Massimiliano Bencardino

Il contributo del mare al fabbisogno energetico: incidenza dei progetti di *ocean energy* a scala mondiale e prospettive di sviluppo del settore

Nel perseguire politiche di sicurezza energetica, di differenziazione e affidabilità degli approvvigionamenti, e di indipendenza energetica, tutti gli Stati sono impegnati nella ricerca di tecnologie che sfruttino maggiormente le fonti rinnovabili. Al centro delle soluzioni perseguibili, vi è certamente l'utilizzo dell'energia del mare, con il cui termine si intende l'energia ricavata in varie forme dai mari e dagli oceani. Essa, con il suo elevato potenziale, potrebbe nel futuro giocare un ruolo importante nell'ambito delle risorse energetiche sostenibili. Il mare infatti costituisce un enorme serbatoio di energia pulita, sfruttata finora solo in minima parte ma che potenzialmente è superiore all'intera domanda energetica mondiale. Questo lavoro, pertanto, si propone di costruire una raccolta analitica dei progetti di ocean energy *a scala mondiale, indagare lo stato di avanzamento delle diverse tecnologie di sfruttamento dell'energia marina e analizzare le prospettive di sviluppo del settore.*

The sea contribution to the energy needs: impact of ocean energy projects on a global scale and development prospects for the sector

In pursuing policies of energy security, differentiation and reliability of supplies, and energy independence, all States are engaged in the search for technologies that make greater use of renewable sources. At the center of the feasible solutions, there is certainly the exploitation of the energy of the sea, by which term we mean the energy obtained in various forms from the seas and oceans. With its high potential, it could play an important role in the future in the context of sustainable energy resources. The sea in fact constitutes a huge reservoir of clean energy, so far only minimally exploited but which potentially exceeds the entire world energy demand. Therefore, this work aims to build an analytical collection of ocean energy projects on a world scale, investigate the progress of the various technologies for exploiting marine energy and analyze the development prospects of the sector.

La contribución del mar a las necesidades energéticas: impacto de los proyectos de energía oceánica a escala mundial y perspectivas de desarrollo del sector

Con el objetivo de perseguir políticas de seguridad energética, de diferenciación y fiabilidad de los abastecimientos, y de independencia económica, todos los Estados tienen la obligación de buscar tecnologías que exploten más detenidamente las fuentes renovables. Una de las mejores soluciones por cierto es la explotación de la energía del mar, o sea la energía que, en sus diferentes formas, se obtiene de los mares y de los océanos. Con su gran potencialidad, en el futuro esta podría jugar un papel importante en el ámbito de los recursos energéticos sostenibles. De hecho, el mar representa un gran tanque de energía limpia, explotada hasta ahora solo de manera muy limitada, pero cuyas potencialidades son superiores a toda la demanda energética mundial. Por lo tanto, este estudio se propone construir una recopilación analítica de los proyectos de ocean energy a escala mundial, analizar la situación actual de las diferentes tecnologías de explotación de la energía del mar, y estudiar las perspectivas de desarrollo del sector.

Parole chiave: *energia del mare, fonti rinnovabili, innovazione tecnologica, indipendenza energetica*

Keywords: *ocean energy, renewable sources, technological innovation, energy independence*

Palabras clave: *energía marina, fuentes renovables, innovación tecnológica, independencia energética*

Università di Salerno, Fisciano, Dipartimento di Scienze Politiche e della Comunicazione – mbencardino@unisa.it

1. Energia del mare: un settore in crescita

Nonostante il contributo crescente delle fonti rinnovabili al fabbisogno energetico e la centralità delle stesse nelle politiche dei singoli Stati e degli organismi internazionali, le stime di utilizzo per i prossimi decenni sono ancora largamente appannaggio delle fonti fossili (petrolio, gas e carbone). Così, tutti i Paesi – e in particolar modo quelli europei in virtù della scarsa dotazione di

riserve fossili – sono impegnati sia in politiche di sicurezza energetica, quindi di differenziazione e affidabilità degli approvvigionamenti da aree spesso geopoliticamente instabili, sia di indipendenza energetica, spingendo sulla ricerca di tecnologie nuove che sviluppino maggiormente la quota derivante da fonti rinnovabili.

Tra queste, l'energia del mare (universalmente identificata come *ocean energy*) è quella meno nota in ragione delle quantità di produzione ancora residuali. Sebbene esistano sperimentazioni che risalgono al 1799 (brevetto Grard e figlio, Francia) le difficoltà della trasformazione dell'energia meccanica del mare in energia elettrica non hanno mai fatto sviluppare pienamente questa forma di produzione rinnovabile (Polinder e Scuotto, 2005). Il ritardo nelle tecniche di conversione dell'energia del mare può essere imputato alla maggior difficoltà di operare in ambiente marino rispetto, ad esempio, alle più consolidate forme di conversione dell'energia solare ed eolica. Nonostante ciò, essa rappresenta una frontiera di sicuro impatto sulla futura produzione. L'energia delle maree, ad esempio, ha un potenziale assoluto di circa 5 TW spendibili a scala globale e l'energia delle onde circa 1-10 TW; quest'ultima, inoltre, ha un rapporto di produzione per metro quadrato 15-20 volte maggiore dell'energia eolica o solare (Muetze e Vining, 2006).

Oggi, date le scarse riserve energetiche mondiali da fonti tradizionali e la crescente propensione verso una conversione energetica rinnovabile, l'energia del mare è oggetto di diverse sperimentazioni e progetti di ricerca. L'ultimo decennio, infatti, ha visto un incremento fortissimo di realizzazione di prototipi e impianti di produzione. Nel presente studio sono stati censiti circa 400 nuovi progetti, dal 1996 a oggi, finalizzati allo sfruttamento della *ocean energy* (fig. 1). Le informazioni su tale forma energetica sono ancora molto scarse ma, tra le fonti analizzate, il Database della Tecnologia Marina e idrocinetica del Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti (che fornisce informazioni aggiornate sull'energia rinnovabile marina e idrocinetica, sia negli Stati Uniti che nel mondo) è uno tra i riferimenti più importanti[1].

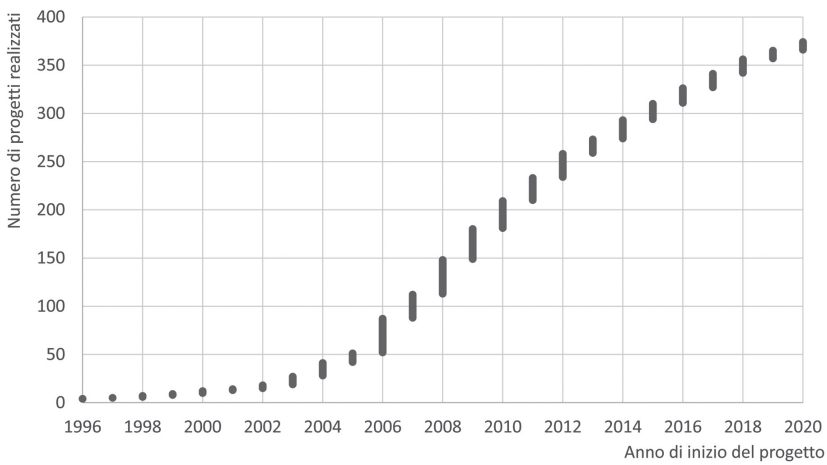

Fig. 1. Progetti censiti di *ocean energy* a scala mondiale
Fonte: elaborazione dell'autore

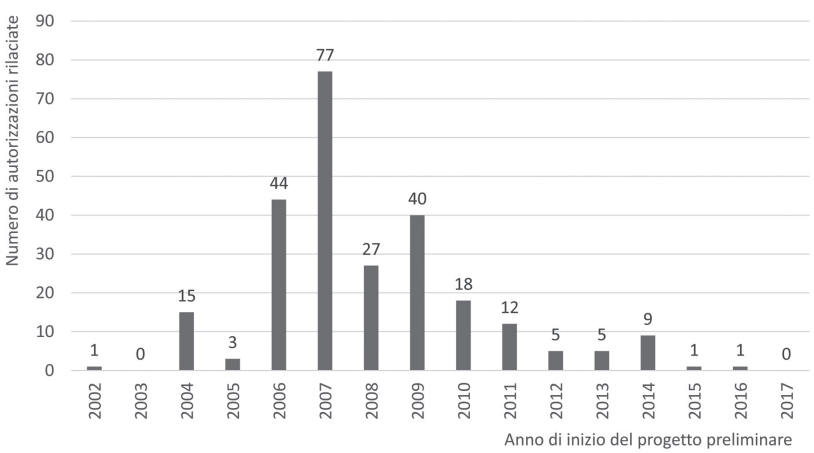

Fig. 2. Autorizzazioni rilasciate dalla FERC per anno di inizio del progetto preliminare
Fonte: elaborazione su dati U.S. Department of Energy (2019).

