

Sviluppare il potenziale dell'energia del mare e sfruttare le opportunità che offre la configurazione geografica dell'Italia bagnata per oltre 8.000 km dal Mediterraneo, è la grande sfida tecnologica che l'Italia deve anche affrontare per rispondere alla sempre più impellente necessità di disporre di energie pulite e rinnovabili.

Rispetto a fonti più mature e consolidate come eolico, solare e biomasse, lo sfruttamento della forza di onde, correnti e maree avviene attualmente solo grazie a pochi prototipi, ma le potenzialità sono molto promettenti, come risulta dal lavoro che ENEA ed altre Istituzioni pubbliche e private stanno effettuando. L'ENEA, in particolare, sta raccogliendo nuovi dati ed informazioni da inserire nei modelli oceanografici del Mediterraneo già sviluppati nei propri laboratori, per elaborare una mappa dei siti che meglio si prestano alla realizzazione di impianti per la produzione di energia dalle correnti, dalle maree e dal moto ondoso.

Molte sono le possibilità di utilizzo in Italia dell'energia dal mare attraverso sia le infrastrutture esistenti, come piattaforme marine e frangiflutti, che sistemi integrati poco invasivi e a basso impatto ambientale

Prospettive di sviluppo dell'energia dal mare per la produzione elettrica in Italia

■ Gianmaria Sannino, Luca Liberti, Adriana Carillo, Andrea Bargagli, Emanuela Caiaffa

Sebbene l'idea di estrarre energia dal mare risalga alla fine del XVIII secolo, quando i primi brevetti furono depositati, solo recentemente, a causa del riscaldamento globale e all'esaurimento delle riserve fossili, si è riaperto l'interesse nei confronti dell'energia dal mare.

In Europa dal 1986 la Commissione Europea (CE) sostiene l'attività di ricerca e sviluppo sulla conversione dell'energia marina, anche se i primi sostegni effettivi

risalgono al 1993, quando la CE ha finanziato una serie di conferenze internazionali di energia del moto ondoso, come ad esempio quella ad Edimburgo (UK), e poi a seguire le conferenze tenutesi a Lisbona (PT) nel 1995, a Patrasso (GR) nel 1998 e ad Aalborg (DK) nel 2000.

L'energia può essere estratta dal mare attraverso tecnologie che utilizzano l'acqua di mare come forza motrice o che sfruttano il suo potenziale chimico o termico. In particolare possono essere individuate sei fonti distinte:

- **Onde:** energia cinetica trasferita dal vento alla superficie degli oceani.
- **Maree:** energia potenziale derivata dall'attrazione gravitazionale luni-solare degli oceani.

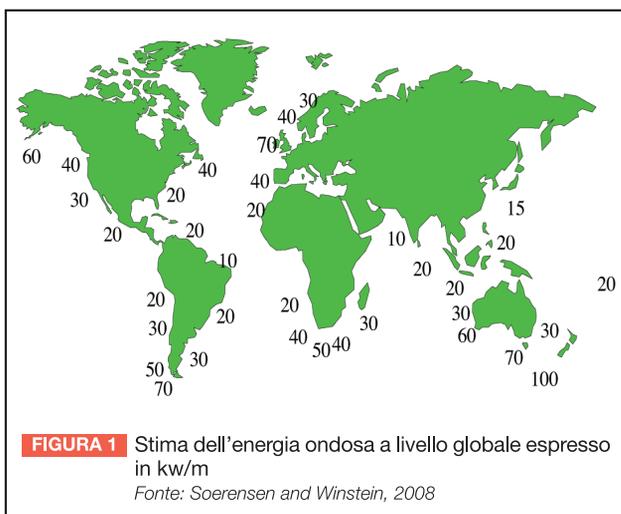
■ Gianmaria Sannino, Adriana Carillo, Andrea Bargagli, Emanuela Caiaffa
ENEA, Unità Tecnica Modellistica Energetica Ambientale

■ Luca Liberti
ISPRA

- **Correnti di marea:** energia cinetica delle correnti marine derivate dall'innalzamento e abbassamento della colonna d'acqua a causa delle maree.
- **Correnti marine:** energia cinetica delle correnti dovute alla differenza di densità tra masse d'acqua e/o al vento superficiale.
- **Gradienti di temperatura:** energia termica derivata dalla differenza di temperatura tra gli strati superficiali degli oceani riscaldati direttamente dal sole e gli strati profondi più freddi.
- **Gradiente di salinità:** energia osmotica derivata dalla differenza di salinità tra gli oceani e l'acqua dolce presente alla foce dei fiumi.

