

NEW ARTIFICIAL REEF IN COASTAL PROTECTION RECONVERSION AND ELECTRIC POWER PRODUCTION

Pierfranco Ventura¹, Manlio Palmarocchi², Claudio Domeniconi³

¹ Former Geotechnical Designer; DISG – Architecture – Sapienza – Roma
Phone 3356434580, e-mail pierfranco.ventura@stesecoetica.it, Via E. Repossi 19 - Roma

² Former Responsible Renewable Energy – ENI – Roma

³ Former Responsible Mechanical Designer – Gruppo Magnaghi; – Breda Energia

Abstract - Sea energy is characterized by the conversion of offshore pulsing vertical wave energy into inshore horizontal current energy in the seabed transition of shallow coastal waters. These currents cause excessive erosion compared to natural summer-winter erosion, which, as is widely known, is greatly increased by anthropogenic activities. The issue therefore, is to contain the kinetic energy in excess of the sea currents. An “innovative aspect” is illustrated analyzing a standard vertical section of “sea approaching the coast” as (fig. 1). Coming from the offshore deep sea we found that the wind energy produces vertical pulsating waves only until the seabed reaches 10 or 12 m depth. At this point a great number of water particles start moving horizontally to the coast, triggering a very strong horizontal current, just below the sea surface, which causes flooding and erosion, accentuated on the seabed by return currents. This stream is so regular that it produces a very calm zone until the seabed reaches about 5 or 6 meters, where the “heavy zone” starts. In the calm zone we propose to install series of “impeller wheels” in order to: 1) generate *electric power*, 2) diminish water velocity leaving sand in suspension with the result of *no more erosion but nourishment*. The proposal is to dampen the currents by means of artificial reefs positioned in the “calm belt zone”. This is certainly brought about by the abovementioned energy conversion, which mimics the location of coral reefs. This makes it possible to overcome the delicate problem of maintenance of the new reef, which is situated far from the storm area. In contrast, the annual costs of upkeep of artificial nourishment and of breakwater barriers are very high and add to public spending. Coastal and seabed monitoring, particularly by satellite, has highlighted for many years the fact that breakwaters, rather than reducing erosion, have exacerbated it, to the extent that in America breakwaters have recently been banned. The proposal is therefore to reconvert existing coastal protection works by substituting breakwaters with an artificial reef, specially *integrated with new sea energy* productions. The impeller is between the floats and the blades are semi-submerged, close to an indifferent buoyancy, in order to favor the number of revolutions even at minimum currents. Moreover, they allow seagrass (posidonia nurseries) to grow in the protected area of the seabed, thus favoring the repopulation of fish stocks. The banking of the beaches also counteracts flooding, caused by the rising of the sea level, with further benefits deriving from every square meter of beach reclaimed for use by beach resorts. It should be emphasized that in eolic and fotovoltaic electricity production there are fewer hours of energy production, without the *beach recovery benefits*. The cost of a barrier is competitive with those of eolic offshore energy, especially floaters, and with the breakwaters and artificial nourishment. As regards the *regulatory context*, it is worth noting that the NTC2018 standard allows for the employment of the observational method where *initial experimental worksite criteria* must be respected.

1 – Aspetti innovativi

L'idea parte dall'osservazione che l'energia del vento, quando la batimetria è profonda, produce solo *onde verticali pulsanti offshore*, anche enormi in regime stazionario, non potendosi verificare spostamenti orizzontali dell'acqua per il rispetto dell'equilibrio di simmetria radiale intorno a qualsiasi asse verticale (Boussinesq 1897).

Avvicinandosi alla costa, dove il fondale è intorno ad esempio a $5 \div 10$ m, le stesse onde (fig. 1) vengono convertite in *correnti orizzontali inshore* dirette verso il litorale modellandolo, in modo da rispettare l'equilibrio del cuneo di acqua costretto a scorrere sul fondale inclinato, tendendo a laminarsi nel verso superficiale di spiaggiamento e in senso inverso sul fondale in erosione.

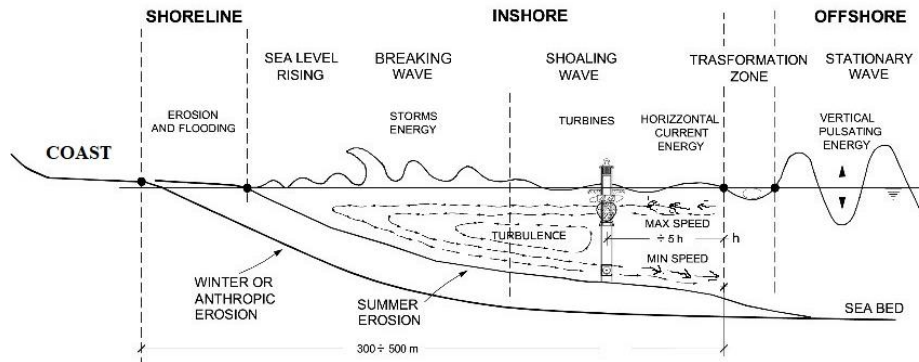


Figure 1 - Ubicazione delle barriere di turbine, simile alla protezione morbida delle *barriere coralline*, dove l'energia pulsante verticale delle onde (offshore) si converte in correnti marine orizzontali (inshore) nei 2 versi opposti: superficiale e sul fondale.

