

F. Salvatore - CNR
G. Sannino, A. Carillo - ENEA
M. Peviani, L. Serri - RSE

DESCRIZIONE TECNICA

Il vento che spirava sulla superficie del mare, per un certo periodo di tempo, trasferisce ad essa l'energia necessaria per generare il moto ondoso. Maggiore è l'intensità e la durata del vento, maggiore sarà l'energia trasferita alla superficie di mare e quindi l'altezza delle onde generate. L'energia potenziale e cinetica associata al moto ondoso può essere sfruttata per la generazione di energia elettrica, utilizzando diverse tipologie di dispositivi. Si stima che il potenziale energetico nei mari e oceani del pianeta raggiunge gli 80.000 TWh/anno, cioè circa cinque volte il fabbisogno elettrico globale. Tuttavia questa fonte di energia ha mediamente una contenuta disponibilità (potenza media annuale pari a 5-10 kW/m) [5] e le tecnologie per la sua cattura devono fare i conti con l'ambiente particolarmente aggressivo del mare.

I sistemi in via di sperimentazione indirizzati allo sfruttamento energetico delle onde sono [1]:

- **Oscillating Water Columns (OWC):** strutture parzialmente sommerse con una camera esterna e una interna comunicanti. Il livello dell'acqua varia nella camera esterna per l'azione del moto ondoso e induce una analoga variazione nella camera interna dove una massa d'aria viene compressa e mette in movimento una turbina collegata ad un generatore elettrico. Un esempio, è il sistema LIMPET [4] sviluppato dalla Voith Hydro Wavegen, composto da 16 turbine Wells con una capacità di generazione di 300 kW (<http://voith.com/en/index.html>) ed installato a Mutriku, Spagna.
- **Overtopping Devices:** strutture galleggianti rigide che focalizzano le onde in modo da far riempire appositi serbatoi con un livello dell'acqua superiore a quello naturale. Il differenziale di energia potenziale che si stabilisce viene sfruttato con un flusso d'acqua forzato che mette in rotazione una turbina collegata ad un generatore elettrico. Il Seawave Slot-Cone Generator [3] e il Wavedragon sono esempi di questo tipo di dispositivo (www.wavedragon.net).
- **Oscillating bodies:** le onde incidenti provocano moti relativi tra segmenti di corpi galleggianti o immersi. I moti relativi sono impiegati da opportuni sistemi meccanici/idraulici per convertire energia meccanica in elettrica. Rientrano in questa classe i cosiddetti assorbitori puntuali (point absorbers), in cui il moto ondoso induce moti verticali che vengono convertiti con appositi generatori. Un esempio è il PB3 Power Buoy sviluppato dalla Ocean Power Technology USA (www.oceanpowertechnologies.com). Nella tecnologia Rotating Mass i due movimenti - verticale e orizzontale del dispositivo che ondeggia tra le onde - sono utilizzati per generare l'energia elettrica dal moto ondoso. Questi movimenti azionano un peso eccentrico o un giroscopio, che è a sua volta collegato ad un generatore installato all'interno del dispositivo (www.emec.org.uk). Nella Submerged Pressure Differential invece, il dispositivo viene appoggiato o fissato sul fondo del mare. Il movimento delle onde genera il continuo innalzamento e abbassamento del livello dell'acqua, inducendo un differenziale di pressione sopra il dispositivo. L'alternanza di pressione pompa un fluido (acqua/olio) attraverso un sistema di generazione elettrica (<http://www.aquaret.com>).

Impianto di Mutriku (Spagna)

Schema della tecnologia Oscillating Water Column

Schema della tecnologia Seawave Slot-Cone Generator

Dispositivo Wavedragon

PB3 Power Buoy

Tecnologia "Rotating Mass"

Tecnologia "Submerged Pressure"

Le strutture di tipo OWC sono installate a ridosso di strutture costiere sia naturali (scogliere) che da opere umane (es. barriere frangiflutti, dighe foranee), mentre le altre operano in mare aperto, vicino la costa oppure lontano da questa, dove la risorsa energetica è più regolare e prevedibile.

Altre tecnologie oggi in fase di field tests sono:

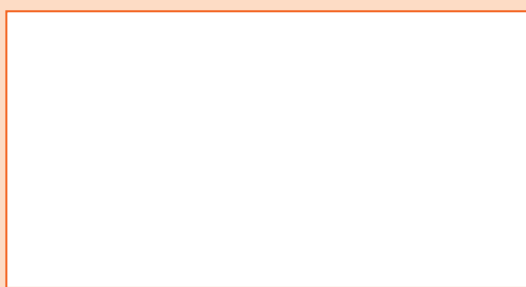
- **ISWEC**: piattaforme galleggianti oscillanti (floating pitching converters, FPC), e le derivate IOWEC, PEWEC. Si tratta di dispositivi flottanti, installati con ormeggio lasco al fondale marino e auto-orientanti rispetto alla principale direzione di propagazione delle onde del mare. L'azione meccanica del moto ondoso induce un movimento oscillante dello scafo. Grazie alla presenza di un sistema di tipo inerziale, non vincolato alla struttura all'interno del galleggiante, si sviluppa un moto relativo che consente la conversione di energia meccanica in elettrica
- **REWEC3**: dispositivo appartenente alla famiglia OWC (Oscillating Water Column), che rispetto ai tradizionali OWC, presenta migliorie sostanziali nella resa energetica dell'impianto e nella sua risposta all'azione delle onde che lo investono
- **R115/H24**: dispositivo sviluppato dalla società italo/inglese 40 South Energy. Nel corso del 2015 un prototipo è stato varato nel Tirreno settentrionale.