Altra fonte utilizzata per questo censimento è il database EMODnet[2], geodatabase dei progetti di energia oceanica nell'UE, che aggrega informazioni provenienti da una rete europea di osservatori[3]. Ulteriori informazioni sono state ricavate da fonti diverse, report e studi di settore (Linley e altri, 2009; IRENA, 2014; Williams, 2015; OES, 2018b). Pertanto, la rilevazione in oggetto ha un valore esplorativo senza avere la pretesa di essere esaustivo di tutti i progetti attivi a scala mondiale.

Dall'analisi (fig. 1) si evince una crescita esponenziale a partite dal 2006 e una successiva flessione del numero di progetti attivati. Tale andamento trova ragione nella successione di permessi rilasciati dalle autorità governative per lo sfruttamento dell'energia del mare. In figura 2 è riportato, a mo' di esempio, il numero di concessioni rilasciate dagli Stati Uniti[4]. La flessione nel numero di autorizzazioni alla costruzione di nuovi impianti può essere data sia da ragioni di ordine economico che da problemi di sicurezza delle infrastrutture energetiche, che sempre più interrogano la comunità internazionale (Indeo, 2016; O'Neil e altri, 2019).

Così, dopo una fase di start-up delle tecnologie per lo sfruttamento dell'energia del mare, viviamo una fase in cui tali impianti di produzione sono oggetto di riflessione da parte dei governi, per i problemi che potrebbero sorgere nel momento in cui una fetta significativa della domanda energetica derivasse da fonti così esposte a minacce esterne.

2. Le diverse tipologie di *ocean energy* e i progetti attivi

I mari e gli oceani contengono una enorme quantità di energia potenzialmente sfruttabile dall'uomo. Essa si presenta in diverse forme, che possiamo catalogare in cinque macro-categorie (OES, 2018b): *tidal energy*, *wave energy*, *ocean and river currents*, *ocean thermal energy*, *salinity gradient*.

Tidal energy è l'energia delle maree che sfrutta la differenza di altezza della superfice del mare durante le due fasi, di flusso e riflusso, della marea al fin di attivare turbine elettriche. La potenza prodotta dalla centrale elettrica è funzione dell'altezza dell'onda di marea, definita ampiezza, e della velocità della stessa. *Wave energy* (letteralmente: energia delle onde) è l'energia prodotta dall'azione del vento sulla superfice del mare, che genera il modo ondoso. L'energia potenziale e cinetica delle onde viene così trasformata in energia elettrica. Le energie sono massime alle latitudini più elevate dove vi sono grandi tratti di oceano aperto. *Ocean and river currents* è l'energia prodotta dalle correnti oceaniche e fluviali. Al pari dell'energia idroelettrica, l'energia cinetica è trasformata in energia elettrica attraverso turbine. *Ocean thermal energy* è l'energia talassotermica dell'oceano, genericamente indentificata dalla sigla OTEC (*Ocean Thermal Energy Conversion*). Essa è data dalla differenza di temperatura tra la superficie dell'acqua a circa 20°C e quella dell'oceano profondo, a 4°C. In questo caso il gradiente termico viene sfruttato per trasformare l'energia termica in energia elettrica, così come avviene per l'energia geotermica. *Salinity gradient* è, infine, l'energia osmotica prodotta dal gradiente di salinità tra acqua di mare e acqua di fiume. Il gradiente salino esercita così una pressione chimica che viene trasformata in energia elettrica per osmosi oppure per elettrodialisi inversa. Il suo massimo potenziale è pertanto alla foce dei grandi fiumi.

Ad oggi, le tecnologie più matura riguardano l'energia delle onde e l'energia delle maree. Studi recenti hanno stimato – in funzione dell'andamento dello sviluppo delle tecnologie riguardanti queste due forme di energia – una capacità installata di 15 GW entro il 2030 e 71 GW entro il 2050 (EC, 2014).

Grazie al *geodatabase* aggregato dalle diverse fonti sopracitate è possibile localizzare buona parte dei progetti attualmente attivi, parzialmente attivi o in fase di attivazione. Nella tabella successiva (tab. 1) sono state elencate le potenze massime di impianti completati o in fase di completamento, per le diverse tipologie e per Paese di produzione. Rispetto alla classificazione precedentemente descritta, l'energia prodotta da *ocean and river currents* non è distinta dalla *tidal energy* ed è in essa inglobata, poiché lo sfruttamento delle due diverse forme di energia avviene attraverso medesime tecnologie e spesso i progetti sono finalizzati a catturare entrambe le fonti energetiche. Inoltre, con l'obiettivo di identificare la sola energia oceanica, dalla presente analisi sono stati esclusi i progetti riguardanti l'energia delle correnti fluviali, pur ricompresi nella stessa categoria tipologica. Infine, non sono stati evidenziati progetti significativi riguardanti il *salinity gradient*, dal momento che essi hanno una capacità molto residuale non avendo raggiunto ancora una piena maturazione tecnologica[5] (fig. 3). Risulta evidente come il Regno Unito e gli Stati Uniti si pongano in una posizione di *leadership* con una potenza installata rispettivamente pari al 51% e al 40% della intera potenza individuata a scala mondiale, a dimostrazione di come questi paesi abbiano ben raccolto la

Tab. 1. Capacità massima degli impianti attivi, completi o in fase di completamento (MW)

Paese	*Tidal energy*	*Wave energy*	OTEC	Totale Paese
Regno Unito	12.575	1.807	-	14.382
Stati Uniti	10.471	808	36	11.315
Corea del Sud	856	-	-	856
Portogallo	1	366	-	367
Cina	307	-	10	317
Francia	263	20	11	294
Canada	206	5	-	211
Paesi Bassi	3	100	1	104
Australia	26	25	-	51
India[6]	50	-	21	71
Spagna	-	43	-	43
Sud Africa	-	20	-	20
Isole Marshall	-	-	20	20
Irlanda	0	17	-	17
Norvegia	11	3	-	14
Danimarca	2	14	-	16
Namibia	-	15	-	15
Bahamas	-	-	10	10
Sri Lanka	-	-	10	10
Antigua e Barbuda	-	10	-	10
Filippine	-	-	10	10
Malesia	-	-	10	10
Italia	1	4	-	5
Svezia	0	4	-	4
Altri paesi	2	0	4	6
Totale complessivo	24.774	3.261	143	28.178

Fonte*:* elaborazione dell'autore

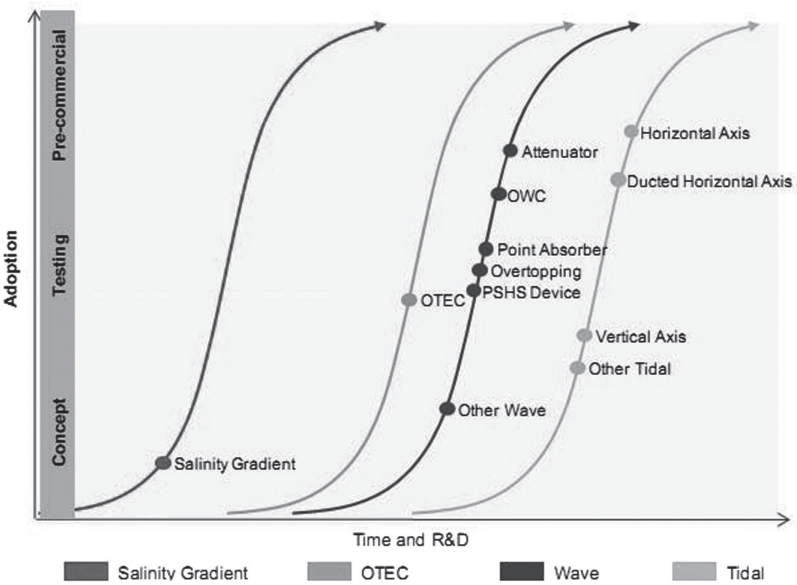

Fig. 3. Maturità della tecnologia energetica oceanica
Fonte: IHS Emerging Energy Research (2010).

sfida di questa nuova frontiera della produzione energetica.

