

MONOGRAFIE DI GEOLOGIA AMBIENTALE

LE COSTE

caratteristiche, tendenze evolutive,
erosione e interventi di difesa

A cura di
Francesco Stragapede



Edizioni SIGEA

Il contributo di un nuovo convertitore dell'energia del mare alla protezione delle coste ed alla produzione di energia pulita

The contribution of the new sea energy converter to coastal protection and the production of clean energy

PIERFRANCO VENTURA¹, MANLIO PALMAROCCHI², CLAUDIO DOMENICONI³

¹ Progettista Geotecnico

² Progettista Rinnovabili

³ Progettista Meccanico

E-mail: pierfranco.ventura@steseoetica.it (P. Ventura), mpalmarocchi37@gmail.com (M. Palmarocchi), claudio.domeniconi@outlook.com (C. Domeniconi)

Parole chiave: protezione coste erosione-allagamenti, convertitori energia marina, rinnovabili competitive, barriere di turbine galleggianti, riconversione scogliere, recupero spiagge, vivai posidonia

Key words: erosion-flooding coastal protection, marine energy converter, competitive renewables, floating turbines reef, reconversion breakwater, beach recovery, posidonia nursery

ABSTRACT

Si propone una ricerca sperimentale sul progetto del prototipo "Energy Reef" riguardante la realizzazione, in un piccolo golfo delle nostre coste, di una barriera dotata di particolari turbine, semisommersa rispetto al livello del mare, e posizionata nella "zona di calma". Tale zona si ha dove il mare avvicinandosi alla costa tocca la profondità di circa 10/12 metri e poi finisce quando arriva a 5/6 metri dove inizia la zona delle mareggiate. La barriera imita quella corallina, lontana dalle mareggiate, in modo da minimizzare i rischi. I vari moduli sono in buona parte prestampati 3D in leggera glesanite, ovvero in vetroresina riciclata, in modo da minimizzare le zavorre di ancoraggio per ottenere il galleggiamento delle giranti. La barriera e le turbine girando, tolgono energia alla sabbia in sospensione che va quindi a depositarsi accumulandosi sul fondale e difendendo in tal modo la costa con le relative infrastrutture. Le stesse turbine, contemporaneamente, producono energia e non solo; con la barriera si determina infatti una fascia protetta lungo la costa e pertanto: divieto di pesca, ritorno della posidonia e quindi della fauna ittica, nonché accumulo di plastica sul fondo che si può così recuperare. La barriera, oltre a proteggere la costa, produce in media 5 a 10 MW/km con onde da 5 fino a 10 kW/m, ed è competitiva con il fotovoltaico producendo anche di notte e maggiormente d'inverno; se usata anche come "ancoraggio" per un fotovoltaico galleggiante consente di incrementare la produzione di energia elettrica. La proposta è anche competitiva con l'eolico offshore specie galleggiante. È possibile inoltre la riconversione in barriere delle attuali difese quali scogliere e ripascimenti che presentano notevoli costi pubblici, specie di manutenzione e causano sensibili danni collaterali sul fondale, tanto che negli Stati Uniti le scogliere sono state proibite. La barriera proposta con la sua produzione di energia è l'unica, fra le varie fonti rinnovabili, che consente

anche la protezione delle numerose coste in erosione e le relative infrastrutture, con evidenti vantaggi per gli investimenti.

LE ENERGIE RINNOVABILI

Il consumo complessivo di energia elettrica in Italia è intorno ai 300 miliardi kWh/anno prodotti alternando nel funzionamento potenze di 50 milioni kW (60 di picco estivo) su le circa 120 totali, in modo da coprire le 8760 ore da erogare nell'anno.

Tali consumi sono attualmente alimentati in Italia da oltre 10 milioni kW (10 GW) eolici che erogano circa 19 miliardi kWh/y e da 22 milioni kW fotovoltaici, che forniscono 25 miliardi kWh/y. L'idroelettrico inoltre ha una potenza di circa 19 milioni kW con erogazioni di 46 miliardi di kWh/y, peraltro in riduzione a causa della siccità. Ancora piccolo è il contributo del geotermico e da biomasse, specie da *rifiuti e liquami*, alla complessiva produzione di energia ed alla eliminazione degli scarichi fognari a mare.

Pertanto la produzione delle "rinnovabili" in totale è dell'ordine di $90/300$ miliardi kWh/y = 30% del fabbisogno italiano, *senza incentivi*.

La produzione termoelettrica a gas pari a 41 milioni kW e 125 miliardi kWh/y, con altri circa 70 da altre fonti fossili e 15 da nucleare importato, coprono il rimanente 70% ($300 - 90 = 210$ miliardi kWh/y).

Si evidenzia inoltre che dei 75 miliardi di m³/y di gas importati in Italia, circa 30 alimentano la predetta produzione termoelettrica ed il resto serve per l'uso industriale, agricolo e domestico (consumo-tipo domestico 0,5 kWh/h, medio 2700 kWh/anno).

Il predetto 70% di produzione di energia da fonti fossili comporta la maggior parte del rilascio di CO₂, nonché delle altre sostanze inquinanti. Ciò può essere realisticamente ridotto con *nuove regole internazionali*, in parte

avviate, per lo sviluppo delle energie rinnovabili e con il risparmio dei consumi, riducendo molto i costi dei danni socio-ambientali.

La capacità di produzione dell'eolico e del fotovoltaico rispetto a quella nominale massima (*capacity factor*) presenta valori dell'ordine del 30% (media 15%) con percentuali peraltro migliori per l'idroelettrico e che per il marino proposto sono maggiori e dell'ordine del 50%, tanto da promuoverne la convenienza quantomeno della Ricerca.