Altre tecnologie a più basso TRL ma degne di nota sono: il sistema ad assorbitore puntuale (point absorber) con dimensioni caratteristiche molto minori della lunghezza dell'onda incidente ed è dimensionato per i climi ondosi del mare Mediterraneo; il sistema WaveSAX [6] e [7], tecnologia di tipo OWC, con turbina immersa in acqua; il dispositivo Reciprocating Linear Alternator (RLA), cioè un generatore elettromeccanico che sfrutta il moto reciproco tra due parti per produrre energia elettrica.

STATO DI AVANZAMENTO

Internazionale

Lo scenario attuale a livello mondiale vede alcune tecnologie in uno stato molto avanzato di sperimentazione ma ancora non si hanno esempi concreti di sfruttamento su scala industriale. L'Europa è leader mondiale per questa tecnologia, testimoniato anche dal forte interesse nei programmi europei di investimento, e i maggiori investimenti nazionali provengono dai paesi che affacciano sull'oceano Atlantico. Le attuali installazioni si riferiscono a piccoli impianti la cui analisi sta fornendo dati per poter procedere alla fase successiva di installazione di unità di scala MegaWatt. La stima della capacità installata per la produzione da fonte marina a livello mondiale (2014) è di 0,54 GW [4]. La distribuzione per regione è riportata nella figura seguente.



Per quanto riguarda il continente europeo, la capacità installata in alcuni paesi è riportata nella tabella successiva [4].

Paese	MW installati	MW da progetti autorizzati
Inghilterra	3,73	40,0
Portogallo	0,7	-
Spagna	0,3	0,3
Belgio	-	20,0
Danimarca	-	0,1
Svezia	0,2	10,5
Norvegia	0,2	-

Nazionale

Lo sviluppo delle tecnologie per lo sfruttamento dei moti ondosi in Italia è confrontabile con quello di paesi leader in campo mondiale. Nel nostro Paese vi è un crescente interesse attorno alle tecnologie per lo sfruttamento delle onde e delle correnti marine per la produzione di energia. Secondo il Piano d'Azione Nazionale per le Energie Rinnovabili (PAN), ci si aspetta di raggiungere nel 2020 l'obiettivo di 3 MW di potenza installata [4]. L'energia del moto ondoso disponibile per la conversione in energia elettrica nel Mediterraneo è relativamente scarsa se paragonata con quella degli oceani. Paradossalmente, però, mareggiate d'intensità inferiore presentano il vantaggio di poter utilizzare tecnologie che negli oceani risulterebbero pressoché impraticabili.

Il potenziale energetico del moto ondoso nelle coste italiane è molto vario, presentando i suoi massimo valori nella costa occidentale della Sardegna (12 kW/m circa) e sud della Sicilia (5,5 kW/m circa) [5]. Nell'anno 2014 un'unica iniziativa, con capacità di generazione di 99 kW, è stata ammessa nel registro delle rinnovabili italiane da fonti marine [4].

Finora, le installazioni di dispositivi di generazione elettrica che sfruttano il moto ondoso e le correnti di marea in Italia sono state di tipo prototipale, in particolare ISWEC, REWEC3, e R115/H24, senza avere raggiunto ancora carattere di generazione consistente immessa in rete.

TRL (TECHNOLOGY READINESS LEVEL)

In campo internazionale, un numero limitato di tecnologie di punta hanno raggiunto un TRL 7-8. Il processo di sviluppo e di qualifica è in fase avanzata, mentre non è ancora stato raggiunto il definitivo take-up industriale.

Fra le tecnologie nello stato di sviluppo più avanzato si possono nominare: PB3 Power Buoy, Wavedragon, LIMPED, Pelamis Wave Power, Oyster, SeaGen, Verdant Power, Free Flow, Hammerfest Strom e Open Hydro.

La situazione è solo di poco indietro per le tecnologie sviluppate in ambito nazionale, con un TRL stimabile in 6-7, riconducibile ad alcune tecnologie molto promettenti che sono ancora in fase di sperimentazione pre-industriale in ambiente operativo rilevante (cioè in mare).