Alcune di queste risorse, come le correnti marine e il gradiente di salinità, sono distribuite a livello globale, mentre altre forme di energia marina sono presenti in maniera complementare tra di loro. L'energia termica degli oceani, per esempio, è principalmente presente ai tropici (latitudine 0° a 35°), mentre l'energia delle onde si concentra alle medie latitudini (tra 30° a 60°, Figura 1). Inoltre, mentre alcune risorse energetiche marine, come ad esempio quella termica, le correnti di marea, e i gradienti di salinità, possono essere usate per generare elettricità in maniera continua, altre sono soggette ad un'alta variabilità temporale e per questo possono produrre energia solo in maniera discontinua.

Sebbene una valutazione approfondita della risorsa energetica marina sia ancora in fase preliminare, le



prime stime a livello globale hanno indicato come potenziale energetico teorico nelle sue diverse forme 7400 EJ/yr (1 Exajoule = 10^{18} joule) (Rogner et al., 2000). Di questi, la quasi totalità (7200 EJ/yr) deriva dal gradiente di temperatura, mentre le altre forme di energia sono così distribuite: 83 EJ/yr dal gradiente di salinità, 79 EJ/yr dalle maree, e 65 EJ/yr dalle onde. Per avere un termine di paragone, il consumo energetico mondiale nel 2006 è stato di circa 470 EJ (IEA, 2006). Recentemente Krewitt et al. (2009) hanno invece indicato come potenziale energetico globale degli oceani 3249 EJ/yr, con una distribuzione, nelle sue diverse forme, sostanzialmente simile alla precedente.

Come si è detto, esistono diverse fonti di energia dal mare ed ognuna di queste richiede una specifica tecnologia per la conversione in energia elettrica. Numerosi progetti di ricerca sono stati indirizzati soprattutto alla conversione di energia dalle onde e dalle correnti di marea e taluni hanno ormai raggiunto la fase di prototipo dimostrativo. Tuttavia, nonostante molti di questi dispositivi abbiano dimostrato la loro applicabilità anche in difficili condizioni operative, come mareggiate oceaniche, non si è ancora arrivati alla loro fase di commercializzazione (una lista si trova nel sito <http://www.equimar.org/equimar-project-deliverables.html>). Solo un dispositivo di conversione dell'energia ondosa, il PELAMIS, ideato dalla Pelamis Wave Power Ltd, risulta pronto alla commercializzazione (Figura 2). La sola tecnologia in uso che commercializza l'energia prodotta è quella relativa agli sbarramenti di marea, il cui esempio più significativo è rappresentato da una installazione da 240 MW presente dal 1966 a La Rance, nella zona nord-ovest della Francia. Lo scorso agosto è stato inaugurato un altro impianto a sbarramento a Shihwa, in Corea del Sud. I lavori di costruzione di questo impianto sono durati sette anni, e il prossimo dicembre la centrale da 254 MW entrerà definitivamente a regime.

Il Mediterraneo è un mare marginale, e come tale è caratterizzato da una circolazione marina con associati gradienti di temperatura sensibilmente più deboli rispetto a quelli oceanici. Queste caratteristiche limitano le fonti energetiche disponibili nel Mediterraneo alle correnti di marea, alle onde, e alla differenza di salinità.



FIGURA 2 Dispositivo di conversione dell'energia ondosa PELAMIS

Fonte: Pelamis Wave Power Ltd

L'energia del moto ondoso disponibile per la conversione in energia elettrica nel Mediterraneo è relativamente bassa se paragonata a quella che può essere ricavata dagli oceani: le onde, infatti, risentono delle dimensioni ridotte del bacino e sono caratterizzate da altezze significative e periodi minori rispetto a quelle oceaniche.

Le correnti di marea rappresentano la risposta barotropica delle masse d'acqua marina alle fluttuazioni della superficie del mare dovuta alle maree; sono quindi movimenti orizzontali di acqua che risentono fortemente della variazione di profondità del fondo marino, e si intensificano negli stretti e nei canali. Per quanto riguarda i mari che circondano l'Italia, le regioni più interessanti in termini di correnti di marea sono lo stretto di Messina, la laguna di Venezia, il canale di Sicilia e le Bocche di Bonifacio in Sardegna. Uno dei vantaggi più evidenti legati allo sfruttamento dell'energia delle correnti di marea è rappresentato dalla possibilità di valutare in maniera quasi esatta l'energia teorica disponibile annualmente in un sito. Questa fonte di energia rinnovabile è infatti indipendente dalle condizioni atmosferiche e dai cambiamenti climatici ed essendo legata esclusivamente alle fasi lunari è possibile conoscerne, per un dato sito, la velocità alle diverse ore del giorno, per ogni giorno

dell'anno, potendo in questo modo predire con matematica certezza l'energia estraibile.