Tale censimento, però, risente della incompletezza delle fonti e dei *databases* utilizzati che, come detto precedentemente, sono spesso lacunosi e non perfettamente rispondenti alla totalità dei progetti attivati nel mondo. Non vi sono organismi internazionali che censiscono la totalità

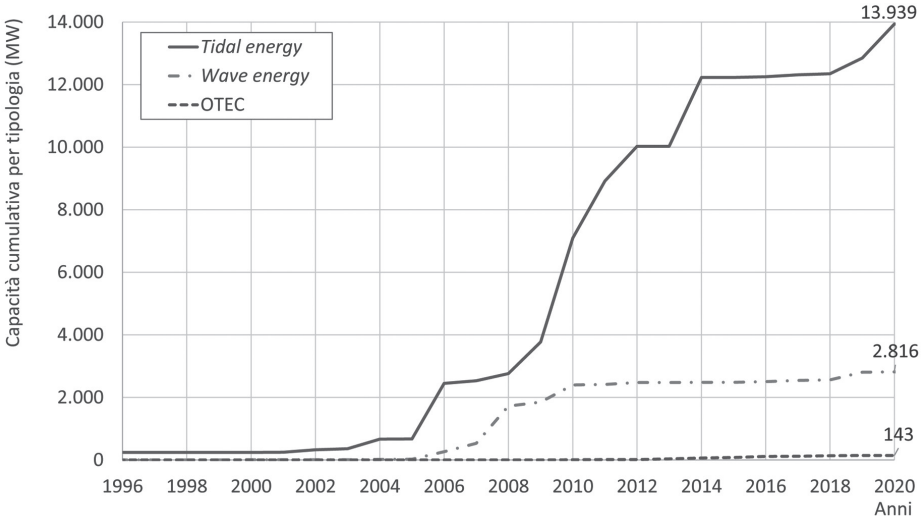

Fig. 4. Capacità cumulativa dei diversi progetti censiti di *ocean energy*, per tipologia di risorsa
Fonte: elaborazione dell'autore.

dei progetti e molti Stati mantengono un certo riserbo nella pubblicazione di informazioni dettagliate. Si nota infatti come, tra i progetti censiti nel presente studio, risultino marginali le potenze installate da grandi attori dello scenario globale quali Cina, Russia e India. Ciò non è necessariamente dovuto a un ritardo di sviluppo di tecnologie ma può essere dato solo da un *gap* informativo.

Emerge altresì con nettezza che la o*cean energy* è un settore in decisa crescita. Sono stati rilevati progetti importanti di *tidal energy* già a partite dagli anni '60 ma è dal 2005 che progetti di sfruttamento di tale forma di energia mostrano una crescita esponenziale nelle potenze installate. Lo stesso dicasi per i progetti di *wave energy* che, pur non raggiungendo le capacità installate della *tidal energy*, seguono un simile andamento di crescita. Più recente è lo sviluppo della OTEC; progetti importanti per lo sfruttamento dell'energia talassotermica dell'oceano trovano realizzazione a partire dal 2011, ma le potenze installate sono ancora molto inferiori alle due precedenti categorie tipologiche[7] (fig. 4).

3. Le tecnologie produttive: un quadro sinottico a scala mondiale

La produzione di energia dal mare vede un'ampia varietà di tecnologie a uno stadio meno avanzato di quello riguardante altre risorse rinnovabili (quali il vento o il sole), anche in virtù del maggior grado di complessità operativa.

Le tecnologie variano a seconda della tipologia di energia che si vuole catturare e in funzione delle dimensioni del progetto operativo che viene messo in atto. Le tecnologie applicate allo sfruttamento delle correnti di marea (*tidal energy*) utilizzano dispositivi che convertono l'energia cinetica delle stesse in energia elettrica. Le correnti, in questo caso, sono originate dall'attrazione gravitazionale esercitata dal sole e dalla luna e, data la predicibilità di un fenomeno che avviene periodicamente, esse rappresentano una fonte energetica di maggior interesse rispetto alle altre, soggette invece ad andamenti intermittenti e non programmabili. I dispositivi constano di turbine idrauliche, che possono essere fluttuanti e posate sulla superfice marina o inserite in sbarramenti. Le turbine fluttuanti sono del tutto analoghe a quelle che sfruttano l'energia eolica benché, essendo l'acqua 832 volte più densa dell'aria, la velocità del flusso è più lenta (Bryden e altri, 2004). Le centrali elettriche a sbarramento di marea usano la differente altezza della superficie dell'acqua durante l'alluvione e il riflusso (intervallo di marea), per guidare turbine idroelettriche del tutto simili a impianti idroelettrici fluviali. Il potenziale elettrico è funzione, quindi, sia dell'intervallo di marea che della velocità delle onde e gli impianti a sbarramento trovano maggiore applicabilità laddove le caratteristiche geografiche accelerano il flusso d'acqua tra alluvione e riflusso. In figura 5 sono rappresentati gli impianti censiti nel presente studio e il potenziale energetico dato dalla escursione media delle maree (in metri). Il potenziale energetico risulta maggiore lungo le coste oceaniche più esposte al flusso e riflusso di marea. È bene evidenziare, infine, che le tecnologie per la *tidal energy* sono indistinguibili da quelle

per le *ocean currents*, dal momento che lo stesso rotore cattura tanto la corrente di marea quanto le correnti oceaniche.

Il primo impianto a sbarramento (*barrage*) per la generazione elettrica dalle maree è stato quello francese di La Rance sul litorale atlantico, situato nelle vicinanze di Saint Malò. Realizzato negli anni Sessanta, esso ha una capacità massima di 240 MW. Oggi, i progetti di *tidal energy* più imponenti si localizzano negli Stati Uniti e nel Regno Unito. Uno dei progetti più importanti censiti è la San Onofre Wave Farm, in California, per un potenziale nominale di 3.186 MW. L'autorizzazione, inizialmente concessa e poi bloccata dalla FERC, non ha però trovato realizzazione a seguito dell'opposizione di gruppi ambientalisti, pescatori e surfisti e persino dell'industria nucleare presente sulle rive (Barboza, 2012). LA FERC ha invece approvato la Turnagain Arm Tidal, in Alaska, per una potenza di 240 MW, con un potenziale di espansione fino a 1.200 MW. Il progetto prevede una barriera di 300 metri e la realizzazione di un bacino di circa 5 chilometri quadrati (Steiner-Dicks, 2014). Altro progetto di grandissima portata è la Severn Barrage, da realizzarsi nel Regno Unito. Il progetto prevede la costruzione di una diga di 16 km a sud di Cardiff, nel Galles, per una potenza di circa 8000 MW. Quest'ultimo si attesterebbe come il progetto più grande al mondo, ma si scontra con pro-