La tecnologia di tipo Point-Absorber sviluppata dal DICAM è allo stadio di sviluppo di laboratorio (TRL 3) e non esistono installazioni prototipali in mare. Analogamente, le applicazioni per lo sfruttamento dell'energia ondosa della tecnologia Reciprocating Linear Alternator (RLA) sono ancora in fase di analisi di laboratorio, mentre il WaveSAX sviluppato da RSE è arrivato alla prova del sistema di controllo e misura del PTO in vasca marina (TRL5).

RELAZIONI CON LE FONTI ENERGETICHE

La tecnologia consente di trasformare l'energia presente nelle onde del mare in energia elettrica per alimentare i fabbisogni di comunità costiere e sistemi elettrici nazionali.

A questo scopo è integrabile con:

- Fotovoltaico – alcuni pannelli fotovoltaici sono stati installati sopra il sistema per verificare il funzionamento di tali tecnologie offshore. Questo garantirebbe il risparmio di vaste aree di territorio emerso
- Piattaforme offshore – sistema integrabile per l'ottimizzazione dello sfruttamento dello spazio marino di rispetto impiegato da tali infrastrutture. Oltre a poter fornire loro energia, il sistema è anche in grado di massimizzare la produzione elettrica specifica per area occupata
- Eolico offshore – in modo simile alle piattaforme offshore, alcune tipologie di sistemi per energia dalle onde possono essere integrati efficacemente all'interno di parchi eolici offshore, massimizzando lo sfruttamento di aree marine adibite alla produzione di energia
- Smart grid – tecnologie come la ISWEC si integrano molto bene con altre fonti rinnovabili (fotovoltaico, eolico, etc.) all'interno di reti intelligenti. Un progetto è terminato nel Dicembre 2015 presso l'isola di Pantelleria (EU-FP7 SINGULAR. (Partecipanti: ENEA, Politecnico di Torino, WaveforEnergy)
- Sistemi di accumulo di energia.

Alcuni modelli di controllo dinamico di sistemi combinati (onde e correnti) sono attualmente in fase di studio, in modo da facilitare l'integrazione con le reti elettriche [8].

VERSATILITÀ (CAPACITÀ DI IMPATTARE SU PIÙ SETTORI)

Dal punto di vista economico/occupazionale, la tecnologia può avere un forte impatto in ambito industriale in vari settori tra i quali:

- meccanica, per la costruzione dei meccanismi di conversione dell'energia ondosa in energia meccanica, per i sistemi di stabilizzazione ed ormeggio
- elettrica, per la componentistica dei sistemi di conversione da energia meccanica in energia elettrica e per la connessione alla rete elettrica nazionale
- elettronica, per i sistemi di controllo dei flussi energetici tra dispositivo e rete elettrica.

In questi settori esistono piccole e medie aziende italiane leader in campo internazionale che possono trarre beneficio dal nascente settore dell'energia dal mare. Un altro aspetto è l'impatto, non secondario, legato alle attività di supporto alla installazione, operazione, manutenzione dei dispositivi in mare. Si tratta di una filiera industriale che coinvolge in prima misura la cantieristica navale e le compagnie armatoriali che forniscono navi da lavoro per il supporto logistico alle strutture in mare.

La disponibilità di energia pulita e rinnovabile da fonte marina in aree costiere remote e nelle isole potrà avere un notevole effetto per lo sviluppo delle economie locali, con la creazione di nuovi posti di lavoro per l'installazione e la manutenzione dei sistemi. È prevedibile anche un miglioramento della qualità della vita delle popolazioni locali e del surplus legato ai flussi turistici stagionali, si pensi per esempio alla possibilità di rifornire di energia impianti locali di desalinizzazione dell'acqua per uso potabile.

POTENZIALE DI DIFFUSIONE IN AMBITO NAZIONALE

Nello sfruttamento del moto ondoso, l'Italia può trarre vantaggio dal suo sviluppo costiero e dal fatto che l'impatto ambientale di questa tecnologia risulta inferiore a quello delle altre principali fonti rinnovabili terrestri già in uso nel paese. Come dimostrato da ENEA, il potenziale energetico del moto ondoso lungo le coste italiane è molto vario, e presenta i suoi massimi valori lungo la costa occidentale della Sardegna (12 kW/m) e Nord-occidentale della Sicilia (7 kW/m) (Figura 1). Mentre la costa tirrenica e quella ligure presentano un interessante potenziale energetico (3-4 kW/m), quello della costa adriatica è invece più basso, in generale inferiore a 2 kW/m [11]. Questo fattore condiziona l'applicabilità di talune tecnologie soltanto nelle zone di maggiore potenziale (isole e costa di ponente) [2].

Data la numerosità dei porti italiani e la facilità con cui è possibile inserire un dispositivo REWEC o WaveSAX all'interno di una diga portuale, non si ravvisano ostacoli rilevanti per la diffusione della tecnologia. Si evidenzia che uno sviluppo avanzato delle tecnologie può condurre alla esportazione sui mercati esteri di unità prodotte in Italia creando un ottimo sistema di indotto.