Il possibile sfruttamento di queste potenzialità, tuttavia, è strettamente legato a una conoscenza dettagliata della velocità delle correnti, dell'altezza delle onde e dall'intensità delle maree. Le mappe che descrivono le correnti marine disponibili per il Mar Mediterraneo, e i mari italiani in particolare, sono state realizzate interpolando spazialmente i dati sperimentali ottenuti dalle decine di campagne oceanografiche che si sono succedute negli ultimi quaranta anni. Nonostante la grossa mole di dati utilizzati, il risultato finale non può essere considerato sufficiente ai fini della valutazione del potenziale energetico delle correnti di marea, anche a causa della disomogeneità spaziale e della discontinuità temporale dei dati raccolti.

Un discorso analogo vale per la stima dell'energia associata al moto ondoso dei mari italiani. Ad oggi il potenziale energetico è valutato mediante dati registrati dalle 15 boe della Rete Ondametrica Nazionale (RON), attiva dal 1989 e gestita dal Servizio Mareografico dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA). Le boe RON sono distribuite lungo tutta la fascia costiera italiana secondo lo schema riportato in Figura 3. I dati ottenuti dall'analisi delle boe RON, nonostante costituiscano una fonte insostituibile di informazioni, non forniscono una copertura spaziale adeguata per l'individuazione dei siti costieri adatti all'estrazione dell'energia ondosa. Di contro, gli attuali modelli numerici hanno raggiunto un elevato livello di complessità, tale da renderli lo strumento più idoneo alla descrizione dettagliata della circolazione marina e del moto ondoso. Uno dei vantaggi più evidenti legati allo sviluppo di modelli numerici per la simulazione delle correnti marine e del moto ondoso è rappresentato dalla possibilità di valutare in anticipo, e con un discreto grado di affidabilità, l'energia teorica disponibile nel sito in cui si è deciso di installare un dispositivo di conversione. La possibilità di valutare l'energia teorica disponibile nel sito anche per il prossimo futuro, secondo gli scenari climatici per esempio suggeriti dall'IPCC, costituisce un ulteriore vantaggio.

In conseguenza di quanto sopra detto, l'Unità Tecnica UTMEA dell'ENEA, nell'ambito dell'accordo di programma tra Ministero dello Sviluppo Economico ed

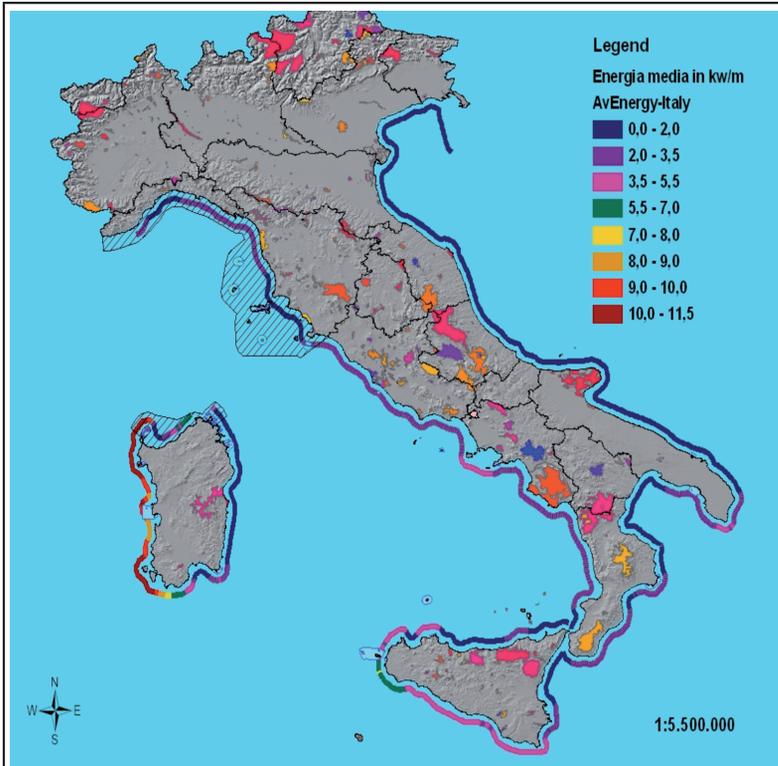


FIGURA 3 Rappresentazione GIS della mappa dell'energia media annuale del moto ondoso disponibile lungo le coste italiane calcolata per il periodo 2001-2010
Fonte: ENEA

ENEA sulla ricerca di sistema elettrico, ha valutato il potenziale energetico del moto ondoso in prossimità delle aree costiere italiane mediante l'uso di strumenti innovativi di modellistica oceanografica.