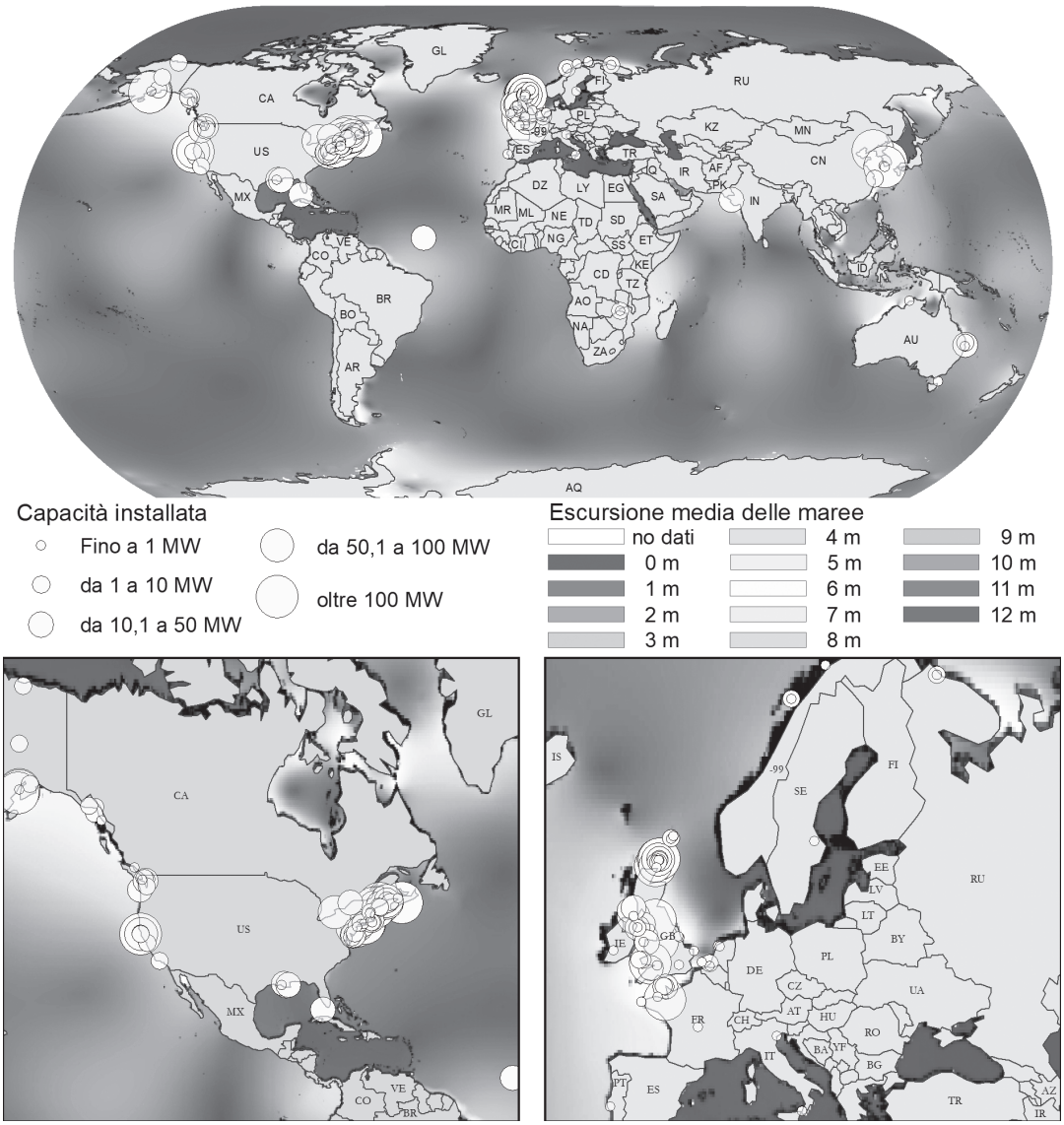

Fig. 5. Impianti che producono energia dalle maree (*tidal energy*) e potenziale energetico
Fonte: elaborazione dell'autore

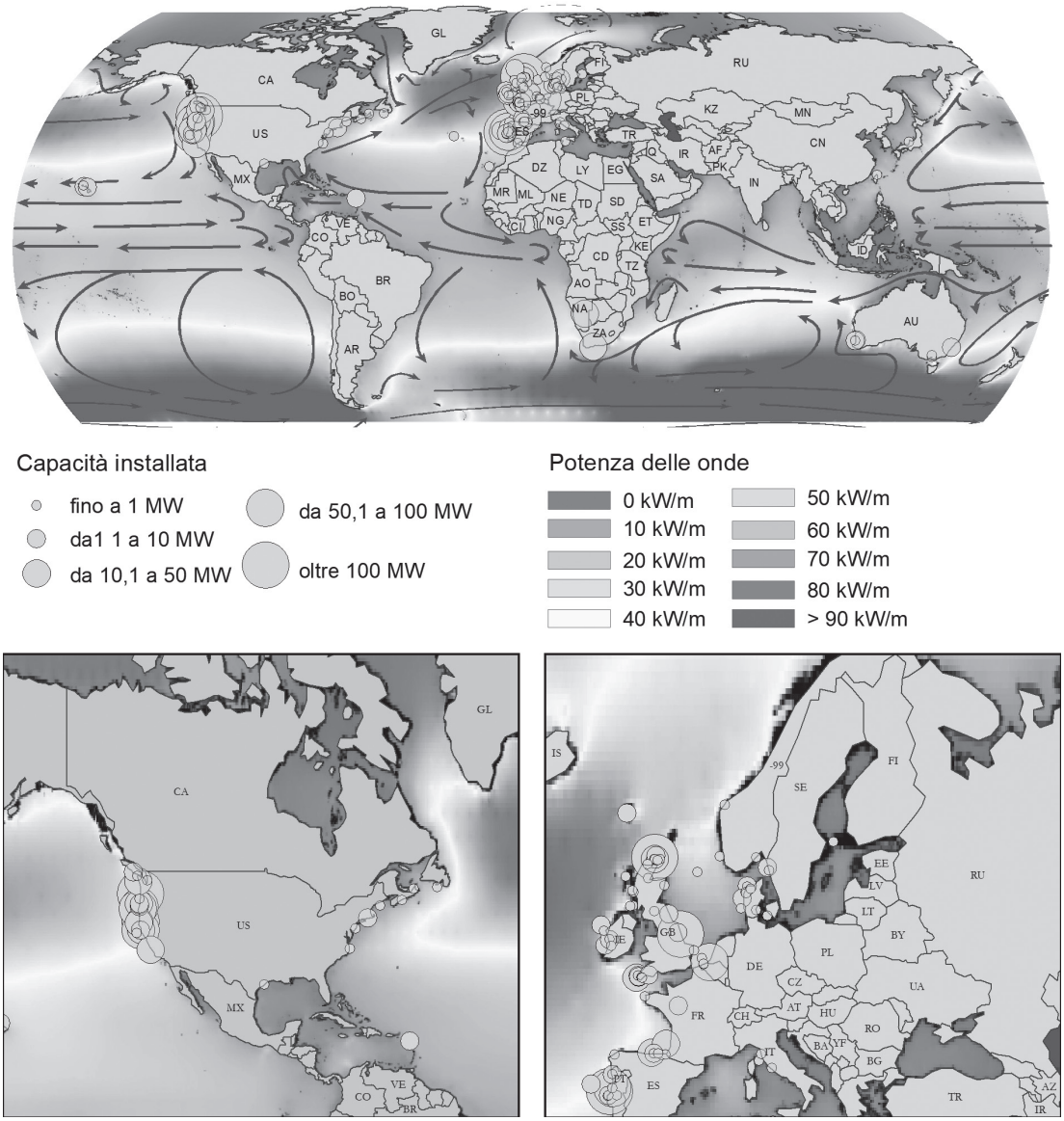

Fig. 6. Impianti che producono energia dalle onde (*wave energy*) e potenziale energetico
Fonte: elaborazione dell'autore

blematiche sia di tipo ambientale che economico (REUK, 2019; EM, 2018).

Tecnologicamente diverso è il Seaflow Tidal Energy System, uno dei progetti più importanti realizzati nel Regno Unito. Esso è stato il primo generatore commerciale di *tidal energy* al mondo ed era composto di una turbina a rotore orizzontale, con una potenza di 1,2 MW. È rimasto in funzione dal 2003 fino al 2019, anno in cui è stato smantellato per esaurimento del ciclo di vita dopo aver erogato oltre 11,6 GWh di energia (SAE, 2019). In Italia esistono progetti sperimentali e prototipi quali quello della SeaPower scrl, un consorzio privato senza scopo di lucro (*spin-off* dell'Università di Napoli «Federico II»), finalizzato a catturare la corrente di marea nello stretto di Messina (OES, 2018a).