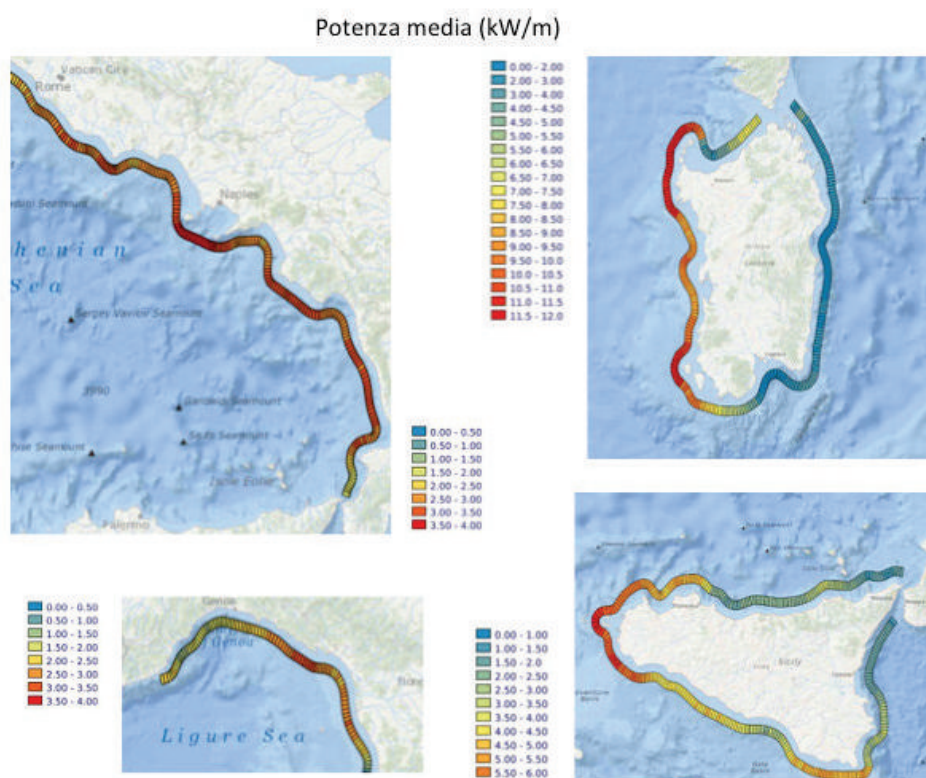


Figura 1 Potenziale energetico del moto ondoso nelle coste italiane

IMPATTO E SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

Le tecnologie che sfruttano l'energia del moto ondoso hanno il pregio di non interferire con le altre attività produttive che insistono sulla fascia costiera del territorio nazionale, quali l'industria ittica e il turismo. Sono caratterizzate da uno scarso uso del suolo e da un limitato impatto visivo e ambientale, siano esse strutture offshore delocalizzate in mare e in gran parte immerse, che tecnologie che si appoggiano a strutture costiere quali ad esempio le dighe foranee.

Queste tecnologie sono applicabili con successo in aree costiere remote e nelle piccole isole, riducendo in questo modo la necessità di termogeneratori locali alimentati a combustibili fossili.

La tecnologia ISWEC, di cui un prototipo è già in fase di sperimentazione in mare, non contiene liquidi pericolosi, non emette rumore né radiazioni elettromagnetiche; l'impianto è mobile e nessuna parte meccanica in movimento è immersa in acqua minimizzando da un lato l'usura del dispositivo e, dall'altro, il rischio di spillamenti in acqua; la manutenzione è semplice grazie al diretto accesso alle apparecchiature e il sistema di ormeggio ha un impatto sul fondale quasi nullo. L'impatto visivo è ridotto al minimo grazie alla galleggiabilità a pelo d'acqua. Similmente, anche le tecnologie con installazioni costiere presentano un basso impatto ambientale. Ad esempio, la tecnologia REWEC3 "trasforma" una diga portuale da infrastruttura "passiva" a infrastruttura "attiva", in grado di produrre energia elettrica dalle onde di mare.

Emissioni CO₂/MWh

I dati riferiti alla tecnologia ISWEC di tipo mediterraneo dimostrano sulla base degli studi e sperimentazioni finora condotte emissioni di CO₂ pari a 170 kg/MWh.

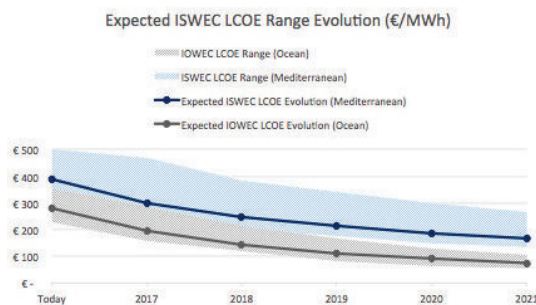
Emissioni CO₂/MWh evitate

Il fattore di italiano di conversione per la rete nazionale, pubblicato nel rapporto ambientale ENEL 2009, è pari a 440 kg/MWh. Utilizzando il dato di emissioni di CO₂ di un dispositivo ISWEC, pari a 170 kg/MWh, si ricava che le emissioni nette di CO₂ evitate sono pari a 270 kg/MWh. Un sistema ISWEC da 100 kW porterebbe quindi ad un risparmio netto di 68 ton annue di CO₂.

