

INTEGRAZIONE TRA ENERGIA EOLICA OFFSHORE E ITTICOLTURA: IL PROGETTO “MAR DE TRAFALGAR”

Giovanni Besio¹, Marcello Sanò² & Miguel Losada³

¹ Dipartimento di Ingegneria Ambientale, Università degli studi di Genova – Genova (IT)
e-mail: giospud@diam.unige.it

² Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas, E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cantabria – Santander (ES) e-mail: marcello.sano@alumnos.unican.es

³ Grupo de Puertos y Costas, Centro Andaluz de Medio Ambiente (CEAMA), Universidad de Granada – Granada (ES) e-mail: gpyc@ugr.es

Parole chiave: Oceano, Mare, Aerogeneratori, Parco Eolico, Itticoltura.

SOMMARIO

A seguito delle politiche energetiche dell'Unione Europea e delle indicazioni del protocollo di Kyoto, la Spagna ha realizzato negli ultimi anni numerosi progetti per lo sfruttamento del potenziale eolico, prevalentemente attraverso al costruzione di impianti eolici sulla terra ferma. La presenza di condizioni geomorfologiche e climatiche ottimali nella zona in mare aperto al Sud Ovest del Golfo di Cadice rendono tale sito estremamente interessante per la realizzazione di un parco eolico offshore della potenza di 1000 MW. L'integrazione tra l'installazione di tale impianto e la realizzazione di strutture per lo sviluppo dell'itticoltura rende la realizzazione del progetto “Mar de Trafalgar” economicamente più efficace e inoltre permetterebbe di diversificare l'economia della zona di Barbate (Andalusia Occidentale) basata prevalentemente sulla pesca del tonno.

1 INTRODUZIONE

Lo sfruttamento dell'energia eolica con impianti dedicati rappresenta un modello di produzione energetica con un forte potenziale di sviluppo grazie alla disponibilità di tecnologia consolidata e alla ampia distribuzione di aree adatte a questo tipo di attività. Negli ultimi dieci anni, infatti, il progresso tecnologico ha permesso di passare dalle turbine dalla capacità di 500 kW e dal diametro di 40 metri, alle turbine disponibili oggi sul mercato capaci di raggiungere potenze pari a 5 MegaWatt e dal diametro delle pale pari a un centinaio di metri. Inoltre alcune stime energetiche hanno valutato a capacità energetica eolica disponibile a terra nell'Europa dei 25 pari a 600 TeraWatt/ora; nel caso in cui si consideri invece il potenziale eolico disponibile nelle regioni situate in mare aperto, altresì dette *offshore*, tale stima raggiunge addirittura i 3000 TeraWatt/ora (*Border Wind*, 1998; *EWEA-DGTREN*, 2003; *Garrand Hassan*, 1995; *Grubb & Meyer*, 1993). D'altra parte la firma del protocollo di Kyoto da parte dell'Unione Europea e le politiche europee (*Direttiva 2001/77/CE* sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità), nazionali (*Plan de Fomento de las Energías Renovables de España*, 1999) e regionali in campo energetico promuovono chiaramente l'uso di fonti di energia rinnovabili delineando un contesto istituzionale che rafforza la coerenza di nuove iniziative in questo ambito.

L'integrazione di strutture adibite all' itticoltura con il parco eolico, rappresenta una significativa innovazione nella pratica di entrambe le attività e una possibile soluzione al conflitto che si viene a creare sempre più spesso per la destinazione d'uso dell'area costiera. Inoltre la creazione di nuove opportunità socio-economiche di espansione e sostentamento delle comunità locali è pienamente in linea con le Politiche Comuni della Pesca promosse dall'Unione Europea (*Commissione Europea*, 2006).

2 LA PRODUZIONE DI ENERGIA EOLICA IN SPAGNA E IN EUROPA

La Spagna è uno dei paesi leader a livello mondiale nella produzione di energia eolica, sia per quello che riguarda la potenza eolica installata che nella costruzione di turbine.

Potenza installata in Spagna tra il 1990 e il 2004 (cumulata)

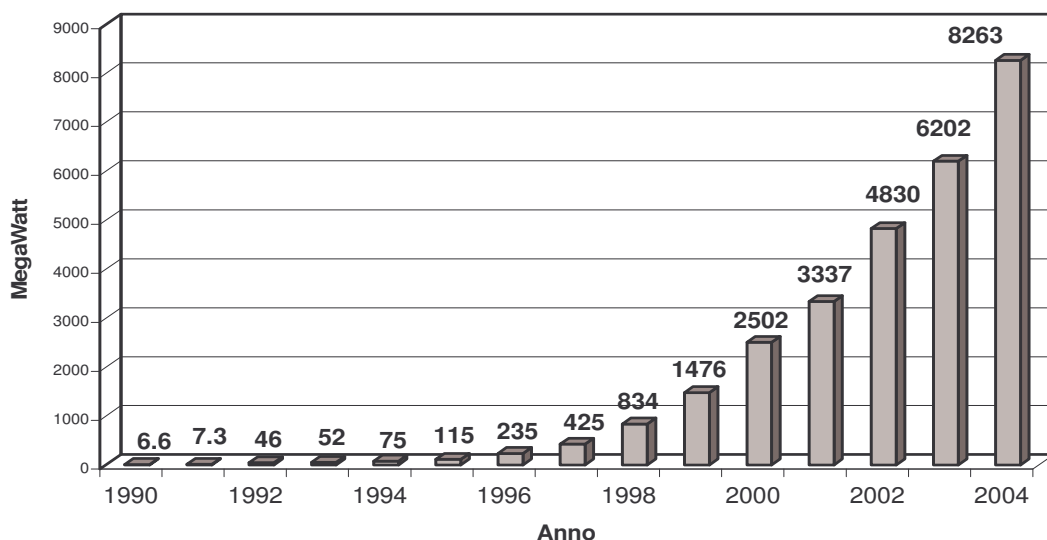


Figura 1 Potenza eolica installata in Spagna tra il 1990 e il 2004 (Fonte IDAE).