La capacità di produzione annua rinnovabile migliora notevolmente se si usano anche sistemi di accumulo: da quello idraulico con pompe/turbine usate anche nelle casse di espansione fluviali in quota, fino ai recenti polmoni idrostatici sul fondale o i contrappesi sommersi a saliscendi verticali, in modo da compensare le ore di bassa o nulla produzione.

Nel caso dell'energia marina con le barriere proposte funzionanti per 4000 h/y con capacità media di 5 MW/km (50 % delle ore/anno e della potenza nominale di picco di 10 MW) si possono ricavare 20 GWh/y; per cui con 100 km di costa, oltretutto protetta, si ottengono 2miliardi di kWh, fruibili da oltre 400.000 abitanti.

Il contributo dell'energia marina è confrontabile con le altre rinnovabili, consentendo di coprire in pochi anni numerosi fabbisogni domestici e delle medie e piccole imprese, nonché proteggere le coste.

Tali produzioni sono incrementabili con quelle degli impianti fotovoltaici galleggianti e soprattutto non hanno l'impatto ambientale a terra che ne blocca spesso la costruzione.

L'ENERGIA MARINA

Tutti i media, specie in Italia, presentano come rinnovabili solo le pale eoliche e i pannelli fotovoltaici, mentre la produzione di energia marina è praticamente assente, pur essendo invece realizzabile, specie in Italia circondata dal mare.

Nel 2012 si organizzò una giornata di studio (Fig. 1) invitando anzitutto a descrivere le iniziative italiane per confrontarle con quelle internazionali; proseguiti con raccolte di stati dell'arte fino al Blue Deal di Enea del 2022.

Nei riguardi della produzione di energia dal mare sono state realizzate una decina di tipologie di soluzioni con oltre 5700 brevetti in svariate Nazioni, specie WEC Wave Energy Converter: dai pistoni verticali offshore di Emec, a galleggianti orizzontali Flotec in Scozia, fino ai frangenti contro falesie di Oyster in Scozia o Oscillating floaters di Eco Wave Power in Gibilterra ed a Maiorca.

Attualmente in Italia vengono sperimentate: turbina tipo l'aquilone di mare con l'elica di tipo aeronautico o sotto una zattera (Coiro - Venezia o Kobold - Stretto di Messina), pulsatore articolato (40South Energy, ENEL Green Power - Castiglioncello), colonne risonanti aria-onda nei moli (Boccotti - Civitavecchia WEC SAX; Lipari), zattera giroscopica (ISWEC- Politecnico Torino, ENI, MORE - Ravenna, 2020), pendolo PEWEC (ENEA), oscillating floaters (Coastenergy Italia-Croazia).

Produzioni analoghe si ottengono da multi-eliche in correnti fluviali (Watercity - Rovereto) o nella Gironda a Bordeaux, mini-idroelettrico (Lazzarini&Lucchini - Grottolengo MN) o in 13 briglie sull'Arno (Iniziative Bresciane). Si comincia a parlare di giganteschi eolici offshore imitando i parchi danesi passati da 20 turbine di 2 MW del 2000 a turbine da 14 MW per parchi offshore galleggianti da oltre 800 MW, previsti anche per l'Italia nel 2035.

La nuova barriera di seguito proposta presenta nel confronto con il fotovoltaico, aspetti interessanti di produzione rinnovabile specie nei riguardi delle ore di erogazione notturne e invernali. A differenza di altri convertitori di energia dal mare presenta la capacità di protezione delle coste dall'erosione.

Utilizzando numerosi convertitori relativamente piccoli, è competitiva con i predetti singoli eolici di notevoli dimensioni. Inoltre la manutenzione di tale barriera è supportata dalla produzione di elettricità ed è ben più contenuta di quella dei grandi convertitori nei Mari del Nord, essendo l'energia del mare Mediterraneo ben inferiore (10 kW/m versus 75 kW/m).

Il termine rinnovabile è pertanto esteso alla protezione delle coste basandolo anche sulla riconversione delle tradizionali scogliere di massi o dei ripascimenti artificiali, con



FIGURA 1. Sistemi di produzione di energia dal mare in Italia e all'estero, Giornata di Studio STES, AGHAPE. Roma 7 giugno 2012; Logo Energy Reef per lo sviluppo del progetto.

nuove barriere artificiali che imitano la barriera corallina e producono energia elettrica e ripascimento naturale.

Se si volesse proteggere con i ripascimenti artificiali i 4000 km di coste basse italiane, allagabili con l'innalzamento del livello del mare, ci vorrebbe un numero enorme di cave e di miliardi di m³ specie di sabbia (Pranzini 2022).

Il contributo delle rinnovabili ai cambiamenti climatici da antropocene e specie al disinquinamento delle grandi città, in base ai dati appena citati, è sicuramente coadiuvato dall'efficientamento energetico anche se la tecnologia da sola non è risolutiva, ma sono fondamentali le scelte di vita sobria e solidale di ciascuno.

I risparmi energetici dall'ecobilancio industriale all'economia circolare dei rifiuti, dal riparare al ridurre l'usa e getta, rimettendo al centro la qualità e la credibilità su ciò che si produce, migliorano ed aumentano sicuramente il lavoro, come ad esempio con il disinquinamento ed il recupero delle coste e dei porti di seguito proposto.