EFFICIENZA, TEMPO DI VITA E RENDIMENTO PREVISTI

L'efficienza di un sistema di generazione dal moto ondoso dipende dalla specifica tecnologia adottata, mentre la vita produttiva per una installazione viene generalmente stimata tra 15 e 20 anni.

I dati che seguono sono riferiti alla tecnologia ISWEC sulla base degli studi e sperimentazioni finora condotte. Il sistema presenta un fattore di efficienza (capacity factor) compreso tra 25%-45%. La vita utile del sistema è pari a minimo 20 anni. Nell'immagine, si evidenzia il costo dell'energia stimato prodotta dal sistema, nella sua versione Mediterranea e Oceanica. Per arrivare ai livelli obiettivo di grid parity saranno necessari forti investimenti e ulteriori sviluppi della tecnologia.



PAYBACK TECNOLOGICO, DI INVESTIMENTO E DI OPERATION AND MAINTENANCE PREVISTO

Nel caso del dispositivo ISWEC in corso di sperimentazione al largo dell'isola di Pantelleria, il tempo di payback per raggiungere un rientro a regime per la tecnologia presentata è previsto in 7 anni per il prototipo adatto allo scenario Mediterraneo. La versione progettata per l'oceano ha un tempo di payback previsto di 5 anni.

PRINCIPALI OSTACOLI ALLO SVILUPPO

Le attività di sperimentazioni sono condotte prevalentemente nell'Oceano Atlantico, dove il regime energetico è considerevolmente più intenso che in Mediterraneo; ciò non vuol dire che l'Italia e gli stati mediterranei siano destinati a restare fuori da questo settore, ma indica che le barriere tecnologiche e non-tecnologiche necessitano di maggiori sforzi di ricerca per essere abbattute. I principali ostacoli allo sviluppo della tecnologia per la generazione di energia dalle onde sono:

- elevato CAPEX (investimento per capitale) iniziale dei sistemi che cominciano ad affacciarsi al mercato
- carenza di professionalità idonee per installazione e manutenzione. Supply chain in via di definizione e creazione
- presenza a livello nazionale di normative complesse per il processo di permitting e installazione dei sistemi
- forme incentivanti talvolta assenti o poco stabili (nuovo conto energia Italiano non ancora uscito, mancanza del disegno di legge per la produzione di energia nelle isole minori Italiane)
- per un pieno sviluppo è necessario incrementare gli investimenti, puntando su sistemi meritocratici di valutazione dei progetti (ad esempio coinvolgendo esperti internazionali nelle procedure di valutazione).

POTENZIALITÀ DI SVILUPPO TECNOLOGICO IN AMBITO NAZIONALE

Se confrontata con altre tecnologie più mature, il wave energy è ancora in pieno sviluppo, in una fase di transizione tra la ricerca e sviluppo e quella commerciale/industriale. I principali settori che ne possono beneficiare sono molteplici: nautico, elettrico come sistemi di estrazione e accumulo, integrazione con le smart grid, ITC e settore meccanico. Ma anche protezione e ricerca sugli impatti ambientali, monitoraggio e forecasting dei fenomeni meteorologici, fino al potenziamento delle infrastrutture atte alla gestione e manutenzione dei dispositivi. L'impatto sul PIL, sebbene modesto da un punto di vista di energia elettrica prodotta sul suolo nazionale (almeno nel breve periodo), può rivelarsi importante soprattutto nelle zone insulari. È prevedibile,

viste le attività attualmente in essere, la nascita di aziende con impatti di assoluta rilevanza per il PIL dell'intero paese oltre che per alcune aree regionali specifiche.

POTENZIALITÀ DI ESPORTAZIONE DELLA TECNOLOGIA

Con riferimento alla tecnologia ISWEC, è in via di sviluppo una macchina prototipale che sarà testata in acque oceaniche. Ad oggi, il sito considerato più interessante per il test risulta essere il Cile.

Questa tecnologia è molto promettente da un punto di vista di impatto sul PIL in modo diretto, e per le sue potenzialità di esportazione. Secondo previsioni della Commissione Europea, la risorsa delle onde del mare sulle coste europee è pari a 270 GW. L'importanza di questo numero è chiara se considerata all'attuale potenza installata in Europa 28, 954 GW, o quella nucleare, 123 GW.

La possibilità per l'Italia di entrare nel medio termine come paese esportatore di questa tecnologia è legata soprattutto allo sviluppo delle tecnologie presentate, alcune di queste di sviluppo prettamente italiano.