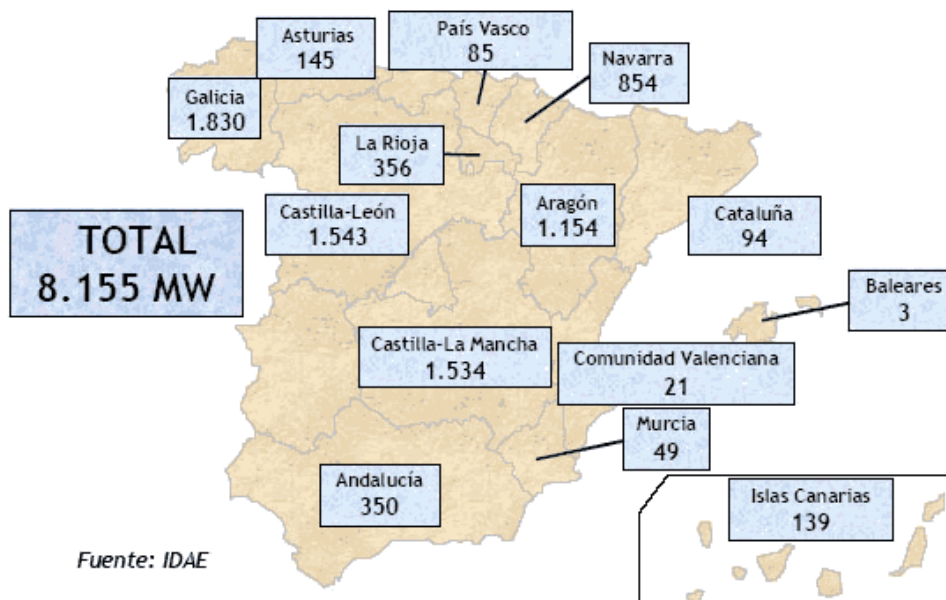
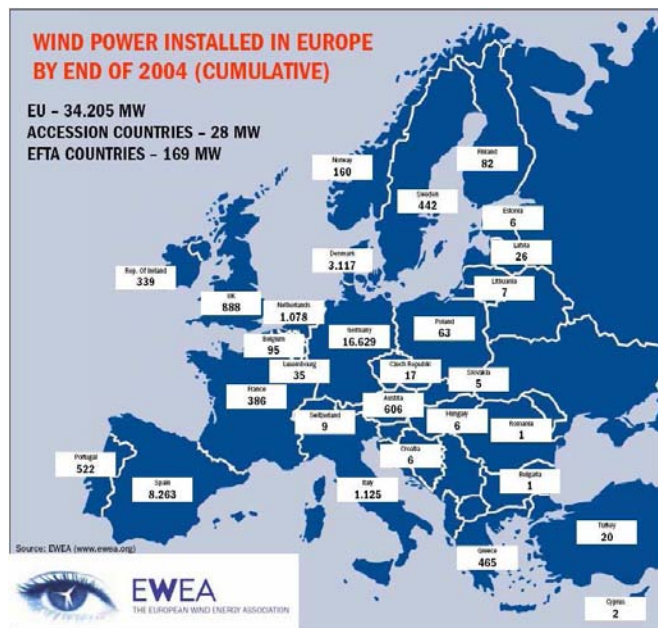


Figura 2 Potenza eolica installata in Spagna per Comunità Autonome (Fonte IDAE).

Il territorio spagnolo presenta caratteristiche geomorfologiche e climatiche particolarmente adatte all'installazione di impianti eolici (si pensi alle grandi pianure della Castilla-la-Mancha battute dai venti provenienti dall'Atlantico Occidentale o alle montagne del Cantabríco battute dalle correnti provenienti

dall'Atlantico Nord-Occidentale) e una politica mirata allo sviluppo di questo settore ha fatto in modo che la Spagna sia la seconda potenza mondiale per quanto riguarda la potenza installata avendo raggiunto gli 8263 MW nel 2004 (solo la Germania le è davanti con 16629 MW).



	Installata alla fine del 2003	Installata nel 2004	Installata alla fine del 2004
Austria	415	192	606
Belgio	68	28	95
Cipro	2	0	2
Danimarca	3115	9	3117
Estonia	2	3	6
Finlandia	52	30	82
Francia	253	138	386
Germania	14609	2037	16629
Gran Bretagna	648	240	888
Grecia	375	90	465
Irlanda	191	148	339
Islanda	399	43	442
Italia	904	221	1125
Lettonia	0	7	7
Lituania	26	0	26
Lussemburgo	22	14	35
Malta	0	0	0
Olanda	910	197	1078
Polonia	63	0	63
Portogallo	296	226	522
Rep. Ceca	9	9	17
Slovacchia	3	3	5
Slovenia	0	0	0
Spagna	6203	2065	8263
Ungheria	3	3	6
EU-10	108	24	132
EU-15	28460	5678	34073
EU-25	28568	5703	34205

Figura 3 Potenza eolica installata in Europa al 31/12/2004. (Fonte: EWEA).

Obiettivo del governo spagnolo è raggiungere entro il 2010 una quota pari al 12% di energia rinnovabile per quanto riguarda l'energia primaria e una quota del 29.4% per la produzione di energia elettrica proveniente da fonti rinnovabili rispetto al bruto del consumo (*Commissione Europea, 1997*), secondo quanto indicato nella direttiva europea (*Direttiva 2001/77/CE*). Per raggiungere questo traguardo, si stima che il settore eolico debba mantenere un ritmo di crescita intorno ai 1500 MW annuali (*EWEA-DGTREN, 2003*), assieme al potenziamento delle altre fonti rinnovabili (in particolare minidraulica, biomasse e fotovoltaica). La produzione di energia elettrica dalla risorsa vento è stata di fondamentale importanza per il bilancio energetico dello stato spagnolo: contrariamente a quanto pensato comunemente, anche nei periodi di maggiore richiesta energetica (mesi invernali quali Gennaio e Febbraio) il contributo apportato dagli impianti eolici è stato estremamente significativo (il 26 di Gennaio 2005 e il 15 di Febbraio del 2005 l'apporto eolico è stato rispettivamente di 5600 e di 6000 MW, su 43000 MW di richiesta generale). Altro aspetto significativo è il superamento da parte delle quote energetiche prodotte con impianti eolici della quota di energia prodotta con gli impianti nucleari: nel Novembre del 2004 l'energia prodotta per via eolica ha superato quella prodotta con il nucleare di circa 200 MW (*IDAE, 2005*).

A livello Europeo, nell'arco dell'anno 2004 sono stati installati impianti pari a 5073 MW con un aumento del 20% rispetto all'anno precedente, valore in linea con la media degli ultimi sei anni che si aggira, per i paesi dell'Europa dei 25, intorno al 22%. Dei 5073 MW installati durante l'arco del 2004, il 72% rappresenta la quota delle sole Spagna e Germania (vedi Figura 3). Al 31 dicembre del 2004 la potenza eolica totale installata in Europa risultava essere di 34205 MW. La Spagna risulta quindi essere un attore molto importante nello sviluppo della produzione di energia da fonti rinnovabili eoliche (*EWEA-DGTREN, 2003*).

La capacità di produzione di energia attraverso l'energia eolica è aumentata grazie alle spinte significative apportate da Germania, Spagna e in minor parte dalla Danimarca. Subito dietro solo l'Italia e

l'Olanda presentano quote di potenza installata significative (poco superiori ai 1000 MW), mentre Regno Unito, Portogallo e Austria presentano cifre di crescita significative (rispettivamente 240, 224 e 192 MW installati nel corso del 2004). Gli apporti dovuti alle nuove annessioni all'UE sono marginali. Danimarca, Grecia e Francia presentano una crescita molto lenta rispetto ai propri potenziali eolici e alle reti nazionali già predisposte alla ricezione di forti quote provenienti dall'eolico (rispettivamente 9, 90 e 134 MW installati nel 2004).

A livello mondiale i maggiori produttori di energia eolica risultano essere la Germania con 16629 MW di potenza eolica installata, seguita dalla Spagna con 8263 MW installati, dagli Stati Uniti d'America con 6740 MW, dalla Danimarca con 3117 MW e dall'India con 3000 MW (GWEC, 2005).