La *wave energy* deriva dai venti che soffiano sulle superfici degli oceani, laddove raffiche intense arrivano dopo aver viaggiato per lunghe distanze ad alte latitudini (fig. 6). La produzione di energia avviene mediante dispositivi flottanti dalle forme più svariate, che trasformano il movimento delle onde nel moto relativo di un rotore oppure che mettono in funzione dei pistoni idraulici interni accoppiati a generatori di energia elettrica. Maggiore è la potenza specifica dell'onda (kW per metro di fronte) e mag-

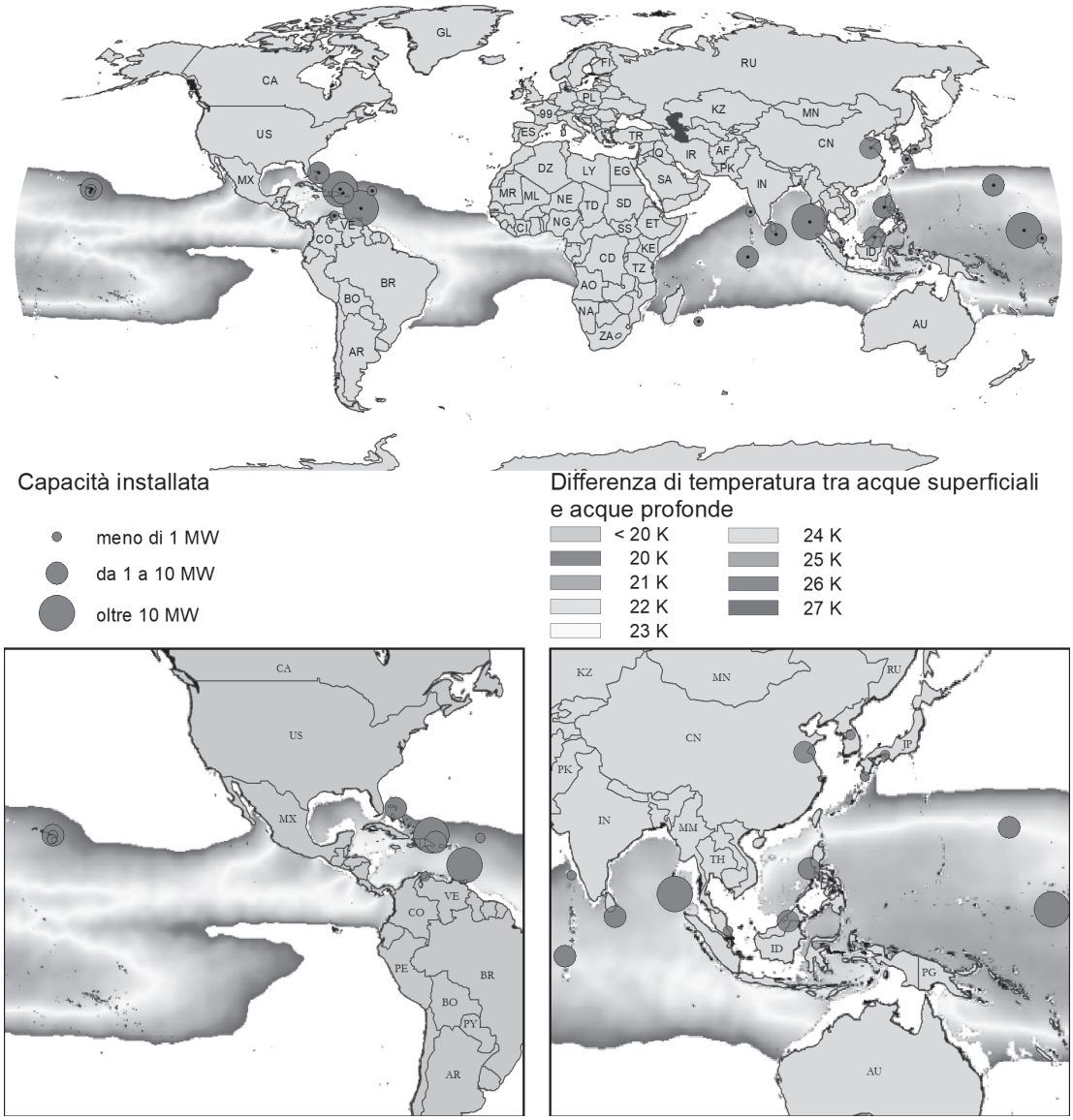

Fig. 7. Impianti che producono energia dal gradiente termico (OTEC) e potenziale energetico
Fonte: elaborazione dell'autore

giore è la capacità potenziale di una centrale.

Anche in riferimento alla *wave energy*, i progetti più importanti sono portati avanti dagli Stati Uniti e dal Regno Unito. A partire dal 2010 è in corso la realizzazione del progetto Brough Head Wave Farm al largo delle Isole Orcadi, in Scozia, da parte della società Aquamarine Power Ltd (OE, 2019), per un impianto di circa 200 MW. La compagnia privata ha, inoltre, siglato un accordo con la compagnia elettrica irlandese per sviluppare 1.000 MW di energia prodotta dalle onde (McDermott, 2009). Negli Stati Uniti è in buon stato di avanzamento il progetto Oregon Coastal Wave Energy, al largo di Newport nello Stato dell'Oregon, che consta di quattro ormeggi galleggiati connessi alla rete elettrica attraverso cavi sottomarini; è capace di generare 20 MW di potenza, ma può essere sviluppato fino a 180 MW (OWET, 2009; OPB, 2019). Un impianto in funzione fin dal 2008, il Pelamis, realizzato a 5 km dalla costa di Agucadoura in Portogallo con una capacità di 2.25 MW e costituito da 3 elementi cilindrici lunghi 120 m («serpentoni») galleggianti e ancorati al fondo marino, è stato dismesso a causa del fallimento finanziario del committente.

In Italia il potenziale energetico delle onde è più basso (fig. 6), ma alcuni studi indicano che le coste italiane, in particolare quelle occidentali