POSSIBILI RICADUTE PER IL SISTEMA INDUSTRIALE, DEI TRASPORTI, RESIDENZIALE E NEL TERZIARIO

Il trasporto della tecnologia presso i siti di installazione designati può influenzare le emissioni di tale settore. Tuttavia, l'utilizzo della tecnologia può portare particolari vantaggi emissivi soprattutto lungo la rete costiera.

MAGGIORI ATTORI ITALIANI COINVOLTI

Utilizzo della tecnologia

Utility: ENEL e TERNA per lo sfruttamento industriale e l'immissione dell'energia prodotta nella rete.

- ENEL Green Power, per lo sviluppo di nuove iniziative industriali per lo sfruttamento delle tecnologie
- Autorità Portuali: Civitavecchia e Salerno per la tecnologia REWEC3
- Amministrazioni locali: come il Comune di Pantelleria per la tecnologia ISWEC
- Marina Militare: la produzione di energia dal mare tramite sistemi ISWEC potrà diventare un asset importante per tale corpo militare
- ADSP - Autorità di sistema portuale del Mare Tirreno Centro Settentrionale: interessata all'implementazione del dispositivo WaveSAX
- Autoridad Portuaria de Valencia (Spagna), interessata all'implementazione del sistema WaveSAX.

Sviluppo della tecnologia

La lista di imprese nazionali coinvolte nelle tecnologie descritte include:

- Waveforenergy s.r.l.
- Waveenergy s.r.l.
- Grandi Lavori Fincosit S.p.A
- Impresa Pietro Cidonio S.p.A
- Umbra Cuscinetti S.p.A.
- FaggiolatiPumps S.p.A.
- 40SouthEnergy.

A queste vanno aggiunte le numerose industrie manifatturiere aventi rilevanza nella filiera già citate in relazione alle attuali attività prototipali, ma la lista è destinata ad allungarsi notevolmente nell'immediato futuro, coinvolgendo sia SME che grandi imprese. In particolare, le attività di sviluppo tecnologico coordinate da RSE coinvolgono sia il settore privato (ENEL Green Power, EPF Elettrotecnica e Persico Marine) sia quello scientifico (Universalità della Tuscia, Università La Sapienza di Roma e CNR-INSEAN).

Sono inoltre ad oggi coinvolti in collaborazione con Wave for Energy: ENEL, Siemens italia, SKF italia, National Instruments Italia, Comune di Pantelleria, Politecnico di Torino, ENEA e CNR.

ECCellenze in territorio nazionale

Il gruppo di ricerca operativo nel Natural Ocean Engineering Laboratory (NOEL – www.noel.unirc.it) dell'**Università Mediterranea di Reggio Calabria** è una eccellenza in campo internazionale, per lo studio delle onde di mare, e per lo sviluppo di Wave-energy converters. L'attività di ricerca presso il NOEL si svolge in collaborazione con ENEA (attività iniziata nel 2012, in corso); l'**Università La Sapienza di Roma** (progetto POSEIDONE, 2011-2014, concluso); la **Scuola Superiore S. Anna di Pisa** (in corso), oltre a centri internazionali. Il **Politecnico di Torino** e la società **Waveforenergy** (spin-off del Politecnico) hanno ideato e lavorano da anni alle particolari tecnologie del tipo "floating pitching wave energy converters", che, si basano su dispositivi flottanti, installati con ormeggio lasco al fondale marino. L'**Università di Bologna** - DICAM e il **Politecnico di Milano** collaborano allo sviluppo di un dispositivo di tipo assorbitore puntuale che trasforma l'energia meccanica contenuta nelle onde oceaniche in energia elettrica, con caratteristiche adatte ai mari con limitata densità di energia ondosa come il Mediterraneo. **Umbra group** svolge attività per lo sviluppo e realizzazione di generatori per la conversione di moti lineari in energia elettrica.

Le attività di studio per estendere questa tecnologia allo sfruttamento dell'energia delle onde, del vento e delle correnti marine viene portata avanti in collaborazione con la società SeaPower Scarl e con la **Università degli studi dell'Aquila** e l'**Università Federico II di Napoli**. **Faggiolati Pumps, S.p.A.** si occupa dello sviluppo e messa a punto di turbine di tipo Wells da impiegare nelle unità REWEC3 progettate per il porto di Civitavecchia, nell'ambito della collaborazione con l'Università della Calabria. Il **Politecnico di Bari** studia sistemi di controllo del REWEC mentre **RSE** (Milano) si occupa di identificare il potenziale italiano, di fare misure in situ (onde e correnti) con la collaborazione dell'Università della Tuscia e dello sviluppo del dispositivo WaveSAX. Tra i centri di ricerca nazionali, **ENEA** e alcuni istituti del **CNR** svolgono attività di rilevanza internazionale e conducono attività di supporto ad aziende nazionali ed estere interessate allo sviluppo delle tecnologie.