3 LA PRODUZIONE DI ENERGIA EOLICA OFFSHORE

Negli ultimi anni la politica di produzione di energia eolica ha rivolto la sua attenzione alla realizzazione di parchi eolici *offshore*, in quanto questi presentano una maggior efficienza da un punto di vista dello sfruttamento del potenziale eolico e sono caratterizzati da impatti ambientali e visivi generalmente inferiori rispetto agli impianti installati a terra. La grossa difficoltà nella realizzazione di installazioni di questo tipo è la contemporanea presenza sia di condizioni climatiche ottimali, sia di conformazioni geomorfologiche della piattaforma continentale che rendano la costruzione e la manutenzione di questi parchi appetibile da un punto di vista economico. In questo senso le zone più appropriate dove installare questo tipo di impianti risultano essere mari poco profondi caratterizzati da facile accessibilità per i mezzi di manutenzione e localizzati in zone dove lo svolgimento di altre attività umane, quali la pesca e la navigazione, non siano disturbate o penalizzate dalla presenza delle torri degli aerogeneratori e da tutte le infrastrutture accessorie.

Progetto	Paese	Data	Potenza (MW)	Turbine	Profondità mare (m)	Distanza costa (km)	Operatore	Investimento (€ x10 ⁶)
Vindeby	Danimarca	1991	4.95	11 Bonus	3-5	1.5	Energi E2	10.25
Lely	Olanda	1994	2	4 NedWind	5-10	0.75	Nuon	4.5
Tuno Knob	Danimarca	1959	5	10 Vestas	3-5	6	Midtraft	10.4
Drotten	Olanda	1996	16.8	28 Nordtank	5	0.02	Nuon	20.5
Bockstigen	Svezia	1997	2.75	5 Wind World	5.5-6.5	4	Vindkompaniet	4.7
Utgrunden	Svezia	2000	10.5	7 Enron Wind	8-10	8	GE Energy	13.9
Blyth	Regno Unito	2000	4	2 Vestas	8.5	1	Blyth Offshore	6.32
Middelgrunden	Danimarca	2000	40	20 Bonus	4-8	2	Middelgrunde WT Coop	51.3
Yttre Stengrund	Svezia	2001	10	5 NEG Micon	7.5-8.6	5	Energi E2	13
Noms Rev	Danimarca	2003	160	80 Vestas	6-14	14-20	Elsam, Eltra	300
Samso	Danimarca	2003	23	10 Bonus	11-18	2.5	Samso Havind	35
Frederikshavn	Danimarca	2003	11	2 Vestas 1 Nordex 1 Bonusx	1	0.5	MBD Elsam	
Nysted	Danimarca	2003	165.6	72 Bonus	6-10	9	Energi E2, dong, Sydkraft	268.8
Arklow Bank	Irlanda	2003	25.2	7 GE	2-5	12	GE Energy, Airtricity	
North Hoyle	Regno Unito	2003	60	30 Vestas	8-12	7-8	RWE npower	105.7
Emden	Germania	2004	4.5	1 Enercon	3	0.01	Enova	
Scroby Sands	Regno Unito	2004	60	30 Vestas	2-12	2	E ON UK	107.1

Tabella 1 Progetti di energia eolica offshore completati all'interno della Unione Europea.

In Spagna la produzione di energia eolica offshore rappresenta la nuova frontiera dello sviluppo di questo settore, in linea con quanto già realizzato in Danimarca, Regno Unito, Irlanda e Svezia dove sono stati installati impianti offshore con una capacità complessiva maggiore ai 600 MW.



Figura 4 Parco Eolico Offshore di Horns Rev - Danimarca. (Fonte Elsam A/S).

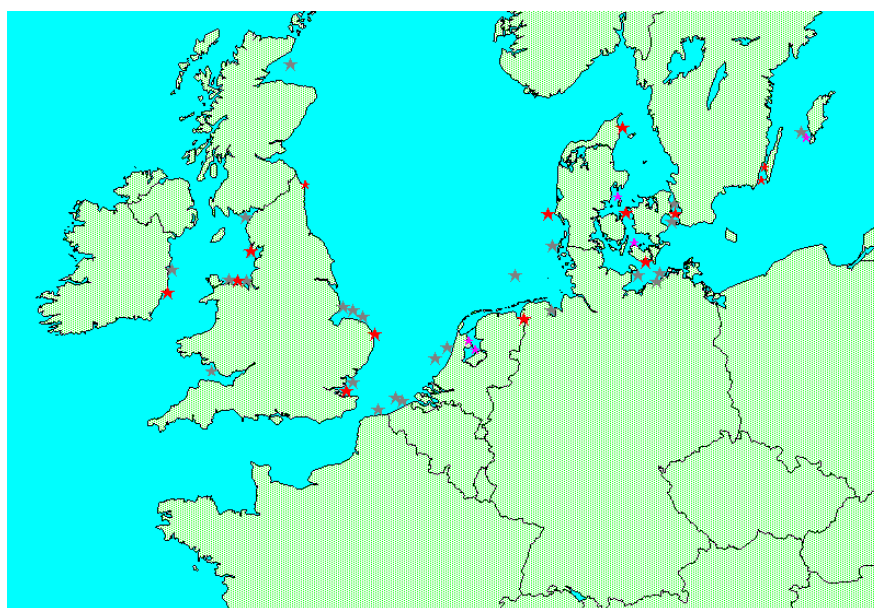


Figura 5 Localizzazione dei campi eolici offshore all'interno dell'Unione Europea (Rosso=costruito, turbine elevata potenza; Viola=costruito, turbine bassa potenza; Blu=in costruzione; Grigio=pianificati).

Come è possibile osservare dai dati presentati in Tabella 1, ad oggi gli stati che hanno investito maggiormente nella realizzazione di parchi eolici offshore sono state la Danimarca e il Regno Unito: la caratterizzazione morfologica delle piattaforme continentali prospicienti la costa e comprese nella zona di mare territoriale giocano un ruolo fondamentale nella scelta di una area adeguata per la realizzazione di questo tipo di impianti. La Danimarca da questo punto di vista è estremamente avvantaggiata dal momento

che ha a disposizione mari molto poco profondi (tutti i parchi eolici installati in Danimarca sono stati costruiti in aree caratterizzate da profondità molto limitate) e substrati rocciosi affioranti dal letto marino ove poter realizzare adeguate fondamenta. In generale tutti gli stati che si affacciano sul mare del Nord posseggono all'interno delle proprie acque territoriali vaste zone di mare caratterizzato da basse profondità in cui potrebbero essere realizzati i parchi eolici offshore. Il problema fondamentale della realizzazione di questo tipo di installazioni nel Mare del Nord è la disponibilità di spazi, in quanto tutta la piattaforma continentale è caratterizzata da un uso intensivo degli spazi per lo svolgimento di diverse attività umane (pesca, industria estrattiva, navigazione) generando forti conflitti d'uso tra i diversi attori. In questa ottica è necessario realizzare una pianificazione e gestione integrata delle acque costiere capace di tenere in conto le necessità, le sinergie ed i possibili conflitti tra le diverse attività con una attenzione rivolta anche alla connessione con le infrastrutture e il tessuto economico-sociale delle aree costiere interessate allo sviluppo e mantenimento delle stesse attività (Cicin-Sain & Knecht, 1998; Vallega, 1999; Buck et al., 2004).

