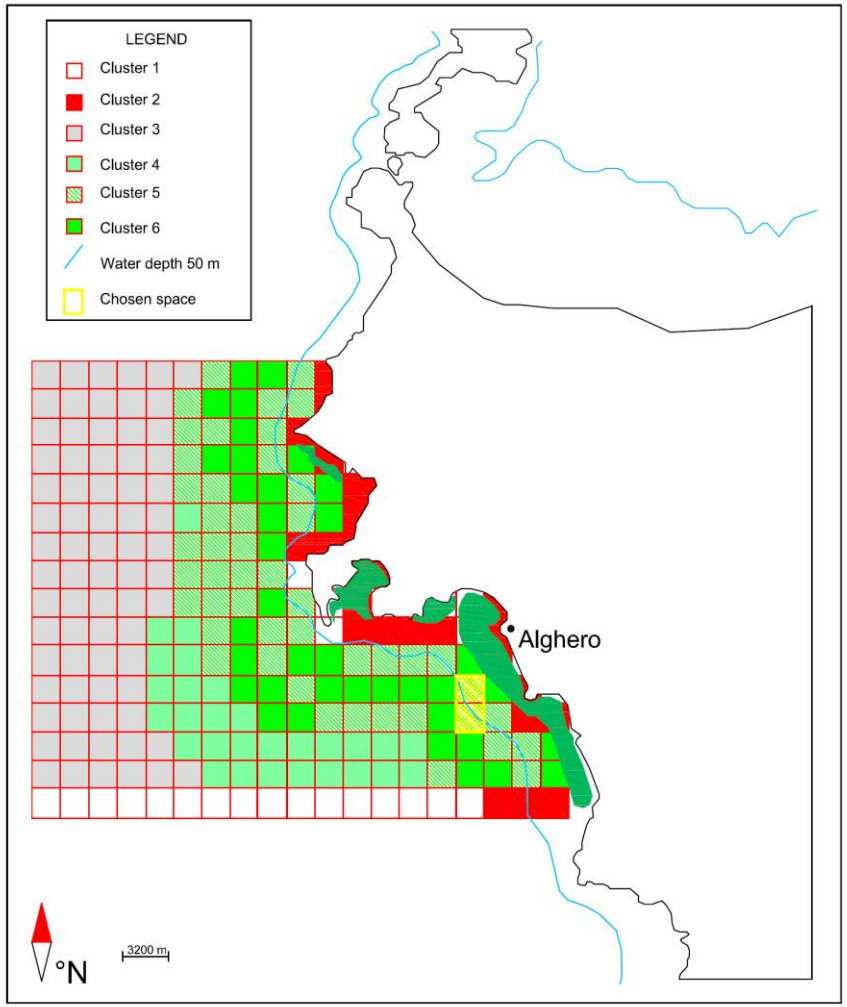
Selezione della piattaforma multifunzione

Costs	Score 1 (lowest)…5 (highest) Installation depth Installation type • Complexity • Moorings Power extraction and storage • Power take off type • Local energy storage/use Installation/maintenance requirements • Accessibility • Materials Transportation • Installation • Operation