NUOVA BARRIERA ARTIFICIALE

Gli aspetti innovativi su cui si basa il nuovo tipo di convertitore di energia marina sono incentrati sia sulla particolare posizione offshore/inshore in una fascia calma di mare lontana dalle mareggiate che *minimizza i rischi*, simili a quelli delle *acquacolture*, e ne garantisce una contenuta manutenzione, (Fig. 2a) sia su un galleggiamento prossimo all'indifferente (Fig. 2b) che ne migliora l'efficienza in produzione di elettricità: la disposizione in bar-

riera antierosione smorza efficacemente l'energia cinetica delle correnti inshore.

Tali innovazioni da un lato cercano di imitare la natura degli organismi marini e dall'altro lato attingono alle radici storiche: da quelle archimedee e delle ruote idrauliche fluviali, senza oscillazioni fra magre e piene, fino alla fluidodinamica marina e al moderno monitoraggio delle coste. In proposito è fondamentale il rilievo con droni della velocità delle correnti marine, dei dati meteo-marittimi, degli angoli di traversia, delle correnti litoranee, di modifica dei paraggi e dei rilievi batimetrici specie riguardanti la barra mobile invernale.

I rilievi satellitari hanno evidenziato che in presenza di scogliere e di pennelli di massi i fondali subiscono forti sconvolgimenti con canali e affossamenti o accumuli e intasamenti (Paltrinieri, Faina 2021) causati proprio dal posizionamento di tali difese su bassi fondali, al fine di limitarne l'estensione trapezoidale, ovvero proprio nella fascia delle mareggiate (*storms energy* Fig. 2a). Ciò, accoppiato alla rigida sezione trapezia delle scogliere, esalta sopraffutto le mareggiate e le correnti di fondo, anziché laminarle e smorzarle secondo il naturale frangimento delle onde e conseguente appiattimento (*shoaling*), sino a sradicare o seppellire la posidonia e desertificare e sconvolgere i fondali.

Per tali ragioni, in USA le scogliere sono attualmente proibite (Cipriani 2021), ciò anche per eliminare i danni ambientali delle cave, come anche proibito in varie Regioni italiane.

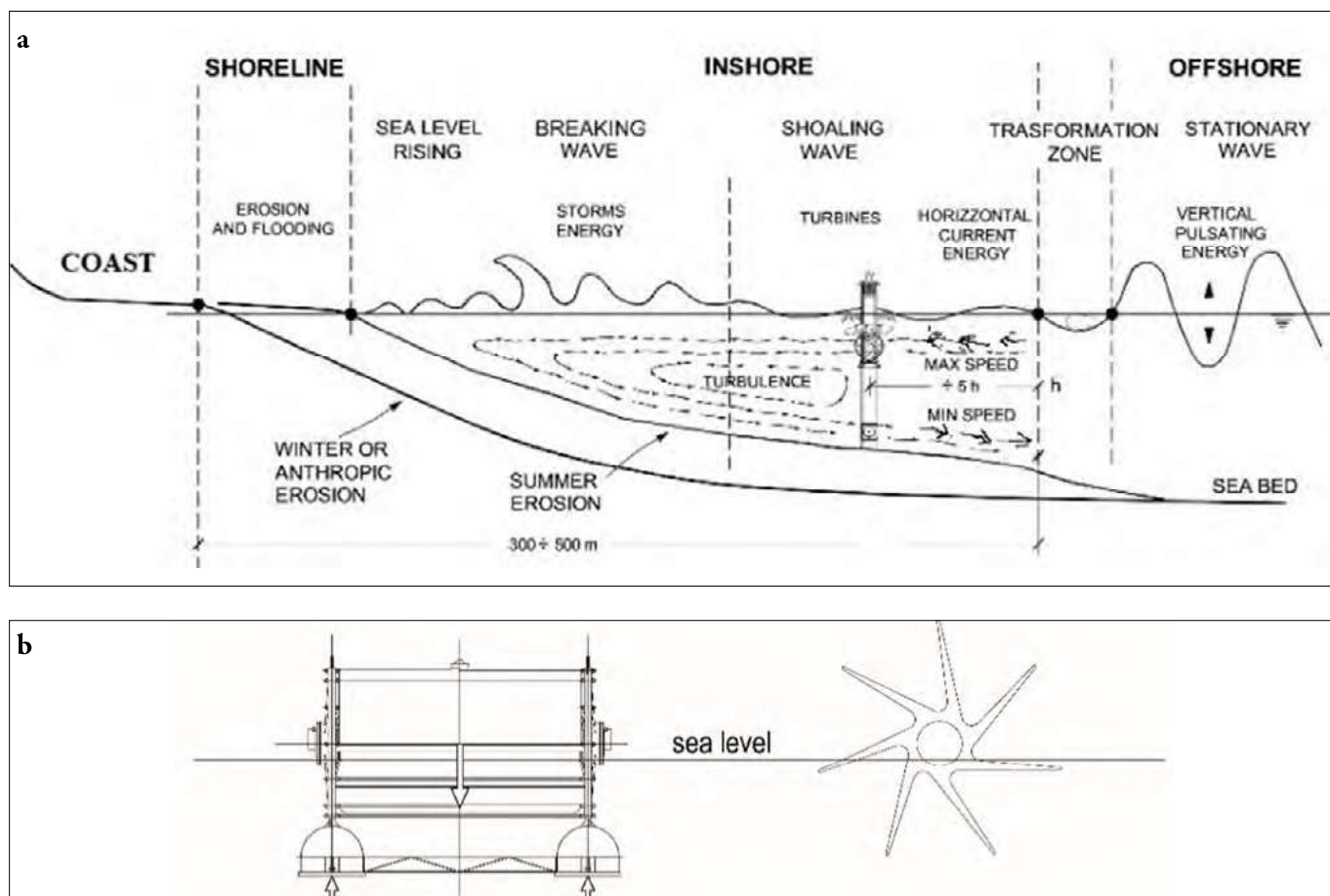


FIGURA 2. Aspetti innovativi: a) posizione delle turbine che imita le barriere coralline nell'area di calma generata dalla trasformazione dell'energia pulsante verticale offshore in correnti orizzontali inshore superficiali e sul fondale; b) Equilibrio della girante ad asse orizzontale prossimo all'indifferente o mesogalleggiante, tipo meduse, in modo da ruotare anche con le minime velocità delle correnti.