4 IL PROGETTO DEL CAMPO EOLICO "MAR DE TRAFALGAR"

La Spagna, seguendo l'esempio della Danimarca, Germania, Svezia e Regno Unito, prevede iniziare la realizzazione di impianti eolici offshore per incrementare la quota di energia elettrica prodotta tramite questo tipo di impianti.

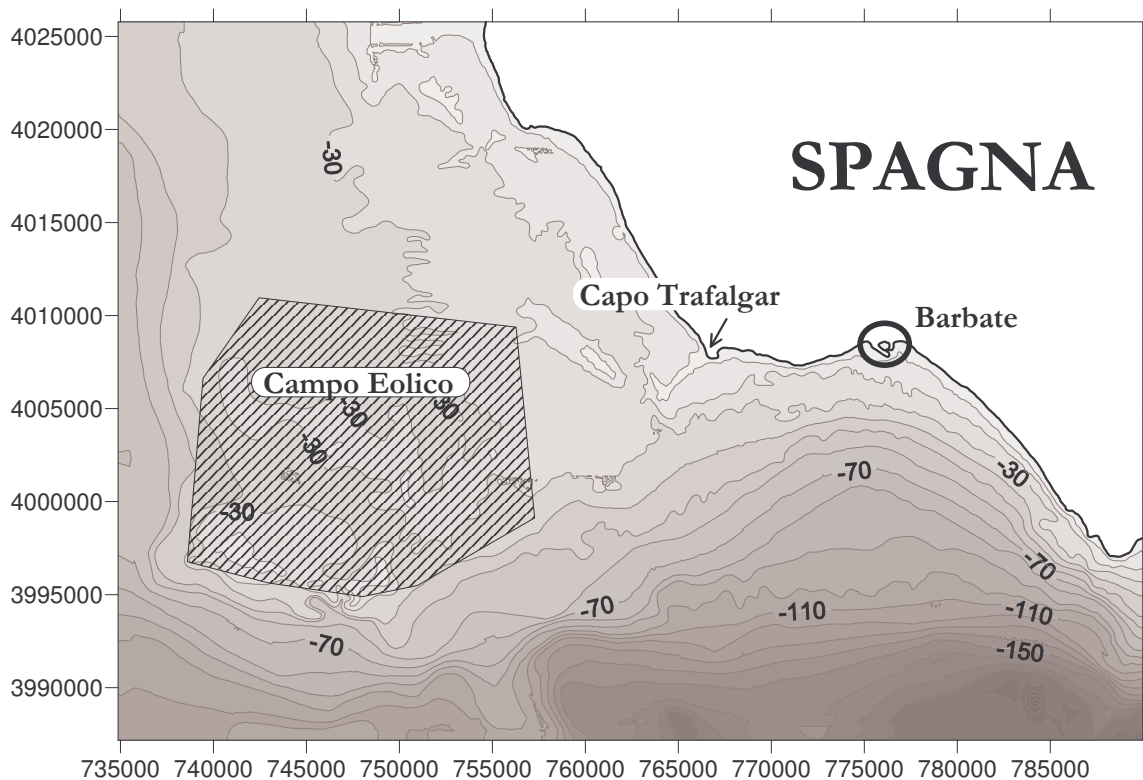


Figura 6 Localizzazione dell'area soggetta all'installazione del parco eolico "Mar de Trafalgar".

Le caratteristiche morfologiche della piattaforma continentale della penisola iberica e le caratteristiche climatiche locali per una operatività minima degli impianti eolici (persistenza del vento: un impianto eolico per essere conveniente deve riuscire a entrare in funzione circa 2000 ore/anno, vedi stime *EWEA-DGTREN*, 2003) fanno sì che le aree adatte a questo tipo di attività non siano numerose. La zona a sud ovest del Golfo di Cadice può essere considerata una tra le poche in cui è possibile incontrare un potenziale eolico estremamente soddisfacente assieme a una conformazione batimetrica della piattaforma con-

tinente che renda tecnicamente possibile la realizzazione dell'impianto con soluzioni tecnologiche economicamente accessibili (INR Eólica, 2003b). In questa prospettiva la comunità autonoma Andalusia potrebbe ricevere un forte impulso allo sviluppo del settore eolico poiché nonostante la grande estensione territoriale e le condizioni climatiche ottimali presenti nel suo territorio, solo il 4.3% del totale dell'energia eolica installata in Spagna è prodotta in questa regione. La realizzazione del parco eolico “Mar de Trafalgar” rappresenterebbe quindi un ottimo trampolino di lancio per questa comunità autonoma nel settore eolico, proponendosi come leader spagnolo per quel che riguarda gli impianti eolici offshore.

Il progetto “Mar de Trafalgar” prevede l'installazione di un elevato numero di aerogeneratori organizzati in 21 parchi eolici composti da 13 singoli elementi della potenza di 3.6 MW l'uno: in condizioni operative l'energia prodotta da tutto il campo (circa 1000 MW) risulta essere quindi circa quattro volte maggiore rispetto a quella prodotta da una centrale termica convenzionale. Una stima previa della produzione annuale di energia per tutto il campo è di circa 3000 GigaWatt. Una volta realizzato, questo parco eolico offshore risulterà essere il più grande del mondo sia da un punto di vista dell'area occupata dalle installazioni, sia da un punto di vista della potenza installata e quindi della produzione di energia elettrica.

Stime previe hanno mostrato come la produzione da fonti rinnovabili di circa 500 MW di energia elettrica permette di limitare le emissioni in atmosfera di anidride carbonica di circa 1.5 milioni di tonnellate all'anno e di non bruciare più circa 1.15 milioni di tonnellate di carbone altrimenti utilizzato in impianti termoelettrici tradizionali (EWEA-DGTREN, 2003; GWEC, 2005; IDAE, 2005).

4.1 Integrazione tra produzione di energia elettrica con aerogeneratori e impianti di itticoltura

Il carattere innovativo del progetto “Mar de Trafalgar” risiede nell'integrazione tra due attività produttive che spesso presentano conflitti e competizione tra gli attori interessati. L'utilizzo delle strutture adibite all'installazione dei singoli aerogeneratori come fondamenta e come strutture accessorie per la realizzazione delle gabbie di acquacoltura permette l'integrazione tra l'attività di produzione di energia elettrica e lo sviluppo del settore di itticoltura nella costa atlantica dell'Andalusia (in particolare dell'area di Barbate). Inoltre lo sviluppo di quest'ultimo settore rappresenta una ottima soluzione per poter rendere la gestione degli impianti eolici meno gravosa e più redditizia. Infine una diversificazione dell'attività di pesca della comunità di Barbate porterebbe un sensibile miglioramento delle condizioni socio-economiche della comunità stessa (vedi sezione 4.2).