Risultati e Analisi di Sensitività



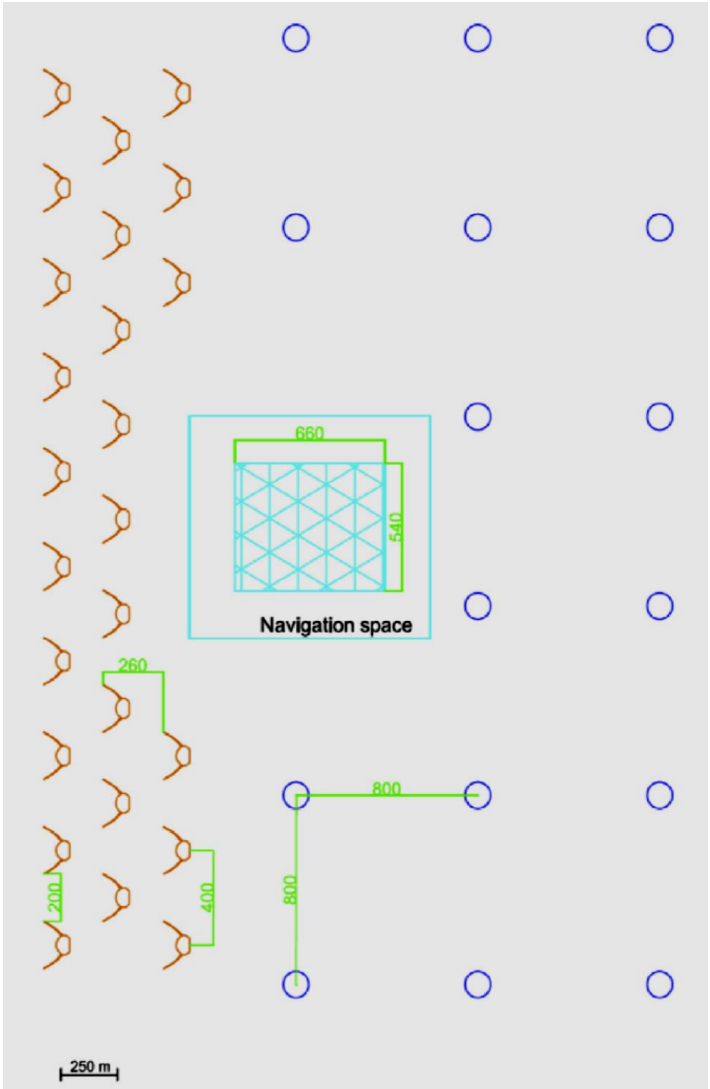
Localizzazione della MUP

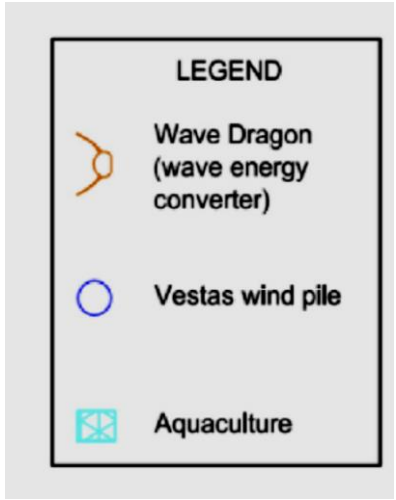


- Suddivisione in “Clusters” sulla base di Azzellino et al. (2011, 2012).
- Criteri: a) indice ambientale che considera la copertura di fanerogame, la biodiversità e la presenza di ammmiferi; b) distanza dalla riva; c) potenziale della energia ondosa
- Celle: n. 320 celle, 2 km x 3 km

- Zona prescelta: a Sud del Porto di Alghero; profondità: 40 m; distanza dalla costa: 5 km.
- E’ un Cluster di tipo 5; consente di evitare conflitti con l’area marina protetta e le rotte maritime.

Configurazione della MUP





- Orientazione: asse dei WD allineato 270°N.
- Area totale MUP: 8 km^2 (2 km lungo riva x 4 km perpendicolare a riva)
- Produzione energetica (25 WD, 16 VESTAS): 250 GWh/anno, di cui il 20% per supportare l'acquacultura
- Produzione ittica: 2000 t

Conclusioni

- Progettazione: affidabilità dell'ancoraggio, compatibilità dei materiali,
- Produzione: dimensionamento dei dispositivi sulla base del clima tipico, necessità di conversione e stoccaggio adeguato
- Integrazione in opere multifunzione per la fattibilità delle installazioni
- Dimensionamento del parco marino off-shore: necessità di minimizzare i conflitti d'uso e massimizzare le sinergie (ancoraggi, ancore, fondazioni, cavi, etc)
- Benefici indiretti derivanti dai diversi usi (assorbimento energia ondosa e protezione acquacultura)

Protezione dalle inondazioni e produzione di energia

Installazioni multifunzione a riva: i porti

Ringraziamenti

RITMARE «La ricerca italiana per il mare»

MERMAID «Innovative platform plan, design and operation», www.mermaidproject.eu

THESEUS, «Innovative technologies for safer European coasts in a changing climate», FP7.2009-1, contratto 244104, www.theseusproject.eu

SDWED, «Structural design of wave energy devices», www.sdwed.civil.aau.dk

Contatti

Barbara Zanuttigh

Professore Associato, Università di Bologna
Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e dei Materiali
barbara.zanuttigh@unibo.it
www.unibo.it/sitoweb/barbara.zanuttigh

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Visiting Scientists, Delft University of Technology
Department of Hydraulic Structures and Flood Risk
b.zanuttigh@tudelft.nl
http://www.citg.tudelft.nl/en/about-faculty/departments/department-of-hydraulic-engineering/sections/hydraulic-structures-and-flood-risk/staff/zanuttigh-b/

Selezione di Riferimenti bibliografici

- Zanuttigh B., Angelelli E., Kortenhaus A., Koca K., Krontira Y. and P. Koundouri, 2016. METHODOLOGY FOR MULTI-CRITERIA DESIGN OF MULTI-USE OFF-SHORE PLATFORMS FOR MARINE RENWABLE ENERGY HARVESTING, Renewable Energy, 85, 1271-1289.
- Zanuttigh B., et al. 2015. Boosting blue growth in a mild Sea: analysis of the synergies produced by a multi-purpose offshore installation in the Northern Adriatic, Italy, Sustainability, 7, 6804-6853.
- Van de Burg, S. et al. 2016. Participatory Design of Multi-Use Platforms at Sea. Sustainability 8(2):127
- Stuiver, M. et al. 2016. The governance of Multi-Use Platforms at Sea for energy production and aquaculture; obstacles and challenges for policy makers in European Seas. Sustainability 8(4),
- Mendoza E.; Silva R., Zanuttigh B., Angelelli E., Lykke Andersen T., Martinelli L., Nørgaard J., Ruol P., 2014. Beach response to wave energy converter farms acting as coastal defence, Coastal Engineering, 87, 97-111, Elsevier.
- Zanuttigh, B. & E. Angelelli, 2013. Experimental investigation of wave energy converters for coastal protection purpose, Coastal Engineering, 80, 148-159, Elsevier.
- Zanuttigh, B., Angelelli, E. & J. P. Kofoed, 2013. Effects of mooring systems on the performance of a wave activated body energy converter, Renewable Energy, 57 (9), 422–431, Elsevier.
- Martinelli, L., Zanuttigh, B. & J. P. Kofoed, 2011. Method for selection of maximum PTO design power based on statistical analysis of small scale experiments on Wave Energy Converters. Renewable Energy, 36 (11), 3124-3132, Elsevier.