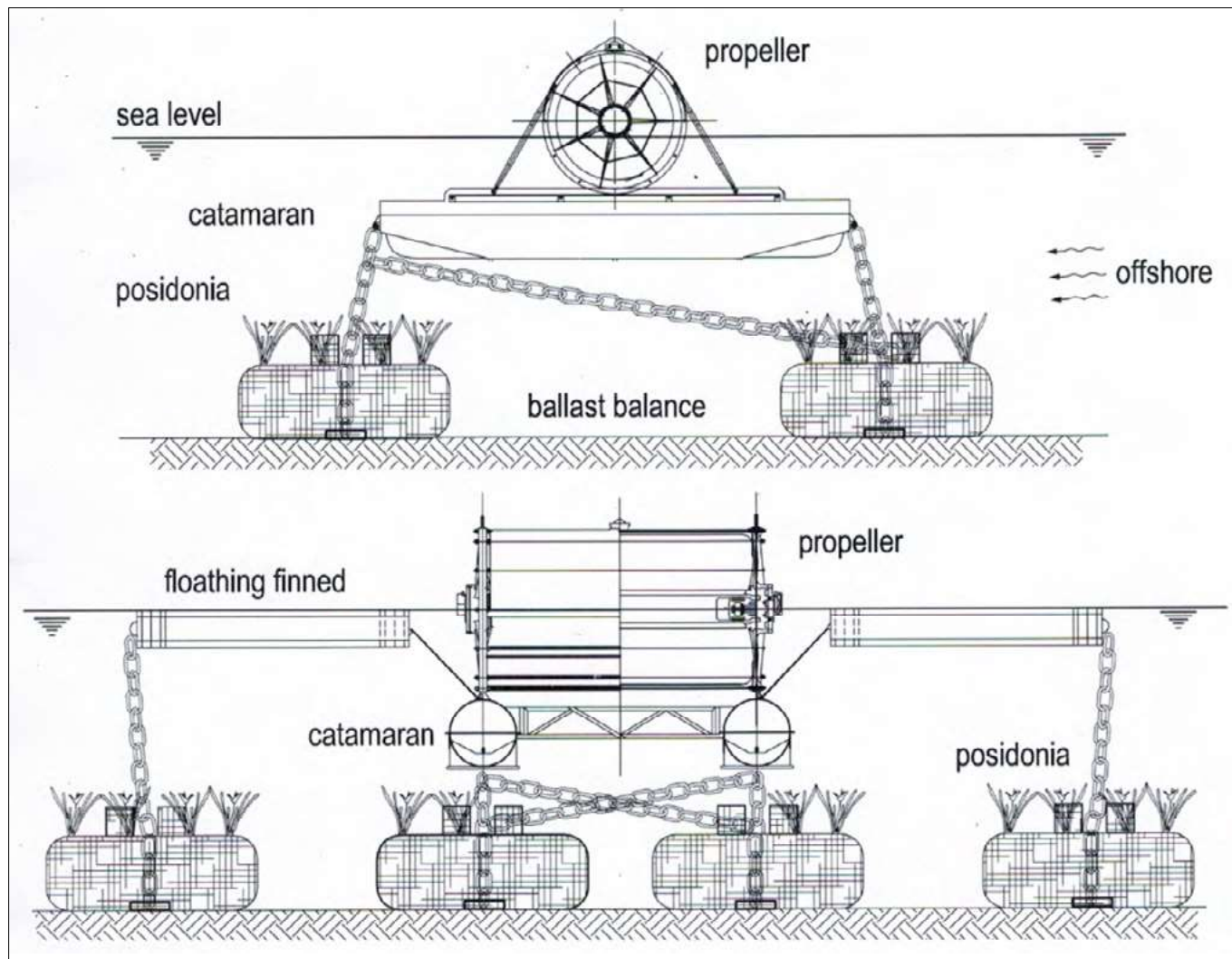


FIGURA 3. Turbina con girante ad asse orizzontale a 7 pale semisommersa nelle correnti superficiali, affiancata da galleggianti alettati di smorzamento e convogliamento, ancorati con catene incrociate a zavorre. Queste sono salpabili e smorzano le correnti erodenti sul fondale, tipo scogliere soffolte, che qualora esistenti possono servire per ancorare le turbine. La barriera può essere ad es. di 50 moduli ogni 20 m con 100 turbine da 3 MW in 1 km o con maggiore produzione senza floathing finned (Fig. 5).

Si propone pertanto un nuovo tipo di turbina con girante ad asse orizzontale che aziona due generatori da 30+30 kW tarati con l'analisi dinamica sulle correnti previste fino a 3m/s o 6 nodi in modo da utilizzare le turbine più efficaci a sfruttarne l'energia cinetica.

Si noti la maggiore efficienza, rispetto all'eolico, dovuta alla distribuzione simmetrica dei generatori coassiali alle pale e per l'assenza, rispetto agli WEC, di meccanismi pulsanti. Ciascun modulo (Fig. 3) è reso galleggiante nella prima versione tramite un catamarano sommerso ad altezza opportuna e ancorato con catene a zavorre forate che consentono di realizzare anche habitat per la fauna ittica; le dimensioni delle zavorre si riducono scegliendo materiali più leggeri per il modulo.