Figura 7 Interazione tra il parco eolico e altre attività umane. Sinistra: rotte di navigazioni in corrispondenza dello Stretto di Gibilterra. Destra: aree adibite alla pesca.

Da un punto di vista tecnico l'integrazione strutturale tra il pilone dell'aerogeneratore e la gabbia dedicata all'allevamento delle specie ittiche avviene tramite la realizzazione di una fondazione composta da una struttura reticolare in cemento armato, ancorata al fondo del mare tramite la realizzazione di micropali e protetta dai fenomeni erosivi da una massicciata in pietre naturali del peso di circa 300 kg. Nel centro di questa struttura viene collocato il pilone su cui viene montata la turbina eolica. Nel perimetro della fondazione vengono poi innestati dei pilastri metallici con funzione di guida per lo svolgimento delle reti

perimetrali delle gabbie di acquicoltura che vengono appese a una piattaforma di servizio posta a +5.0 metri sopra il livello del mare (vedi Figura 8). Tale piattaforma, realizzata in cemento armato nervato, viene utilizzata sia per le attività manutenzione delle turbine eoliche, sia come zona di lavoro per tutte quelle attività rese necessarie dall'installazione degli impianti di acquicoltura (trasporto e rifornimento dei mangimi, controlli periodici della crescita dei pesci, raccolta degli animali a fine ciclo).

Il processo costruttivo dei singoli elementi è pensato per essere realizzato interamente in cantieri che verranno costruiti appositamente all'interno del porto di Barbate per la realizzazione del progetto "Mar de Trafalgar", come illustrato in Figura 9. Una volta completata la fase costruttiva degli elementi integrati aerogeneratore-gabbia di itticoltura, l'area destinata ai cantieri verrà adibita a vari tipi di attività portuali (lato Nord del piazzale), mentre il molo occidentale del nuovo piazzale verrà adibito alle operazioni di servizio per l'attività di itticoltura e di manutenzione degli impianti del parco eolico.



Figura 8 Schema pittorico del sistema integrato aerogeneratore-gabbia di itticoltura.

4.2 Aspetti socio-economici

La realizzazione degli impianti di itticoltura alla base delle strutture adibite alla produzione di energia eolica è stata concepita per poter rendere la gestione dell'impianto più efficace da un punto di vista economico ed allo stesso tempo per poter dar respiro e diversificare l'industria della pesca della costa atlantica Andalusia. La realizzazione impianti di itticoltura permetterebbe la diversificazione dell'industria peschiera e la destagionalizzazione dell'occupazione, diminuendo lo sforzo di pesca sul tonno e creando posti di lavoro stabili annualmente (vedi *INR Eolica*, 2003a). Tale iniziativa rientra appieno nelle misure per la realizzazione del *Plan de Acción de Barbate*, documento programmatico redatto dall'amministrazione della comunità di Barbate per lo sviluppo dell'economia locale. In particolare la coincidenza della diminuzione delle catture del tonno e il mancato accordo con il Marocco per lo sfruttamento dei banchi di pesci presenti nelle acque prospicienti il Sahara occidentale (70% dell'economia locale), ha inferto un duro colpo alla situazione economica e sociale della comunità locale. Il *Plan de Acción* propone come principali misure il rinnovo della flotta dei pescherecci, la diversificazione dell'economia e la costruzione di infrastrutture adeguate allo sviluppo della regione. Inoltre, particolare attenzione è rivolta alla creazione di poligoni industriali tematici e al rilancio dell'attività turistica imperniata sull'uso sostenibile delle ri-

sorse costiere.

Il progetto “Mar de Trafalgar” in un primo tempo aveva tenuto in conto solo l’aspetto della produzione dell’energia in quanto i promotori erano società legate all’installazione e gestione di impianti eolici offshore. Solo in un secondo tempo, in seguito alla redazione e presentazione del *Plan de Acción de Barbate* sono stati considerati aspetti integrativi del progetto. Innanzitutto è stata proposta la realizzazione degli impianti di itticoltura per la riconversione dell’industria peschiera in declino; in secondo luogo, il riutilizzo degli spazi e delle infrastrutture portuali realizzate per la costruzione di infrastrutture portuali impiegate nel progetto, rappresenta un valore aggiunto e un’immissione di risorse per il settore connesso alla pesca e all’itticoltura. Inoltre vista la complessità e diversità delle figure professionali necessarie per la realizzazione dell’una e dell’altra attività è previsto un sensibile aumento dell’occupazione specializzata e non. Infatti oltre ai lavoratori occupati per l’installazione e la manutenzione del parco eolico, è prevista una crescita delle occupazioni nell’indotto, soprattutto per quanto riguarda l’espansione dell’itticoltura.

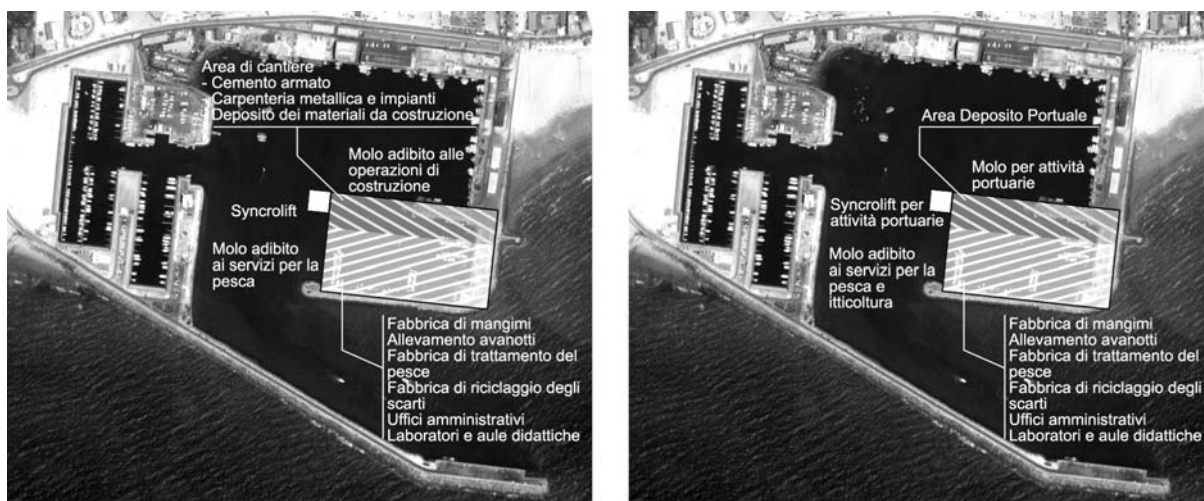


Figura 9 Planimetria del porto di Barbate (Fonte: GoogleEarth). Piano delle infrastrutture portuali previste nel progetto “Mar de Trafalgar”. Sinistra: fase di costruzione del parco. Destra: fase di utilizzo.