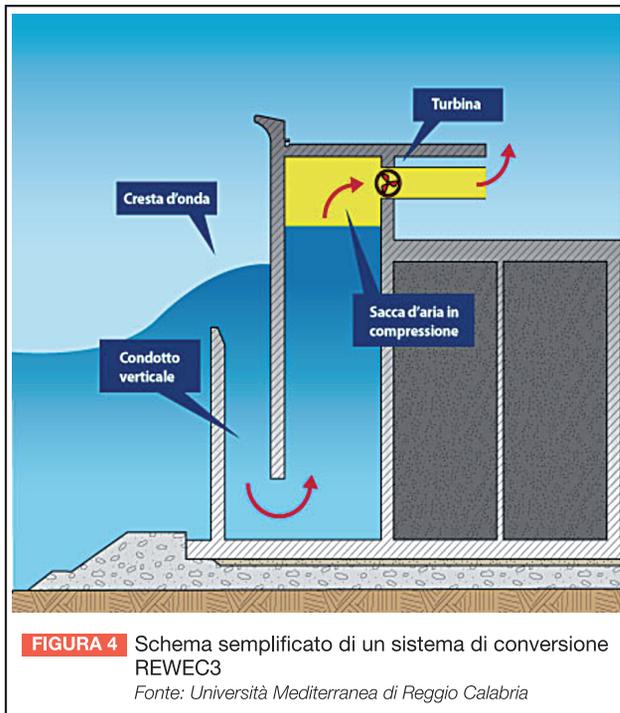
In Figura 3 è riportata la climatologia stagionale del potenziale energetico ondoso lungo la fascia costiera italiana. I dati si riferiscono agli ultimi dieci anni e sono stati ricavati mediante una simulazione numerica effettuata in ENEA con il modello WAM (*WAVE prediction Model*, WAMDI Group 1988). Dalla figura si può notare che le regioni caratterizzate dai valori più elevati sono la Sardegna e la Sicilia. In particolare, l'intera costa occidentale della Sardegna è interessata da valori superiori a 12 kW/m sia in inverno che in autunno, mentre, per quanto riguarda la Sicilia, i siti più significativi si trovano alle due estremità est e ovest della costa meridionale.

Sempre nell'ambito dell'accordo di programma tra Ministero dello Sviluppo Economico ed ENEA sulla ricerca di sistema elettrico, UTMEA ha organizzato lo scorso 16 e 17 giugno il primo workshop italiano dedicato all'energia dal mare. Al workshop *Prospettive di sviluppo dell'energia dal mare per la produzione elettrica in Italia* hanno preso parte i principali esperti italiani operanti nel campo dell'energia dal mare, quali i ricercatori del CNR, dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria, delle Università di Bologna, Padova, Napoli, dei Politecnici di Milano e Torino, della società Ponte di Archimede SpA, e rappresentanti del Gestore dei Servizi Energetici (GSE), della Ricerca sul Sistema Energetico (RSE) e di Terna.

Gli interventi hanno fornito un quadro generale delle attività nel settore dell'energia dal mare in Italia. Sono state illustrate sia le attività di ricerca e sperimentazione di nuovi convertitori di energia da onde e correnti, sviluppati appositamente per i mari italiani, sia recenti stime relative alle risorse disponibili. In particolare, durante il workshop sono stati presentati i risultati relativi ad alcuni dispositivi brevettati in

Italia. Tra questi ricordiamo KOBOLD, il primo prototipo di turbina marina ad asse verticale ideato per lo sfruttamento delle correnti di marea. Il prototipo, nato dalla collaborazione tra il Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale (ADAG) dell'Università Federico II di Napoli e la società Ponte di Archimede SpA, è stato positivamente testato nello Stretto di Messina, dove è operativo da diversi anni. Sempre nel campo dei convertitori delle correnti di marea è stato presentato il prototipo GEM, nato dalla collaborazione tra ADAG e il Parco Scientifico e Tecnologico del Molise. Il prototipo, dopo una fase di sperimentazione in vasca, è pronto per essere installato vicino Venezia.