I corti ancoraggi minimizzano i rollii-beccheggi-imbardate che sono invece rilevanti nei giganteschi eolici offshore galleggianti, con ben più delicate valutazioni della sicurezza; in tale confronto altrettanto minima è la lunghezza dei cavi sottomarini fino a terra.

Il rischio da maremoti, è prevenuto dalla posizione nella fascia di calma della barriera (Fig. 2) e prima del forte innalzamento dell'onda anomala, a causa della rapida riduzione delle profondità del fondale vicino alla costa. L'onda ano-

mala subdolamente, specie nel Mediterraneo, non allarma quando è a largo, peraltro con tempi di ritorno elevati ed eventi molto rari sopra il metro di altezza a largo. Si evidenzia che la girante è semisommersa in modo da attingere le massime velocità delle correnti tipicamente superficiali e di non subire gli effetti di venti contrari essendo ricoperte da una cuffia anche antiurto; le pale sono 7 protette dalla corrosione e dal fouling, tramite pulizia sub diretta e periodica essendo i moduli sganciabili dalle zavorre. La girante, in una prima versione della barriera, è coadiuvata da 2 galleggianti laterali, angolati in pianta ad imbuto, in modo da favorire il convogliamento delle correnti marine superficiali. Si è passati poi alla versione più compatta delle Figg. 5 e 6.

Tali galleggianti laterali sono inoltre alettati in modo da contribuire ulteriormente a smorzare l'energia cinetica sottoflutto e ridurre l'erosione, come sperimentato in vasca navale a Roma (Ventura 1992) e attraverso i vari sviluppi del progetto (Fig. 5) descritti nel sito www.steseoetica.it e in numerose pubblicazioni.

La proposta ha ottenuto, attraverso la Commissione del Patent Office di Monaco, il brevetto n° 0001411057 e il deposito CNRSOLAR9861TR2914: ciò è stato fatto per ufficializzare l'originalità dell'innovazione e consentire lo

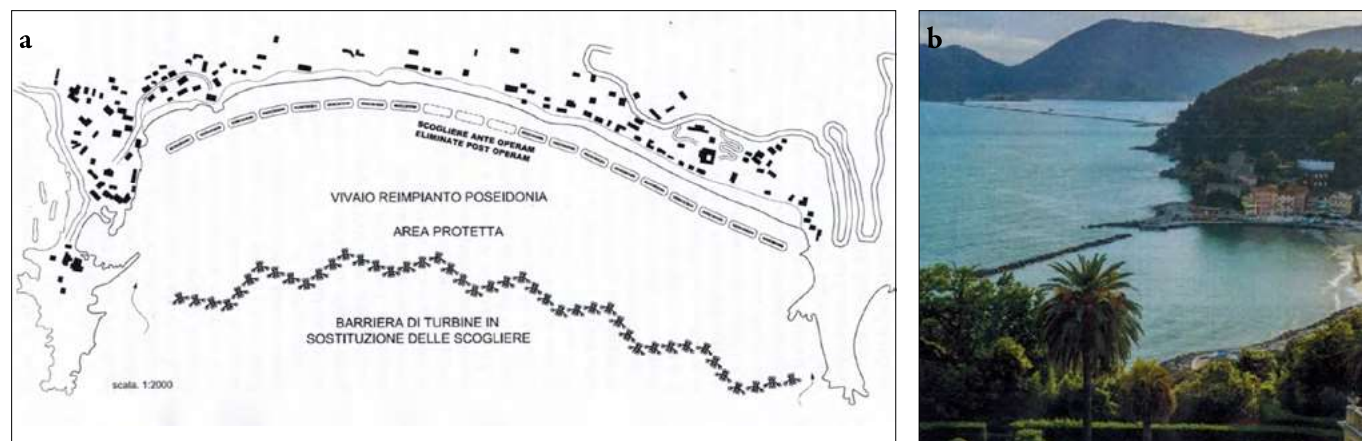


FIGURA 4. a) Barriera, semplificata in una baia fra due promontori, con una fila di moduli antierosione che consentono anche un'area protetta per far attecchire un vivaio di posidonia. La barriera è proposta in sostituzione di 3 scogliere per sperimentarne rapidamente l'efficacia nelle condizioni di erosione esaltata e successivamente la possibilità di recuperare il paesaggio senza scogliere; b) similitudine con una baia protetta invece da scogliere.

Tabella 1. Analisi dei benefici della nuova barriera di turbine per la protezione delle coste

Le turbine sono poste nella zona di calma imitando la *barriera corallina* per cui la manutenzione è sostenibile, anche in quanto si agisce su fondali a profondità di circa 10 m facilmente raggiungibili.

Il particolare galleggiamento quasi indifferente, tipo *meduse*, consente di sfruttare anche le basse velocità delle correnti marine, anche con l'ausilio di un convogliatore, e rende le turbine antisismiche, ovvero in servizio durante i terremoti.

Si sfruttano le *correnti superficiali*, quelle utilizzate da surfisti, che sono dovute alla potente trasformazione dell'energia offshore, pulsante solo verticale, in energia cinetica di correnti marine con velocità orizzontali, con necessaria transizione e creazione della fascia di calma.

La barriera di turbine offre una *protezione "morbida"* ovvero riducendo la velocità delle correnti, sia superficiali che di ritorno sul fondale, consente alle sabbie in sospensione di depositarsi e sopraelevare il litorale proteggendolo anche dall'*allagamento* causato dall'innalzamento del mare.