Un’altro importante aspetto tenuto in conto nel progetto è la concentrazione e aumento di biomassa associata alla realizzazione delle fondamenta degli impianti attraverso strutture reticolari in cemento armato. Tale configurazione rappresenta infatti per le specie locali una sorta di biotopo artificiale dove trovare rifugio e condizioni favorevoli per la riproduzione e la crescita. In questo modo la ripopolazione della fauna ittica autoctona tramite processi naturali avrebbe una ricaduta positiva sulla pesca tradizionale oramai esausta a causa della diminuzione dello stock ittico (nella zona in oggetto sono stati costruiti in passato diversi reef artificiali, progettati in maniera da contrastare la pesca a strascico lungo le coste atlantiche dell’Andalusia, vedere in Figura 7 le aree vietate a questo tipo di pesca; si veda inoltre *Jensen et al., 2000; Relini, 2002*).

4.3 Aspetti ambientali e paesaggistici

Lo studio dell’impatto ambientale di un impianto eolico offshore è piuttosto complesso, essendo necessario valutare, oltre all’impatto ambientale delle operazioni di produzione e trasporto dell’energia, anche le operazioni associate alla costruzione e allo smantellamento; per quel che riguarda il progetto in questione, ai possibili impatti associati alla generazione di energia elettrica è necessario aggiungere gli impatti ambientali legati alle attività di itticoltura, che non sono stati valutati in fase preliminare.

L’installazione di impianti di energia eolica offshore può avere impatti significativi diretti quali il rumore, la generazione di campi elettromagnetici associati ai cavi, il rischio di collisione da parte di grossi predatori e mammiferi marini, ed impatti indiretti dovuti all’alterazione delle reti alimentari e dei mecca-

nismi riproduttivi (Gill, 2005); le attività di itticoltura, inoltre, possono produrre impatti ambientali significativi, legati soprattutto alla dispersione di residui che generano eutrofizzazione (Borja, 2002). D'altra parte la generazione di habitat artificiali attorno alle strutture può essere positiva dal punto di vista del ripopolamento ittico (Relini, 2002) e la protezione di specie bentoniche e nectoniche dalle attività di pesca. (Jensen, 2002).

La valutazione preliminare degli effetti ambientali del progetto "Mar di Trafalgar" è stata effettuata includendo i possibili impatti legati al processo costruttivo e quelli legati al suo funzionamento, seguendo i risultati preliminari ottenuti dai progettisti (INR Eolica, 2004b): sono state considerate tutte le componenti ambientali che possono subire alterazioni, includendo dal punto di vista ecologico, le comunità bentoniche della piattaforma continentale, le specie planctoniche, le specie ittiche autoctone e migratorie, i mammiferi marini e gli uccelli marini e migratori; inoltre sono state effettuate valutazioni degli effetti sul paesaggio e degli effetti della possibile alterazione della dinamica marina sulla piattaforma continentale e la costa. È necessario sottolineare che questa valutazione è soltanto preliminare e sarà necessario effettuare, seguendo la legislazione vigente (Real Decreto Legislativo, 1302/1986 e successive modifiche) uno studio completo che permetta mettere in relazione i fattori ambientali interessati con le cause di impatto, siano esse legate all'operatività dell'impianto che alle fasi di costruzione e smantellamento, includendo gli impatti relazionati con l'attività di itticoltura; a questo fine è interessante riferirsi a progetti specifici del settore, che hanno prodotto valide linee guida (IBERDROLA, 2002; JACUMAR, 2005).

Comunità bentoniche

L'impianto si distribuisce completamente su fondi molli sabbiosi-fangosi, dove non sono presenti specie protette ed ecosistemi di particolare interesse; questi fondi sono caratterizzati da comunità bentoniche composte da molluschi bivalvi, alcune specie di anellidi policheti ed echinodermi, specialmente oloturie.

L'installazione delle unità strutturali è stata definita in modo che non saranno necessari dragaggi preliminari, in modo tale da produrre meno torbidità possibile, in quanto quest'ultima potrebbe alterare le attività di organismi filtratori. Le aree alterate totalmente saranno quindi solo quelle interessate dalla collocazione delle singole strutture che copriranno interamente il fondo marino (fondamenta degli aerogeneratori). D'altra parte, la costituzione di *reefs* e zone protette attorno alle strutture favorirà l'aumento della biodiversità del fondo marino.

Ad ogni modo è necessario considerare alcuni effetti che non sono stati approfonditi, come l'effetto del rumore, dei campi elettromagnetici associati ai cavi elettrici e, non ultimo, l'impatto ambientale dell'attività di itticoltura sul fondo marino, che include la dispersione di sostanze nutritive (mangimi) e la formazione di acque residuali dovute alle attività fisiologiche dei pesci allevati.

Comunità planctonica

Le comunità planctoniche, composte da fitoplancton e zooplancton, sono fondamentali per la sopravvivenza degli ecosistemi marini in quanto la presenza di specie vegetali (fitoplancton), animali (zooplancton) e larve (meroplancton) sono direttamente coinvolte nel mantenimento di specie ad un livello maggiore della catena trofica. Per questo motivo una eventuale diminuzione o recesso della comunità planctonica, sia da un punto di vista quantitativo che qualitativo, può avere effetti rilevanti e negativi per il regolare svolgimento dell'attività di pesca, la cui distribuzione è caratterizzata da una forte componente stagionale. L'aumento di torbidità dovuto all'installazione e alle operazioni dell'impianto sarà di scarsa rilevanza, grazie alle tecnologie proposte; d'altra parte le strutture e il *reef* alla base possono rappresentare un biotopo dove si potranno fissare le larve per continuare le fasi successive di riproduzione.

Specie ittiche

I fondi sabbiosi-fangosi in questione presentano una biomassa di specie ittiche piuttosto bassa, limitata alla presenza di pesci piatti come la sogliola; è possibile la presenza di altre specie di pesce azzurro o di squali non strettamente legate all'area.

La presenza del tonno rosso (*Katsuwonus pelamis*) merita un'analisi a parte, in quanto rappresenta una specie migratoria di grande interesse per la pesca tradizionale locale. Si stima che il parco eolico si trovi fuori delle rotte abituali di questi grossi pesci. Solo in condizioni di vento di levante le rotte di migrazioni subiscono una leggera deviazione verso il mare aperto e quindi verso la zona di installazione del parco

eolico. In questo caso si ritiene che la presenza dei singoli elementi strutturali non sia tale da modificare significativamente i percorsi tipici della migrazione annuale di questa specie e nel caso in cui il tonno passi attraverso l'area, le strutture sarebbero completamente impermeabili al loro passaggio non alterando la loro migrazione annuale. Ad ogni modo, come misura precauzionale si eviterà l'installazione delle strutture integrate nel periodo interessato dalla migrazione.