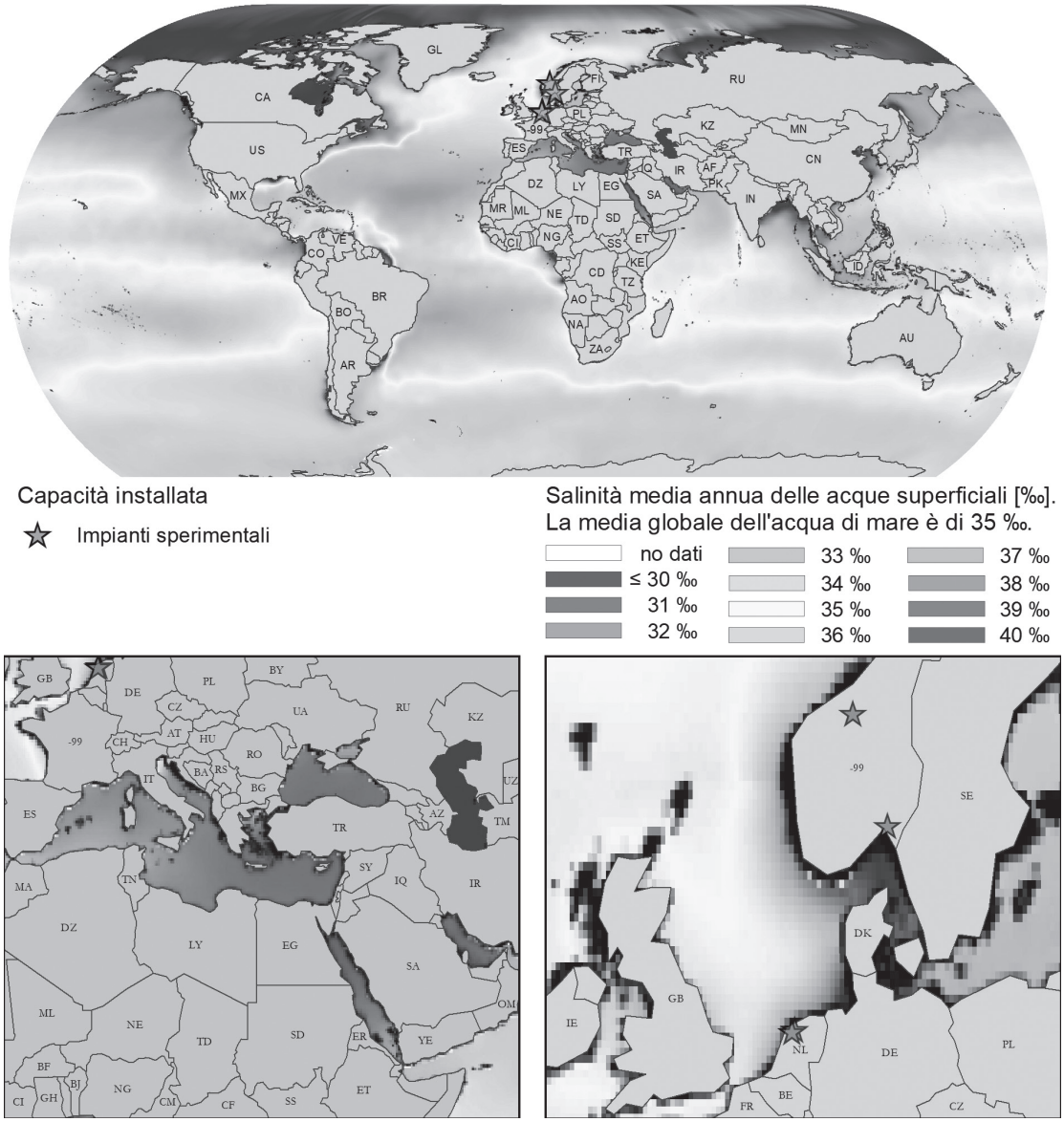

Fig. 8. Impianti che producono energia dal gradiente salino e potenziale energetico
Fonte: elaborazione dell'autore

della Sardegna e quelle occidentali della Sicilia, sono adatte allo sfruttamento dell'energia marina (Sannino e altri, 2011; Peviani, 2015). Al momento però l'applicazione riguarda solo pochi progetti pilota.

L'energia termica, comunemente indicata nella letteratura internazionale con l'acronimo OTEC, viene prodotta dalla differenza di temperatura tra le acque superficiali (più calde) e quelle profonde (più fredde) mediante un ciclo a vapore concettualmente simile a quello degli impianti termoelettrici convenzionali ma che utilizza un fluido con bassa temperatura di ebollizione (ad esempio una miscela acqua-ammoniaca).

Il potenziale energetico di questa forma di energia è molto alto in una fascia di mare subtropicale e nelle coste pacifiche del sudest asiatico (fig. 7).

I progetti di maggior rilievo in questa categoria produttiva sono individuati nelle Isole Andamane e Nicobare indiane, nelle Isole Marshall, in Virginia, negli Stati Uniti e nella Martinica francese. Il primo è un progetto portato avanti dalla Marina indiana, con la collaborazione della DCNS-Naval Group, gruppo industriale francese tra i principali costruttori navali europei a operare sul mercato mondiale dei sistemi di difesa. Esso mira a generare 20 MW di potenza per le

strutture navali e la base aerea dell'isola (Pubby, 2018). Lo stesso gruppo industriale è autore del progetto NEMO nella Martinica francese, per una potenza di circa 10 MW. L'impianto marshallese è un progetto del governo sull'atollo di Kwajalein in grado di fornire energia sia alla comunità marshallese che alla struttura missilistica del sito Reagan Test dell'esercito americano (EPPSO, 2014). Infine, il progetto localizzato in Virginia, portato avanti dalla compagnia statunitense Ocean Thermal Energy Corporation, riguarda una centrale che fornisce energia e acqua a circa 400 residenze, un hotel e un centro commerciale nell'ambito di un più ampio disegno di *EcoVillage* (RN, 2018).

In ultima analisi, tra le varie categorie della *ocean energy*, è contemplata anche la possibilità di sfruttare l'energia osmotica derivante dal gradiente dato da masse d'acqua con salinità diverse. Le aree adatte sono situate negli estuari, dove esiste una differenza significativa tra l'acqua del fiume e la salinità dell'acqua di mare. Maggiore è la salinità dell'acqua di mare, maggiore è il potenziale di energia prodotta da una centrale elettrica e più basso è il prezzo dell'elettricità generata. Questa forma energetica non è ancora sfruttata in impianti di natura industriale ma limitata a sperimentazioni e prototipi, in particolare nei Paesi Bassi e in Norvegia. Il potenziale energetico è però molto alto nell'area del Mediterraneo e potrebbe rappresentare una sfida interessante per il nostro Paese (fig. 8). Uno studio commissionato dalla Società di Ricerca sul Sistema Energetico mostra come molte regioni italiane abbiano un potenziale di energia producibile di migliaia di GWh/anno (Alterach e altri, 2013, p. 45).

4. Prospettive di sviluppo

Il quadro tracciato mostra quanto sia complesso muoversi nella indagine di questo tipo di progettazione energetica. È difficile trovare informazioni e spesso (anche rispetto ai *databases* selezionati) i dati devono essere verificati e dev'essere verificato lo stato di avanzamento dei progetti, che non sempre trovano realizzazione, a volte vengono rimodulati, altre volte trovano diversa localizzazione. I grandi progetti accusano difficoltà di realizzazione sia per problemi di sostenibilità economica sia per l'impatto che hanno sugli ecosistemi, al pari di tutta la grande progettazione che incida in maniera consistente sull'habitat circostante. La potenza oceanica rappresenta ancora la porzione più piccola del mercato delle energie rinnovabili, con un numero ragguardevole di progetti che è ancora limitato alla sperimentazione e alla prototipazione.

Le due categorie energetiche più consolidate sono quelle della *tidal energy* e della *wave energy*. Le tecnologie del flusso di marea sono più vicine alla maturità tecnologica sia nella forma di turbine ad asse orizzontale si in quella degli sbarramenti. La tecnologia applicata all'energia delle onde invece non converge ancora verso una standardizzazione, sia per una maggiore complessità di estrazione dell'energia e sia per la varietà delle condizioni ambientali che si presentano nei diversi siti (REN21, 2019).

Il potenziale di risorse dell'energia oceanica è comunque enorme, ma rimane ancora in gran parte inutilizzato nonostante decenni di sforzi di sviluppo. Al netto di ciò, lo studio ha rilevato un crescendo significativo di progettazione e di capacità operativa, segno inconfutabile di un crescente interesse da parte dei governi per questa nuova frontiera energetica. L'attività di sviluppo è diffusa in tutto il mondo ma è concentrata soprattutto negli Stati Uniti e in Europa, in particolare nel Regno Unito.

Una transizione energetica verso le energie rinnovabili già iniziata con il solare e l'eolico, tecnologie oggi competitive in termini di costi con combustibili fossili, potrebbe quindi vedere una ulteriore evoluzione anche grazie alla *ocean energy*. Lo sviluppo ulteriore delle energie rinnovabili potrebbe così disegnare una nuova geopolitica delle relazioni economiche tra gli Stati, alterando la distribuzione globale delle risorse e quindi del potere economico (IRENA, 2019a). Diversi studi (Shell, 2018; Equinor, 2018; IEA, 2019a; IRENA, 2019b; DNV-GL, 2019) prevedono una riduzione della produzione energetica a partire dal 2030 e individuano il sorpasso, in termini di consumo elettrico, delle energie rinnovabili sulle energie fossili entro il 2050, grazie ai maggiori investimenti che avrà il settore nei prossimi anni. In particolare, secondo l'IEA il contributo del mare potrebbe arrivare a 15 TWh già nel 2030 (IEA, 2019b).