La proposta *elimina le scogliere*, ormai proibite in USA, in quanto esaltano le mareggiate sconvolgendo il fondale; si ottiene invece un recupero del paesaggio e dell'ecosistema del fondale protetto che consente di far attecchire i vivai di *posidonia*, che assorbono CO₂ oltre 10 volte di più di una foresta; la delimitazione della barriera favorisce poi il disinquinamento dalle plastiche, anche con l'ausilio di reti lungo la barriera.

I vantaggi economici rispetto ai *ripascimenti artificiali* sono notevoli: essendo proibite le cave a terra, si evitano milioni di m³ spesso di sedimenti fini aspirati a largo non idonei e sistematicamente rimossi dalle mareggiate invernali, con costi specie di manutenzione annua molto rilevanti.

La proposta offre il notevole beneficio economico della *protezione delle coste* che è invece assente in tutte le altre produzioni di energie rinnovabili.

La produzione di elettricità delle barriere può in particolare servire per alimentare le grandi navi attraccate nei porti evitando l'immissione dei fumi inquinanti dai motori diesel.

La barriera consente di produrre 5-10 MW/km di picco, specie al crescere dell'energia delle onde da 5 kW/m fino a 10 kW/m, con investimenti paragonabili fino ad oltre 3 ettari di fotovoltaico o all'eolico offshore fondato a 50m di profondità (non galleggiante) realizzato a Taranto, sviluppando l'indipendenza energetica senza incentivi.

Il *fotovoltaico galleggiante* può facilmente sovrapporsi alla barriera proposta, sfruttando le catene e le zavorre di ancoraggio, incrementandone la produzione di corrente elettrica.

In particolare è opportuno fare un confronto economico con i giganteschi *eolici offshore galleggianti* proposti da Falk in Numero di 63 a Budoni in Sardegna e da Enea-Regione Lazio in numero di 27 a Civitavecchia, peraltro privi della capacità di protezione delle coste.

Le scogliere rimosse possono essere utilizzate come materiali per il ripascimento artificiale, *macinando il pietrisco* in modo da ottenere ripascimenti con una granulometria idonea per smorzare le correnti sui fondali.

I moduli delle barriere sono *prefabbricati con stampante 3D* e salpabili dalle banchine portuali. Si prevede l'uso di *materiali leggeri* tipo la glesbanite ovvero la vetroresina *fibrorinforzata riciclata*, con notevoli vantaggi ambientali ed economici rispetto all'alluminio, impiegato solo per le parti più sollecitate.

Lo scafo-convogliatore è opportunamente ancorato per ottenere il *mesogalleggiamento*; la girante ad asse orizzontale inoltre rivisita le storiche ruote idrauliche, senza però le sensibili penalizzazioni delle oscillazioni dei livelli dei fiumi.

sviluppo della Ricerca e delle promettenti applicazioni nello spirito che non s'inventa ma si scopre.

Il progetto del prototipo, individuato con il logo di Fig. 1, è stato completamente sviluppato tramite relazioni, tavole, particolari costruttivi e computo metrico. Molto importante è la scelta dei materiali che più che di alluminio e acciaio, di primo dimensionamento meccanico, sono previsti di tipo eminentemente riciclabile fibrorinforzato.

BENEFICI DELL'ENERGY REEF

L'Italia interamente circondata dal mare, fonte di importanti economie turistiche e commerciali, deve decisamente proteggere le sue coste dall'erosione e dall'inquinamento.

Dei 7914 km di coste ben 1291 km sono difesi da scogliere ed altre da ripascimenti artificiali specie riguardanti i 3600 km sabbiosi. Tuttavia oltre 1200 km di spiagge sono in erosione con arretramenti continui anche dell'ordine di 5- 10 m/anno, ovvero ben oltre le naturali oscillazioni estate/inverno periodiche massime di 5m/anno.

I sopra evidenziati vantaggi di sostituire le scogliere con una barriera di turbine, sfalsate in modo da adattarsi ai vari angoli di traversia, Fig. 4b, consentono inoltre di sperimentare in un'invernata di mareggiate l'efficacia del sistema.

Si propone di eliminare parte delle scogliere e di installare la barriera di turbine a protezione della costa. In tal modo si sperimenta subito l'efficacia della barriera in condizioni di erosione esaltata dalle scogliere rimaste.

Se s'impiegano moduli da 20m disposti con continuità, per il massimo effetto anti-erosione, ovvero s'installano 100 turbine da 30 kW/km si ottiene una potenza da 3 MW/km con erogazione dell'ordine di 10 GWh/y e recuperi di ettari/anni di spiagge.

Tali MW sono incrementabili maggiorando l'estensione e il numero dei convertitori (Fig. 5), peraltro più articolati in mare aperto per smorzare anche le correnti specie litoranee.

Notevoli sono poi gli altri vantaggi della barriera che sono riportati nella Tab. 1 per facilitare gli spunti di riflessione e le osservazioni.

La barriera tende a integrare la barra mobile invernale, "duna sommersa" ultimo baluardo ove a terra è stato tutto urbanizzato, per cui le velocità delle correnti da smorzare sono in eccesso rispetto a quelle che generavano l'erosione naturale estate/inverno.

Il finanziamento della sperimentazione deve essere *sussidiato dalla partecipazione pubblica e privata* con accordo sull'utilizzo del prototipo (*spin off*), anche per ricercare soluzioni diverse dalle scogliere che sono, come sopra evidenziato, decisamente anti-ecologiche. Sotto la spinta della crescita vertiginosa dei costi del MWh, a causa dell'alto prezzo marginale del gas, sono in atto le semplificazioni dei rilasci delle autorizzazioni per costituire le *Comunità energetiche rinnovabili (Cer)* con vantaggi nel tempo su clima-povertà-pace-costruzione capitale sociale (Becchetti 2022).