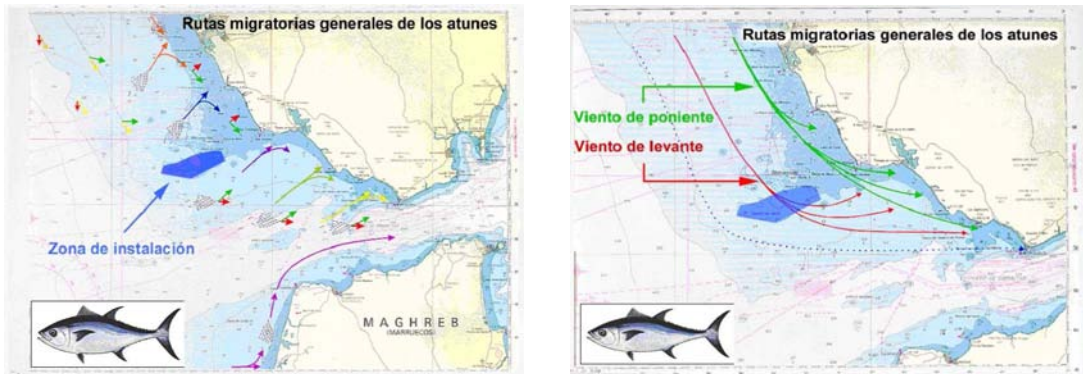


Figura 10 Rotte migratorie del tonno rosso (Fonte: INR Eolica).

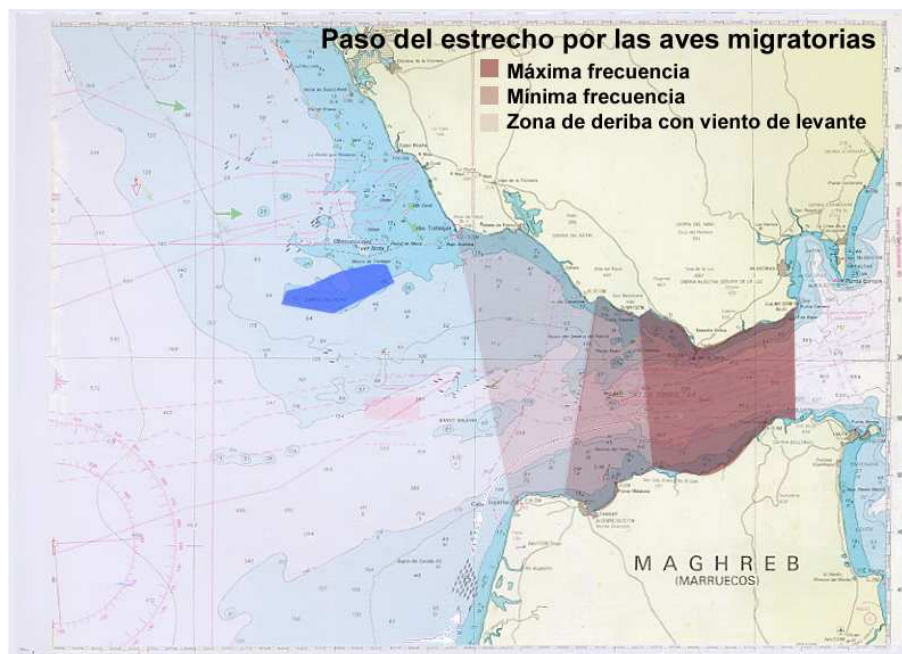


Figura 11 Rotte migratorie della fauna aviaria attraverso lo stretto di Gibilterra (Fonte: INR Eolica).

Mammiferi marini

La presenza di mammiferi marini nell'area è piuttosto limitata, e le specie segnalate includono le stenelle (*Stenella coeruleoalba*), Orche (*Orcinus orca*) ed i globicefali (*Globicephala melas*); l'interazione del parco eolico con questi mammiferi è soprattutto legata all'aumento del livello di rumore legato alle operazioni di installazione dell'impianto da una parte e alle vibrazioni degli aerogeneratori in fase operativa.

Uccelli marini e migratori

Le specie di uccelli marini che potrebbero subire gli effetti dovuti alla presenza del parco eolico includono la berta maggiore (*Calonectris diomedea*), il pellicano (*Pelecanus onocrotalus*), il gabbiano (varie specie) e la sterna (*Sterna spp.*); d'altra parte l'area del progetto si trova relativamente separata dalle principali rotte migratorie degli uccelli che passano per lo stretto di Gibilterra anche in condizioni di vento di levante che tende a spostare la rotta verso occidente; la distanza dell'impianto dalla costa non disturberebbe la migrazione di uccelli lungo costa (vedi Figura 11). Ad ogni modo la tecnologia utilizzata, con aerogeneratori separati fra loro 500 m e allineati uno ogni 1000 m, con una velocità di rotazione di 18 rpm, minimizza l'impatto sulle specie di uccelli residenti o in transito (*INR Eolica, 2003b*).

Paesaggio

L'impatto paesaggistico degli aerogeneratori è una delle principali fonti di discordia nell'installazione di questo tipo di impianti; è importante quindi stabilire criteri per poter quantificare l'impatto paesaggistico degli aerogeneratori offshore, considerando la percezione di un osservatore situato a terra.

Per avere una stima degli effetti paesaggistici dell'installazione del campo eolico si prevede di realizzare delle simulazioni grafiche prendendo come riferimento diverse localizzazioni lungo la costa compresa tra Barbate e Conil de la Frontera, che siano di particolare pregio turistico. Il problema maggiore, infatti, sorge nel momento in cui venga alterato in maniera percettibile dalla costa il profilo dell'orizzonte. Ad ogni modo, considerando che queste strutture si trovano ad una distanza dalla costa che supera i 10 km e che la zona è soggetta a bassa visibilità dovuta a fenomeni meteorologici come le nebbie e le brume, in una prima analisi, l'impatto sul paesaggio può essere considerato trascurabile.

Dinamica sedimentaria

La costruzione di un impianto eolico offshore integrato ha ricadute anche sul regime di trasporto di sedimenti sia localmente, e quindi in corrispondenza della piattaforma continentale interessata dall'installazione delle strutture, sia a distanza, andando a interessare i processi di trasporto litoraneo. In questo caso una alterazione significativa dei processi costieri di trasporto può provocare fenomeni localizzati di erosione/deposito responsabili del cambiamento del profilo della linea di costa. Le possibili ricadute sull'industria del turismo sono estremamente significative in quanto le spiagge in questa regione sono una risorsa molto importante.

Le correnti marine associate al sistema circolatorio in corrispondenza dello stretto di Gibilterra e il moto ondoso proveniente dai settori occidentali dell'Oceano Atlantico vengono alterati a causa della grande estensione del parco e a causa dei processi di dissipazione dell'energia del moto ondoso per un'ottimale svolgimento dell'attività di itticoltura (*Besio & Losada, 2006*). In particolare, mentre eventuali alterazioni della corrente di marea si riflettono sul bilancio di trasporto di sedimenti all'interno della piattaforma continentale, cambiamenti significativi delle caratteristiche di propagazione del moto ondoso (altezza d'onda e direzione di propagazione) causano alterazioni del flusso medio di energia incidente la linea di costa. Nel caso del parco eolico "Mar de Trafalgar" è stato osservato come l'entità di tali fenomeni sia contenuta a causa dell'elevata distanza dell'installazione dalla costa e dalla particolare configurazione morfologica della costa stessa. In particolare la presenza del parco induce una diminuzione dell'altezza d'onda incidente e un lieve cambio dell'angolo di incidenza in corrispondenza della linea dei frangenti. Tali effetti non presentano particolari criticità nel tratto di costa compreso tra Conil de la Frontera e Barbate (*Besio, 2005*).