La scommessa delle energie rinnovabili spinge i paesi importatori di combustibili fossili verso un affrancamento dai legami di dipendenza energetica (Alberti, 2018). Risulterebbe così necessario ampliare i sistemi di trasmissione dell'elettricità su larga scala, creando nuovi tipi di interdipendenze tra Paesi, che potrebbero rafforzarne le relazioni internazionali ma anche esserne causa di conflitti. Oggi, tutti i grandi attori dello scenario

globale sono impegnati nella diversificazione delle proprie fonti energetiche. Cina, India, Russia e Emirati Arabi incrementano la produzione da centrali nucleari, ma mentre la Cina effettua anche grossi investimenti nelle tecnologie per l'energia rinnovabile, la Russia è ancora molto indietro (IRENA, 2019a). A tal riguardo, Jeremy Rifkin ha evidenziato come la convergenza di nuove tecnologie di comunicazione e nuovi sistemi energetici abbia aperto la porta a una nuova rivoluzione industriale, attribuendo una importanza strategica alla generazione di energia distribuita e alle reti energetiche, e conferendo all'Europa – che privilegia lo sviluppo sostenibile, le energie rinnovabili nonché politiche di integrazione – il ruolo di guida culturale di questo secolo (Rifkin, 2005; Rifkin, 2011).

In questo scenario in trasformazione, non è ancora possibile definire il ruolo che avrà l'*ocean energy*, sia per l'incertezza delle previsioni riguardanti lo sviluppo delle tecnologie di produzione sia per una incompleta quantificazione del potenziale energetico di questa risorsa da parte dei singoli Stati. La generazione di energia elettrica da tecnologie marine è aumentata di circa il 3% nel 2018, ma l'evoluzione tecnologica non è in linea con lo Scenario di sviluppo sostenibile dell'IEA, che richiede un tasso di crescita annuale del 24% fino al 2030 (IEA, 2019b). La maggior parte dell'implementazione dell'energia oceanica a breve termine sarà probabilmente guidata dai governi, attraverso programmi di ricerca e incentivi alla produzione[8], la quale è ancora molto bassa. Così, gli investimenti in ricerca e sviluppo potranno dare i suoi frutti, ma non prima del 2030 (Lewis e altri, 2011).

La transizione energetica verso forme più rinnovabili è una rivoluzione di sistema, poiché può dare effetti verso un approvvigionamento energetico più decentrato, sia nello scenario globale, in un panorama economico più diversificato e attraverso nuove forme di cooperazione internazionale, che in quello regionale, laddove vi fosse un investimento dei governi locali (Criekemans, 2018). In prospettiva, l'energia del mare può rappresentare un banco di prova geopolitico per gli Stati e per i governi locali che intendono affrancarsi dalla dipendenza energetica, attraverso investimenti nella ricerca delle tecnologie per lo sfruttamento di questo potenziale, e così disegnare una nuova mappa mondiale dei flussi di energia.

In riferimento specifico all'Italia, dallo studio in oggetto emerge come il Bel Paese sia fortemente indietro rispetto a istallazioni di grandi impianti volti a sfruttare l'energia del mare. Ciò potrebbe essere dovuto alla conformazione del Mediterraneo, che non offre grandi potenzialità rispetto alle tecnologie oggi più mature, dati i bassi potenziali di escursione media delle maree e potenza delle onde dello stesso. In controtendenza è però il dato degli investimenti pubblici. Con circa cinque milioni di euro l'anno, l'Italia è al primo posto tra i paesi del Mediterraneo e al secondo in Europa di investimenti in tecnologie energetiche marine (Sannino, 2020).

Data la grande dipendenza energetica, è fondamentale rinnovare e confermare l'impegno del Paese nella ricerca e sviluppo delle tecnologie energetiche marine della *wave* e della *tidal energy*, ma altrettanto impegno andrebbe riversato nella ricerca dell'energia prodotta dal gradiente salino, per la quale il Mediterraneo appare essere il più grande bacino a scala mondiale.

Riferimenti bibliografici

Alberti Marco (2018), *Così le rinnovabili cambiano la geopolitica*, 2 ottobre, (*https://www.ispionline.it/it/pubblicazione/cosi-le-rinnovabili-cambiano-la-geopolitica-21276*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

Alterach Julio, Giuseppe Stella, Andrea Danelli e Maximo Aurelio Peviani (2013), *Dati e misure per la valutazione del potenziale di generazione di energia dal moto ondoso e dal gradiente salino in Italia*, Milano, RSE.

Barboza Tony (2012), *Proposed San Onofre Wave Farm Halted by Feds*, 20 marzo, (*https://latimesblogs.latimes.com/lanow/2012/03/san-onofre-wave-farm-proposal-halted-by-federal-agency.html*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

Bryden Ian, Tim Grinsted e Guy Melville (2004), *Assessing the Potential of a Simple Tidal Channel to Deliver Useful Energy*, in «Appl. Ocean Res.», 26, 5, pp. 198-204.

Criekemans David (2018), *Geopolitics of the Renewable Energy Game and Its Potential Impact upon Global Power Relations*, in Daniel Scholten (a cura di), *The Geopolitics of Renewables*, Basilea, Springer International Publishing, pp. 37-73.

DNV-GL (2019), *Energy Transition Outlook 2019*, (*https://eto.dnvgl.com/2019/#147933*, ultimo accesso: 1.XII.2019).

European Commission (2014), *2013 Technology Map of the European Strategic Energy Technology Plan*, Luxembourg, Joint Research Centre EU, (*https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC86357/jrc13_tmap_08ap14_ns-web.pdf*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

Energy Matters (2018), *The Severn Barrage Revisited*, 23 aprile, (*http://euanmearns.com/the-severn-barrage-revisited/*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

EPPSO (2014), *Republic of the Marshall Islands. National Strategic Plan 2015-2017*, giugno, (*https://www.adb.org/sites/default/files/linked-documents/cobp-rmi-2016-2018-ld-04.pdf*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

Equinor (2018), *Energy Perspectives 2018*, ASA, Stavanger, (*https://www.equinor.com/content/dam/statoil/documents/energy-perspectives/energy-perspectives-2018.pdf*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

European Marine Observation and Data Network (2019), *Ocean Energy Facilities*, (*https://www.emodnet-humanactivities.eu/view-data.php*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

International Energy Agency (2019a), *Sustainable Development Scenario*, report novembre, (*https://www.iea.org/reports/world-energy-model/sustainable-development-scenario*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

International Energy Agency (2019b), *Tracking Power*, tracking report maggio, (*https://www.iea.org/reports/tracking-power-2019/renewable-power*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

IHS Emerging Energy Research (2010), *Global Ocean, Energy Markets and Strategies: 2010-2030*, Ottobre, Cambridge, (*https://ita.calameo.com/read/000674208327c674e650b*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

Indeo Fabio (2016), *Il contributo del mare alle necessità di approvvigionamento energetico nazionale*, 15 dicembre, Centro Militare di Studi Strategici (Ce.Mi.S.S.), Ministero della Difesa italiana, (*http://www.difesa.it/SMD_/CASD/IM/CeMiSS/DocumentiVis/Rcerche_da_pubblicare/Il_contributo_del_mare_AI_SA_05_web_IT.pdf*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

IRENA (2014), *Ocean thermal energy conversion. Technology brief*, Giugno, Bonn, (*https://www.irena.org/publications/2014/Jun/Ocean-Thermal-Energy-Conversion*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

IRENA (2019a), *A New World. The Geopolitics of the Energy Transformation*, Gennaio, Bonn, (*https://www.irena.org/publications/2019/Jan/A-New-World-The-Geopolitics-of-the-Energy-Transformation*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

IRENA (2019b), *Global energy transformation: A roadmap to 2050 (2019 edition)*, aprile (*https://www.irena.org/publications/2019/Apr/Global-energy-transformation-A-roadmap-to-2050-2019Edition*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

Lewis Anthony, Segen Estefen, John Huckerby, Walter Musial, Teresa Pontes e Julio Torres-Martinez (2011), *Ocean Energy*, in «IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation», Cambridge e New York, Cambridge University Press, (*http://www.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_Ch06.pdf*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

Linley Annie, Karine Laffont, Ben Wilson, Mike Elliott, Rafael Perez-Dominguez e Daryl Burdon (2009), *Offshore and Coastal Renewable Energy: Potential Ecological Benefits and Impacts of Large-scale Offshore and Coastal Renewable Energy Projects*, Report by Institute of Estuarine and Coastal Studies (IECS), maggio, (*https://nerc.ukri.org/research/funded/programmes/mre/marine-scoping-study-1/*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

McDermott Mat (2009), *1 Gigawatt of Marine Power to be Developed by Aquamarine Power in UK & Ireland*, (*https://www.treehugger.com/renewable-energy/1-gigawatt-of-marine-power-to-be-developed-by-aquamarine-power-in-uk-ireland.html*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

Mehmood Nasir, Zhang Liang e Jawad Khan (2012), *Harnessing Ocean Energy by Tidal Current Technologies*, in «Research Journal of Applied Sciences», Engineering and Technology, 4, 18, pp. 3476-3487.