L'apertura alle rinnovabili per la produzione di elettricità è l'evidente via per promuovere anche lo sfruttamento dell'energia del mare e favorirne la diffusione a *costi com-*

petitivi: domanda, offerta e fatturato giustificano bene la *curva d'investimento*.

Il recupero di ettari di spiagge potrebbe essere soggetto ad un "*contributo di scopo*" a carico degli stabilimenti balneari che usufruirebbero del recupero del paesaggio e del maggior turismo. I vantaggi della proposta sono decisamente numerosi tanto da coprire il rischio della ricerca, peraltro tipicamente intrinseco ad ogni sperimentazione.

In caso di validazione si potrà accedere ai fondi PNRR e si potranno appaltare le barriere proposte per la protezione delle coste, in modo simile all'appalto per il consolidamento di una frana validato in base al monitoraggio, secondo il metodo osservazionale previsto dalla Normativa Tecnica vigente.

INCREMENTI DELLA PRODUZIONE DI ELETTRICITÀ

La predetta analisi costi/benefici in base alla sempre più urgente necessità di produrre energie rinnovabili può essere fortemente sviluppata incrementando nella barriera il numero delle turbine.

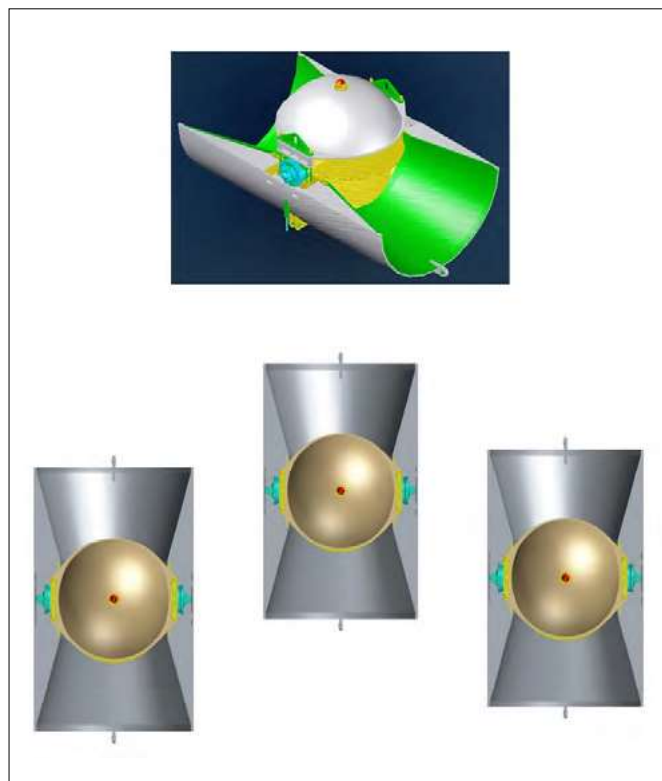


FIGURA 5. Barriera senza i galleggianti alettati, ma con convogliatore compatto collaborante, e interamente composta da giranti, ciascuna con 2 turbine e cavi sottomarini raggruppati, per la massima produzione di corrente fino a 12 MW/km e il massimo effetto anti-erosione: 2 file di 100 moduli ad interassi di 10 m sfalsati in 1 km.

Se si lascia la fitta continuità dei moduli della barriera (Fig. 5) per avere anche la massima efficienza anti-erosione, si possono sostituire i galleggianti alettati con le giranti del modulo in 3D (Fig. 6) e con le pale semicircolari conformi al convogliatore (effetto Venturi).

La barriera è dotata di lampade di segnalazione e passaggi per le imbarcazioni in base all'estensione; i moduli possono essere ancorati su scogliere soffolte esistenti.