CONCLUSIONI

Le fonti di energia rinnovabile rappresentano una alternativa ai combustibili fossili, il cui declino nei prossimi anni sarà inevitabile; l'energia eolica ha fatto il suo ingresso nel mercato energetico a livello mondiale, e soprattutto in Europa, grazie alle agevolazioni da parte dei governi, all'accessibilità delle risorse e allo sviluppo tecnologico. Lo sfruttamento dell'energia eolica tramite impianti *offshore* presenta molti vantaggi sia da un punto di vista tecnico che da un punto di vista socio-economico. La qualità della risorsa è infatti migliore che in terra in quanto il profilo della velocità del vento è più regolare poiché non soggetto alla presenza di orografie complesse; inoltre la persistenza del vento è più costante che sulla ter-

raferma. L'allontanamento degli impianti eolici dalle zone terrestri, inoltre, offre vantaggi dal punto di vista dell'accettazione sociale grazie all'eliminazione dell'impatto visivo. L'integrazione degli aerogeneratori con impianti per l'itticoltura, infine, rappresenta un'innovazione dal punto di vista tecnico ma soprattutto socio-economico, considerando il potenziale di questa attività rispetto alla creazione di posti di lavoro e alla diversificazione delle attività di pesca tradizionale che hanno un impatto significativo sugli ecosistemi marini e sull'economia.

La piattaforma continentale a Sud-Ovest del golfo di Cadice dove si intende installare il parco eolico integrato con l'attività di itticoltura, nell'ambito del progetto denominato “Mar di Trafalgar” racchiude tutte le condizioni e presenta vari vantaggi, fra cui:

- le ottime condizioni climatiche per la produzione di energia eolica *offshore*;
- le caratteristiche adeguate per lo sviluppo dell'attività di itticoltura;
- la promozione dell'energia rinnovabile e dell'acquacoltura da parte delle sfere politiche;
- la necessità di iniziative per lo sviluppo socio-economico della zona costiera.

Infine è necessario sottolineare come prima della realizzazione di una installazione di questo tipo è di fondamentale importanza analizzare l'impatto ambientale e la sostenibilità dell'intero progetto a lungo termine. Ad ogni modo la valutazione ambientale preliminare effettuata e l'esperienza internazionale non evidenzia criticità che possano compromettere l'implementazione del progetto in questione.

Ringraziamenti. Si ringrazia l'Ing. Cesar del Campo di INR eolica per tutti i dati forniti riguardo al progetto “Mar de Trafalgar”. La redazione di questo lavoro è stata resa possibile grazie al supporto di INR Eolica, sotto il contratto n. 2296 “Estudio de dinamica litoral y asesoramieneto tecnico para el proyecto Parque Eolico Mar de Trafalgar” e ai fondi stanziati dal MIUR per “Azioni Integrate ITALIA – SPAGNA”.

BIBLIOGRAFIA

- G. Besio & M.A. Losada Rodriguez “*Trasporto solido all'interno di un gruppo di strutture circolari porose: il caso del parco eolico “Mar de Trafalgar”*”, Sottomesso al XXX° Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Roma (2006).
- G. Besio “*Efectos en la costa de Andalucia Occidental debidos a la presencia del parque eolico “Mar de Trafalgar”*”, Informe Tecnico IT III v1 - Grupo de Puertos y Costas, Universidad de Granada, (2005), 218 pp.
- Border Wind, “*Offshore Energy: building a new industry for Britain*”, Greenpeace Ed. (1998).
- A. Borja, “*Los impactos ambientales de la acuicultura y la sostenibilidad de esta actividad*”, Bol. Inst. Esp. Oceanogr. (2002) 18 (1-4), pp: 41-49.
- B.H. Buck, G.Krause & H. Rosenthal, “*Extensive open ocean aquaculture development within farms in Germany the prospect of offshore co-management and legal constraints*”, Ocean and Coast. Management (2004) 47, pp. 95-122.
- B. Cicin-Sain, R.W. Knecht, “*Integrated Coastal Management. Concept and Practices*”, Island Press, Washington D.C. (1998).
- Commissione Europea, “*Renewable Sources of Energy*”, White Paper (1997).
- Commissione Europea, “*Politica Comune della Pesca*”, (2006)
http://europa.eu.int/comm/fisheries/doc_et_publ/cfp_it.htm
- EWEA-DGTREN, European Wind Energy Association – European Commission's Directorate General for Transport and Energy, “*Wind Energy – The Facts*”, (2003).
- Garrad Hassan, “*Study of Offshore Wind Energy in the EC*”, Germanischer Lloyd, Windtest (1995).
- A. Gill, “*Offshore renewable energy: ecological implications of generating electricity in the coastal zone*”, J. of Applied Ecology (2005) 42, pp: 605–615.
- GWEC, Global Wind Energy Council, “*Wind Force 12*”, Greenpeace Ed. (2005).
- M.J. Grubb & N.I. Meyer, “*Wind Energy: resources, systems, and regional strategies*”, in: Johansson, T.B. et al. (eds) Renewable Energy, Sources for Fuels and Electricity (1993).
- IBERDROLA Ingeniería Consultoría, “*Methodological Guidelines for the Environmental and Socioeconomic Impact Assessment of Off-Shore windfarms in touristic areas*”, ALTENER Programme, Project N° 4.1030/Z/01-036/2001, (2001).
- IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, “*Plan de Fomento de las Energías Renovables de*

- España*", (1999).
- IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, "*Plan de Energía Renovables para España 2005-2010*", (2005).
- INR Eólica "*Asistencia técnica para el estudio de los recursos humanos del anteproyecto del parque eólico Mar de Trafalgar*", (2003a).
- INR Eólica "*Proyecto Mar de Trafalgar. Generación de Energía Eólica OffShore*", TOMO 1, Memoria y Anejos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 (2003b).
- JACUMAR, "*Manual para la elaboración de estudios de impacto ambiental en instalaciones de acuicultura*", (2005), [www.http://www.mapya.es/jacumar/datos_practicos/manual_ia/manual_ia.asp](http://www.mapya.es/jacumar/datos_practicos/manual_ia/manual_ia.asp)
- A. Jensen, "*Artificial reefs of Europe: perspective and future*", ICES J. of Marine Science, (2002) 59, pp: S3-S13.
- Parlamento Europeo, "*Direttiva 2001/77/EC*" sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità, (2001).
- Ministerio De Obras Públicas Y Urbanismo (Boe N. 155 De 30/6/1986): Real Decreto Legislativo 1302/1986, De 28 De Junio, De Evaluacion De Impacto Ambiental (1986).
- G. Relini, M. Relini, G. Torchia & G. de Angelis, "*Trophic relationships between fishes and an artificial reef*", ICES J. of Marine Science, (2002) 59, 1, pp: S36-S42.
- A. Vallega, "*Fundamentals of Integrated Coastal Management*", Kluwer (1999).