Muetze Annette e Jennifer Vining (2006), *Ocean Wave Energy Conversion - a Survey*, in «Conference Record of the Industry Applications Conference 41st IAS Annual Meeting», 8-12 Ottobre 2006, Tampa, FL, (*https://ieeexplore.ieee.org/document/4025402*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

OES (2018a), *Annual Report. An Overview of Ocean Energy Activities in 2018*, (*https://report2018.ocean-energy-systems.org/documents/OES-Annual-Report-2018/*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

OES (2018b), *Spotlight On Ocean Energy*, (*https://www.ocean-energy-systems.org/documents/84169-oes-spotlight-on-ocean-energy.pdf/*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

O'Neil Rebecca, Garret Staines e Mikaela Freeman (2019), *Marine Hydrokinetics Regulatory Processes Literature Review*, Alexandria, VA, U.S. Department of Energy.

OpenEI (2019), *U.S. Department of Energy's Marine and Hydrokinetic Technology Database*, (*https://openei.org/wiki/Marine_and_Hydrokinetic_Technology_Database*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

OPB (2019), *Oregon Wave Energy Testing Project Moves Forward*, 11 giugno, (*https://www.opb.org/news/article/oregon-wave-energy-newport-renewable/*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

Optimised Enviroments (2019), *Brough Head Wave Farm*, (*http://www.optimisedenvironments.com/projects/environmental-planning/brough-head-wave-farm/*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

Oregon Wave Energy Trust (2009), *Task 2.1.1: Epri Wave Energy Technology Assessment*, dicembre, (*https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Utility_Market_Initiative.pdf*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

Peviani Maximo Aurelio (2015), *Wavesax, Conceptual Design and Perspectives, Offshore Wind and Other Marine Renewable Energies in Mediterranean and European Seas*, in «OWEMES 8th Edition», Luglio, Roma, Italia.

Polinder Henk e Mattia Scuotto (2005), *Wave Energy Converters and their Impact on Power Systems*, in «International Conference on Future Power Systems», 18, 18 novembre, Amsterdam, (*https://ieeexplore.ieee.org/document/1600483*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

Pubby Manu (2018), *Indian Navy Plans to go Green by Setting up Ocean Thermal Energy Plant at Andaman & Nicobar Islands*, in «The Economic Times», 11 luglio, (*https://economictimes.indiatimes.com/news/defence/indian-navy-plans-to-go-green-by-setting-up-ocean-thermal-energy-plant-at-andaman-nicobar-islands/articleshow/50165764.cms*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

REUK (2019), *Severn Barrage Tidal Power*, (*http://www.reuk.co.uk/wordpress/tidal/severn-barrage-tidal-power/*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

REN21 (2019), *Renewables 2019. Global Status Report*, maggio, (*https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

Rifkin Jeremy (2005), *Il sogno europeo*, Milano, Mondadori.

Rifkin Jeremy (2011), *La terza rivoluzione industriale*, Milano, Mondadori.

RN (2018), *US firm Advances Pilot Ocean Thermal Energy Project in Virgin Islands*, 23 gennaio, (*https://renewablesnow.com/news/us-firm-advances-pilot-ocean-thermal-energy-project-in-virgin-islands-599217/*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

Sannino Gianmaria, Luca Liberti, Adriana Carillo, Andrea Bargagli e Emanuela Caiaffa (2011), *Prospettive di sviluppo dell'energia dal mare per la produzione elettrica in Italia*, in «Energia, Ambiente e Innovazione», 4-5, ENEA, pp. 34-38.

Sannino Gianmaria (2020), *Energy from the Sea: Italy Ranks first in the Mediterranean Area for Technologies and Public Investments*, 18 giugno, (*https://www.enea.it/en/news-enea/news/energy-from-the-sea-italy-ranks-first-in-the-mediterranean-area-for-technologies-and-public-investments/*#1; ultimo accesso: 1.III.2022).

SETIS (2013), *Ocean Energy*, European Commission, (*https://setis.ec.europa.eu/related-jrc-activities/jrc-setis-reports/ocean-energy-technology-information-sheet*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

Simec Atlantic Energy (2019), *Atlantis Successfully Decommissions 1.2 MW SeaGen Tidal System in Industry First*, 26 giugno (*https://simecatlantis.com/2019/07/26/meygen-operational-update-3-2/*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

Shell (2018), *Shell Scenarios. Sky. Meeting the goals of the Paris Agreement*, Shell International B.V., (*https://www.waterborne.eu/media/35584/shell-scenarios-sky.pdf*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

Steiner-Dicks Katherine (2014), *FERC approves Turnagain Arm Permit,* 26 febbraio, (*https://analysis.newenergyupdate.com/tidal-today/ferc-approves-turnagain-arm-permit*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

Williams Heidi (2015), *Offshore Energy Test*, National Ocean Economics Program (NOEP), 1 maggio, (*https://conservecoast.wordpress.com/2015/05/01/offshore-energy-test/*; ultimo accesso: 1.XII.2019).

Note

[1] Le informazioni fornite dal Database della Tecnologia Marina e idrocinetica del dell'Energia degli Stati Uniti sono consultabili sulla piattaforma OpenEI, una piattaforma wiki dove sono raccolti contenuti e dati forniti da una comunità di collaboratori esperti e appassionati. La qualità dei dati forniti da OpenEI è garantita da una *partnerships* con una varietà di organizzazioni internazionali e da una piattaforma in cui sono inclusi solo dati validati con origini referenziate. Tale fonte è tra le più affidabili, per numero di progetti censiti e per qualità delle informazioni, ma non è un database completo, mancando talvolta di alcune informazioni essenziali quali la potenza installata, il numero o la tipologia di dispositivi installati, o la potenza autorizzata dalla concessione.

[2] La European Marine Observation and Data Network (EMODnet) è finanziata dall'Unione europea ai sensi del regolamento (UE) n. 508/2014 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 15 maggio 2014, relativo al Fondo europeo per gli affari marittimi e la pesca.

[3] Il *geodatabase* dei progetti di energia oceanica nell'UE è stato creato nel 2014 da AZTI-Tecnalia per la rete europea di osservazione EMODnet. È il risultato dell'aggregazione e armonizzazione di set di dati forniti da diverse fonti provenienti da tutta l'UE. Viene aggiornato ogni anno e contiene informazioni geolocalizzate sui progetti di *ocean energy* nei seguenti Paesi: Belgio, Danimarca, Finlandia, Francia, Irlanda, Italia, Norvegia, Portogallo, Russia, Spagna, Svezia, Paesi Bassi e Regno Unito.

[4] Negli Stati Uniti le licenze sono rilasciate dalla Federal Energy Regulatory Commission (FERC).

[5] L'unico progetto degno di nota è il Sunndalsøra Osmotic Power Plantun, progetto norvegese per una potenza nominale di 2 MW.

[6] Una cospicua parte della potenza installata per lo sfruttamento dell'energia termica dell'oceano (OTEC) da parte dell'India (circa 20 MW) deriva da impianti di produzione siti nelle Isole Andamane e Nicobare, arcipelago indiano nel golfo del Bengala.

[7] Per un discreto numero di casi di studio censiti, principalmente nel Regno Unito, non è stato possibile risalire all'anno di inizio del progetto.

[8] L'attuale contesto normativo europeo di riferimento è riconducibile a varie disposizioni che partono dalla direttiva 2001/77/CE del 27/9/2001: «Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità», recepito in Italia dal DM del 23 giugno 2016 «Incentivazione dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili diverse dal fotovoltaico».