Per quanto riguarda i convertitori del moto ondoso, è stato presentato il brevetto italiano relativo a una diga a cassoni, denominata REWEC3 (*Reasonant Wave Energy Converter*), per lo sfruttamento dell'energia



ondosa sotto costa. Il cassone Rewec3 (Figura 4), ideato dal Dipartimento di Ingegneria dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria (Arena, 2008), è uno dei brevetti italiani più interessanti. È stato ideato per essere integrato in dighe foranee, quindi in strutture preesistenti delle quali già si conosce l'impatto ambientale. Un altro punto di forza del REWEC3 è il costo relativamente basso. Si tratta di apportare modifiche a cassoni già utilizzati per la costruzione di dighe foranee, con un costo aggiuntivo pari al 5% del totale, facilmente ammortizzabile quando inizia la produzione di energia.

Un altro brevetto interessante presentato al workshop è ISWEC (*Inertial Sea Wave Energy Converter*), un dispositivo galleggiante che utilizza gli effetti giroscopici per convertire l'energia (cinetica e potenziale) delle onde marine in energia elettrica (Bracco, 2011). Il sistema è composto da uno scafo galleggiante completamente sigillato al cui interno ruota in sospensione un volano. Il moto del galleggiante perturba lo stato di moto del volano che, reagendo con un moto relativo di precessione, aziona l'albero di un generatore elettrico che produce energia elettrica. ISWEC, svi-

luppato presso il Politecnico di Torino, è stato concepito espressamente per l'utilizzo delle onde corte e poco potenti tipiche del Mediterraneo. In tali condizioni il sistema esprime il massimo della sua produttività, in quanto la potenza convertibile da ISWEC è proporzionale al quadrato della frequenza dell'onda, per cui inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda.

In conclusione, dal workshop è emerso che, sebbene il potenziale energetico dei mari italiani sia minore di quello dei paesi che si affacciano sull'oceano, un'accurata scelta dei siti e dei relativi dispositivi di conversione di energia ondosa e correnti di marea potrebbe dare un contributo significativo al mercato dell'energia elettrica da fonti rinnovabili in Italia.

A livello europeo, l'ENEA ha aderito al programma congiunto di ricerca sull'energia dal mare (*JP Marine Renewable Energy*) proposto dalla EERA (*European Energy Research Alliance*). Il progetto congiunto ha lo scopo di coordinare la ricerca nel settore dell'energia dal mare e sostenere lo sviluppo di questo settore emergente delle energie rinnovabili in Europa.

Bibliografia

- [1] Arena, F., Ascanelli, A., Romolo, A. (2008) *On design of the first prototype of a REWEC3 caisson breakwater to produce electrical power from wave energy*, Mediterranean Days of Coastal and Port Engineering, PIANC-AIPC, Palermo (Italy), October 7-9.
- [2] Bracco G., Giorelli E., Mattiazio G., *ISWEC: A gyroscopic mechanism for wave power exploitation*, Mechanism and machine theory, pp. 14, 2011, ISSN: 0094-114X, DOI: 10.1016/j.mechmachtheory.2011.05.012
- [3] *Dati Rete Ondametrica Nazionale (RON)*- <http://www.idromare.it/>
- [4] IEA, 2006: *World energy outlook 2006*. International Energy Agency, OECD Publication Service, OECD, Paris. www.iea.org
- [5] Rogner, H.-H., F. Barthel, M. Cabrera, A. Faaji, M. Giroux, D. Hall, V. Kagramanian, S. Kononov, T. Lefevre, R. Moreira, R. Nötstaller, P. Odell, and M. Taylor (2000). Energy resources. In: *World Energy Assessment. Energy and the Challenge of Sustainability*. United Nations Development Programme, United Nations Department of Economic and Social Affairs, World Energy Council, New York, USA, 508 pp.
- [6] Sims, R.E.H., R.N. Schock, A. Adegbulugbe, J. Fenhann, I. Konstantinavičiute, W. Moomaw, H.B. Nimir, B. Schlamadinger, J. Torres-Martinez, C. Turner, Y. Uchiyama, S.J.V. Vuori, N. Wamukonya, and X. Zhang (2007). Energy supply. In *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, and L.A. Meyer (eds.), Cambridge University Press, pp. 251-322.
- [7] Soerensen, H.C. and A. Weinstein, *Ocean Energy: Position paper for IPCC, Key Note Paper for the IPCC Scoping Conference on Renewable Energy*, Lübeck, Germany, January 2008.
- [8] WAMDI-group: S. Hasselmann, K. Hasselmann, E. Bauer, P.A.E.M. Janssen, G.J. Komen, L. Bertotti, P. Lionello, A. Guillaume, V.C. Cardone, J.A. Greenwood, M. Reistad, L. Zambresky and J.A. Ewing, 1988. *The WAM model - a third generation ocean wave prediction model*. J. Phys. Ocean. 18, 1.