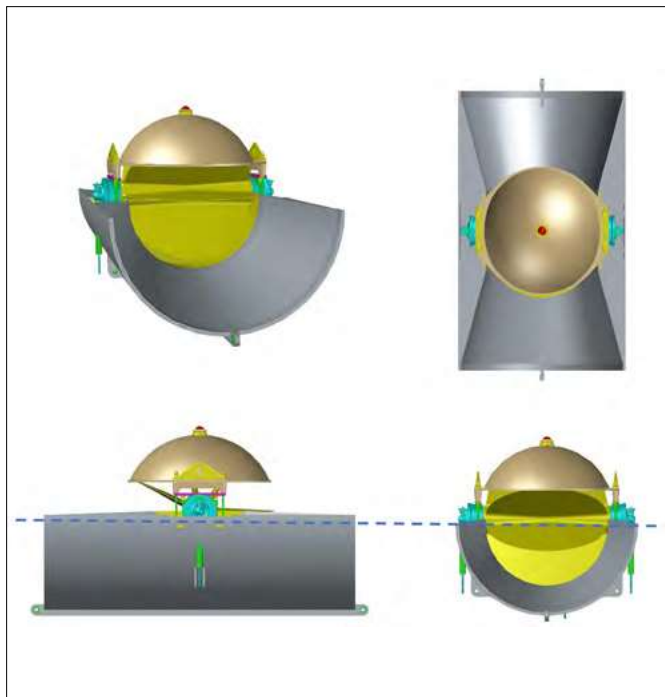


FIGURA 6. Viste 3D e 2D del modulo prototipo in glebanite, da tarare al sito prescelto: la girante, il cui mozzo in alluminio contiene i generatori, presenta 7 pale semicircolari, anch'esse in glebanite da 4 m^2 con raggio di $1,6 \text{ m}$ di pescaggio ove le velocità delle correnti marine superficiali sono massime; i 2 generatori di elettricità, coassiali alla girante, sono ciascuno da 30 kW , con i relativi cavi sottomarini; i galleggianti anziché a catamarano sono con una carena a culla del convogliatore che supporta la girante; il convogliatore incrementa il flusso sulle pale; la cuffia copre solo le semi-pale in aria, ovvero non controcorrente e sopra la linea tratteggiata del sea level; i prigionieri sono rinforzati antiurti ed in modo anche da consentire il sollevamento del modulo per la manutenzione. Il modulo è aggiornato rendendo le varie parti collaboranti più resistenti per forma e fissate telescopicamente ad un monopalo anziché a catene zavorrate.

Come in Fig. 5 si otterrebbe anche una maggiore produzione energetica da 200 turbine di $30 + 30 \text{ kW}$ di picco, ovvero 12 MW/km nominali di barriera, specie con onde da 10 kW/m , e si può arrivare mediamente a 30 GWh/y/km (30 milioni kWh/anno/km).

Si fornirebbero 10.000 abitazioni e si eliminerebbero 15.000 tonnellate di CO_2 da termoelettrico a gas, corrispondenti alle emissioni annue di circa 5000 auto a benzina.

Il maggior costo delle turbine è compensato dal sensibile aumento del prezzo di vendita del kWh , con dimensionamenti e lunghezze adattabili nel tempo all'analisi costi/benefici.

La barriera, prodotta in serie e accoppiando le zavorre in materassi continui tipo scogliere soffolte, diventa poi economicamente confrontabile con i giganteschi eolici offshore specie galleggianti da 14 MW di picco.

I costi di tale eolico sono elevatissimi in quanto necessitano di grandi quantità di materiali con problemi di approvvigionamento e di manodopera, specie per i montaggi a largo; tali costi sono invece più contenuti per piccole e numerose turbine realizzabili in serie con grandi stampanti 3D (MasterPrint, Ingersoll) e con varo premontato nella fascia di calma.

La barriera inoltre presenta una maggiore sicurezza e minore manutenzione essendo la profondità del fondale

di posa circa 10 m , anziché ancorato a centinaia di metri. I moduli sono adattabili con l'innalzamento del mare o spostamenti eccezionali.

In Italia si è programmato un incremento della potenza delle rinnovabili, specie nel Mezzogiorno, dai predetti attuali 50 GW ai 70 GW , ovvero da 90 a 125 miliardi di kWh/anno , a cui l'energia marina potrebbe dare un buon contributo.

Mirati piani d'investimento sul *Green New Deal* contribuirebbero inoltre alla salvaguardia dell'ambiente marino ed alla costruzione del capitale sociale locale (*Prosumer*).

Le famose Aziende italiane nel campo nautico possono essere integrate producendo i proposti nuovi convertitori.

Appaiono appropriate le parole di Saint Exupéry "Se vuoi costruire una nave, non devi per prima cosa affaticarti a chiamare la gente, a raccogliere la legna..., ma invece prima risveglia negli uomini la nostalgia del mare...".

BIBLIOGRAFIA

- BECCHETTI L. (2022), *Agire per le comunità energetiche*, Corso di formazione nazionale per un'ecologia integrale, Focsiv, Caritas Italiana, Fondazione Lanza, webinar, 7 nov.
- CIPRIANI L. E. (2021), *Linee guida nazionali per la difesa e il riequilibrio della costa*, webinar: Il litorale toscano: dinamiche, riqualificazioni e difesa, SIGEA, Alta Scuola, Consiglio Nazionale Geologi, 13 aprile, Castiglione della Pescaia (GR).
- PALTRINIERI D., FAINA G. (2021), *Il litorale di Castiglione della Pescaia: proposte progettuali in corso e ipotesi alternative basate su un diverso approccio della idrodinamica costiera*, Il litorale toscano: dinamiche, riqualificazione e difesa, webinar SIGEA, Alta Scuola, Consiglio Nazionale Geologi, 13 aprile, Castiglione della Pescaia (GR); Poster *Systemic revision of coastal morphodynamics*, Accademia dei Lincei, Roma 21 marzo 2019.
- PRANZINI E. (2022), *Difesa dei litorali o difesa delle spiagge*, La Geologia Ambientale al Servizio del Paese, Palazzo Mattei, Villa Celimontana Roma 10-11 ottobre.
- RICCI LUCCHI F. (1992), *I Ritmi del Mare*, pp. 251, La Nuova Italia scientifica, Roma.
- VENTURA P. (1992), *Prove su modello di frangiflutti galleggiante per la difesa dall'erosione delle coste*, 3° AIOM Congress on marine and offshore engineering, 7-8-9 giugno, Genova, pp. 59-66.
- VENTURA P. (2018), *Fondazioni: Modellazioni statiche e sismiche*, vol. I, pp. 777; *Applicazioni statiche e sismiche*, vol. II, pp. 782, Ulrico Hoepli Editore, Milano, ISBN 978-88-203-8644-3.
- VENTURA P., PALMAROCCHI M., DOMENICONI C. (2022), *New artificial reef in coastal protection reconversion and electric power production*, CNR-IBE Institute for Bioeconomy, Proceedings of 9th Int. Symposium "Monitoring of Mediterranean coastal areas: problems and measurement techniques", 14-16 giugno Livorno, FUP - Firenze University Press, DOI, Poster e bibliografia estesa www.steseoetica.it.