Le attività svolte riguardano settori complementari.

- **ENEA**: è impegnato nella caratterizzazione della risorsa energetica. In particolare, ha eseguito la valutazione della risorsa nel bacino Mediterraneo utilizzando modelli numerici per la simulazione del moto ondoso [11]. Tale valutazione può essere utilizzata per determinare i siti marini più promettenti per l'installazione dei dispositivi. Effettua inoltre previsioni dell'energia ondosa ad alta risoluzione spaziale con una catena di modelli numerici per il supporto operativo alla gestione dei dispositivi già installati lungo le coste italiane [16]
- **CNR**: presenta diverse attività: si occupa dello sviluppo e la messa a punto di tecniche e strumenti per la progettazione dei sistemi di generazione e conversione dell'energia marina (in particolare, modelli computazionali sviluppati in sede e la sperimentazione di modelli in scala dei dispositivi); della modellazione e sperimentazione delle componenti elettriche dei sistemi di conversione dell'energia e dello sviluppo delle strategie di controllo dei flussi di energia dalla macchina verso la rete elettrica; dell'analisi di impatto ambientale e delle problematiche connesse alle installazioni delle macchine in ambiente marino. Di particolare rilevanza gli impianti di prova (bacini di rimorchio e canali di circolazione) tra i più importanti al mondo per queste applicazioni.
- **RSE**: ha effettuato studi sulla disponibilità delle risorse da onde e correnti per la produzione di energia elettrica lungo le coste italiane. I risultati sono consultabili tramite i WebGIS MARENERGY (<http://map.rse-web.it/mares/map.phtml>) e TRITONE (<http://map.rse-web.it/tritone/map.phtml>) che è uno strumento più ampio dedicato alla gestione integrata delle aree marine e costiere in relazione allo sviluppo delle rinnovabili offshore. Inoltre, RSE ha inventato e sta sviluppando il dispositivo WaveSAX, con la collaborazione di enti privati italiani e centri di ricerca europei di eccellenza [6] e [7].

BEST PRACTICES

Ambito Internazionale:

Le tecnologie per lo sfruttamento dell'energia delle onde sono caratterizzate dalla attuale mancanza di standard. Esiste una varietà enorme di dispositivi ed è impossibile fornire una casistica esauriente. Si segnalano solo alcuni esempi relativi alle tecnologie più lungamente sperimentate:

- **PELAMIS**: sviluppato in Inghilterra, consiste in cilindri oscillanti il cui moto aziona dei motori idraulici. Il primo dispositivo di larga scala al mondo che sia stato connesso alla rete elettrica (2001). Testato a lungo in Portogallo e successivamente presso gli impianti EMEC, alle isole Orcadi, Scozia. Il progetto è al momento bloccato. <http://www.emec.org.uk/about-us/wave-clients/pelamis-wave-power/>
- **OYSTER**: un sistema a profili oscillanti fissati al fondo marino in zone con bassi fondali. Un sistema idraulico pompa acqua ad alta pressione in una condotta che raggiunge una cabina a riva dove si trovano le turbine di trasformazione. Test di validazione a partire dal 2005, tuttora in corso (società Aquamarine). <http://www.aquamarinepower.com/>
- **WAVE DRAGON**: tecnologia di tipo overtopping device sviluppata in Danimarca, uno tra i primi esempi di sistema d'alto mare per la produzione dalle onde. Una lunga fase di sperimentazione per ora interrotta. <http://www.wavedragon.net/>
- **PICO PLANT**: del tipo a colonna d'acqua oscillante (OWC) alle isole Azorre, Portogallo, E' stato un impianto pionieristico, la cui sperimentazione partì nel 1999, ma con difficoltà operative. Di recente è stato trasformato in una stazione di prova usata per ricerca. www.pico-owc.net/

Ambito nazionale:

- A partire dall'Agosto 2015 un impianto da 100 kW **ISWEC 100** è stato installato al largo di Pantelleria. Il dispositivo è cablato e collegato alla rete, e i dati sperimentali vengono raccolti grazie a un opportuno sistema di acquisizione dati presente a bordo. Il dispositivo è sotto test, ma presenta già allo stato attuale delle ottime potenzialità in termini prestazionali. Una variante di questo dispositivo, chiamato **PEWEC** ((Pendulum Wave Energy Converter), è stato realizzato dall'ENEA in scala 1:12. I test di produttività sono stati condotti presso la vasca navale del CNR.
- Un primo prototipo di diga di tipo **U-OWC REWEC3** è stato inserito nell'ambito dei lavori di ampliamento del Porto di Civitavecchia. L'opera co-finanziata nell'ambito di un progetto europeo di tipo TEN-T con Autorità Portuale di Civitavecchia e Università Mediterranea, prevede la costruzione di 17 cassoni portuali ciascuno lungo 33,94 metri. Il primo cassone è già operativo, con turbina già installata. La progettazione e il monitoraggio sono supervisionate dalla società Wavenergy.it s.r.l. Spin-Off dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria. Potenzialmente, a Civitavecchia potranno essere installate turbine per 2.72MW. Un secondo impianto da 1MW sarà realizzato a Salerno, nel Porto Commerciale (progetto dell'Autorità

Portuale di Salerno). Il monitoraggio, in corso di esecuzione su due celle attive dell'impianto, ha dimostrato che nel sistema si riesce a raggiungere la risonanza naturale. Negli impianti convenzionali questa situazione viene raggiunta solo in particolari condizioni e con l'ausilio di complicati sistemi. Il REWEC3 ha dato risultati notevoli anche come convertitore trasformando per più del 70% l'energia delle onde.

- **R115/H24**: avviata la sperimentazione al largo delle coste toscane di un prototipo con potenza nominale di 150 kW. Studi condotti finora fanno prevedere una efficienza energetica del 20-35% nei mari italiani.
- **RLA**: considerato come generatore di energia generico è stato qualificato, sia nelle sotto-componenti che nell'insieme completo. Per questo motivo il TRL raggiunto è pari a 8. Considerando l'uso come generatore di energia dal mare, l'intero dispositivo è stato testato in laboratorio e in vasca con ottimi risultati, sia riguardo l'efficienza che l'affidabilità del sistema.
- **WaveSAX**: il dispositivo WaveSAX sviluppato da RSE, del tipo OWC (Oscillating Water Column), permette all'acqua marina di oscillare verticalmente all'interno di una condotta, con pressione e velocità ottimali da fare girare una turbina idraulica collegata ad un generatore elettrico. Il dispositivo WaveSAX è stato concepito per essere installato in strutture marittime costiere, ad esempio moli portuali, barriere di protezione, ecc., nelle condizioni dei moti marini del Mediterraneo [5] e [11]. Il WaveSAX, in scala 1:5, è stato testato nel laboratorio del ECN (Nantes, Francia) e presso il CNR INSEAN (Roma) ed è in programma l'installazione di un prototipo nell'antimurale del Porto di Civitavecchia [6].

BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- [1] Rapporto 2014 del Comitato Specialistico su Energia dal Mare dell'International Towing Tank Conference (ITTC)
- [2] M. Seed, D. Langston: "Wave Energy – Towards Commercialisation" – 3rd International Conference on Ocean Energy ICOE 2010
- [3] D. Vicinanza, L. Margheritini, J.P. Kofoed, M Buccinno.: "The SSG Wave energy Converter: Performance, Status and Recent Developments", Journal Energies n. ISSN 1996-1073 (2012)
- [4] Rapporto Annuale IEA-OES, (2014)
- [5] M. Peviani. F.Carli.: "Mappa del potenziale energetico dal moto ondoso nelle coste italiane" (Rapporto RSE n. 11000809) 2011
- [6] Agate G. , Amicarelli A. Danelli A., Peviani M. : "Analisi fluidodinamica di un prototipo per la conversione di energia da moto ondoso: ottimizzazione della componente fissa e stime preliminari di potenza assorbita con la girante (Rapporto RSE n. 14001669) 2014
- [7] Peviani M., Danelli A., Agate G., Bourdier S.: "WAVESAX RSE2, addressed to test an innovative device to transform wave power into electric energy in ports and harbours" (MARINET - Infrastructure Access Report-) 2015
- [8] Mollaghan D. et al.: "Generic Dynamic Modelling for Grid Integration of Ocean Energy Devices". 3rd International Conference on Ocean Energy (Bilbao, Spain) 2010
- [9] A Douglas, G P Harrison, J P Chick, 2004, Life cycle assessment of the Seagen marine current turbine, Department of Engineering and Electronics, University of Edinburgh, Edinburgh, UK;
- [10] European Ocean Energy – Industry Vision Paper, 2013
- [11] L. Libert, A. Carillo and G. Sannino: "Wave energy resource assessment in the Mediterranean, the Italian perspective" Ren. En. 50 (2013) pp. 938-949
- [12] D. Magagna , A. Uihlein - Ocean energy development in Europe: Current status and future perspectives, International Journal of Marine Energy, pp. 84-104 no. September 2015 vol. 11
- [13] B. Zanuttigh, E. Angelelli -ENEA – Ricerca Sistema Elettrico - Analisi delle attuali tecnologie esistenti per lo sfruttamento della energia marina dai mari italiani, Report RdS/2011/72
- [14] International Energy Agency – World Energy Outlook 2015
- [15] Sustainable Energy Authority of Ireland (SEAI)– Ocean Energy Roadmap, <http://www.seai.ie>
- [16] A. Carillo, G. Sannino and E. Lombardi: "Wave energy potential: A forecasting system for the Mediterranean basin". Speciale ENEA - EAI II-2015 Ocean energy: ongoing research in Italy