Questa trasformazione dell'energia marina forma una fascia "di calma" che consente la formazione della barriera corallina. Nell'ambito di tale *calm belt offshore / inshore*, a circa $300 \div 500$ metri in media dalla riva, si ha la maturità della formazione delle correnti orizzontali, "*festina lente*". In questa particolare zona può essere collocata una nuova barriera artificiale come difesa morbida (fig. 1 e 3), imitando proprio la barriera corallina, in *posizione lontana dalle mareggiate* in modo da evitare danni alle turbine, primo importante aspetto innovativo (brevetto N. 0001411057). Quando le correnti poi procedono a profondità inferiori, $4 \div 5$ metri, si convertono in mareggiate causando danni proprio ove la *storm surges energy* dovrebbe naturalmente cominciare a smorzarsi ed ove invece sono disposte le scogliere di massi che al contrario le esaltano, con sconvolgimenti dei fondali, documentati chiaramente specie con i rilievi satellitari (ISMAR, ESA).

Il secondo aspetto innovativo è quello di accoppiare le giranti a dei galleggianti in modo da mantenerle in condizioni prossime al galleggiamento archimedeo indifferente (fig. 2) o *mesogalleggiamento* e consentire alle pale di girare anche con le minime velocità delle correnti. Peraltro si sfruttano le correnti superficiali che sono le massime, riducendosi infatti rapidamente le velocità delle correnti di spiaggiamento con la profondità.

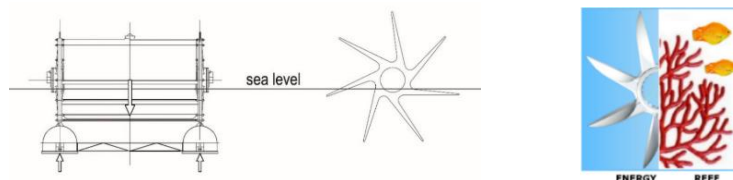


Figure 2 Girante prossima all'equilibrio indifferente o in mesogalleggiamento, simile alle *meduse*, in modo che possa girare anche alle minime correnti marine e logo del progetto

Il vasto campo dello *spettro di variazione dell'energia* del mare, al variare del vento, genera con maggior frequenza onde dell'ordine $L = 2$ m di lunghezza con $H = 1$ m di altezza, con la conseguente più efficiente e duratura produzione di energia elettrica indotta dalla prima descritta trasformazione in correnti di tali onde.

Da notare che l'energia marina che deve essere smorzata dalle turbine è esaltata peraltro da un'eccessiva erosione indotta dalla *modifica dei paraggi delle coste*, dalla riduzione del trasporto solido dei fiumi causato dalle dighe e dai prelievi indiscriminati di sabbie negli alvei, nonché dall'urbanizzazione che ha distrutto le dune e il cuneo di vegetazione della macchia mediterranea che proteggeva le spiagge dal vento, innalzandolo dalla battigia.

Pertanto il contenimento delle gravi modifiche dei paraggi è prioritario per la scelta di utilizzare le barriere di turbine, come del resto per proporre le difese naturalistiche (graticciate verdi, ecc.). D'altra parte, l'erosione estate-inverno, caratterizzata dal banco di secche e specie della *barra mobile di sabbia* sul fondo del mare, è un potente smorzatore naturale di energia marina che difende le coste.

Questa naturale difesa viene proprio sussidiata dalla barriera di turbine, con effetto filtrante a pettine e serve soprattutto ad *evitare l'erosione antropica in eccesso*, in modo da lasciare l'erosione naturale.

A questo proposito è molto importante il *monitoraggio costiero* e la ricerca sull'impatto della tempesta lungo le coste (Ciavola P. et al. 2011, Maiolo M. 2022, Unical) in particolare da misuratori di corrente inshore / offshore tipo: galleggianti composti con GPS o gessetti orientati a "rosa dei venti" e a consumo differenziato, fino ai correntometri ad acustica triassiale trainati da droni o le ghiaie scorrenti sul fondale dotate di GPS. Il rilievo batimetrico della barra mobile indica ulteriormente la fascia di mare ove va ubicata la barriera di turbine, in modo da integrare il predetto monitoraggio delle correnti (fig. 1) da sfruttare in modo ottimale.

2 – Descrizione della nuova barriera

I primi frangiflutti offshore proposti a protezione delle coste si basavano su cilindri alettati galleggianti e ancorati a zavorre sul fondo del mare, senza produzione di corrente elettrica. Modelli in scala 1: 4 sono stati testati presso la vasca navale CNR-INM (ex INSEAN) di Roma con risultati incoraggianti per quanto riguarda lo smorzamento dell'altezza delle onde all'aumentare delle frequenze di prova (Ventura 1992).

L'evoluzione di tale proposta, che si differenzia da tanti altri brevetti, è consistita poi nell'integrare tali galleggianti anti-erosione con turbine a galleggiamento indifferente tramite un catamarano sostenente turbine ad asse orizzontale (fig.3) per accrescere la produzione di corrente elettrica, specie tramite una barriera di turbine sfalsate (CNRSOLAR 9861TR2914).

I predetti criteri innovativi, doverosamente fondati sulle radici scientifiche del passato, sono confluiti nella più efficiente scelta di giranti ad asse orizzontale e di grande estensione.

Il prototipo depositato con il logo *Energy Reef* (fig. 2) è stato elaborato nella relazione di progetto, tavole dei disegni, riconversione delle scogliere e computo metrico estimativo.

I 2 generatori e la girante sono sostenuti in condizioni prossime al bilanciamento indifferente delle masse tramite un catamarano (fig. 3) costituito da 2 ϕ 1200 ancorati a catene vincolate alle estremità dei galleggianti a 4 zavorre.

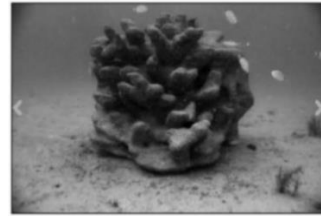
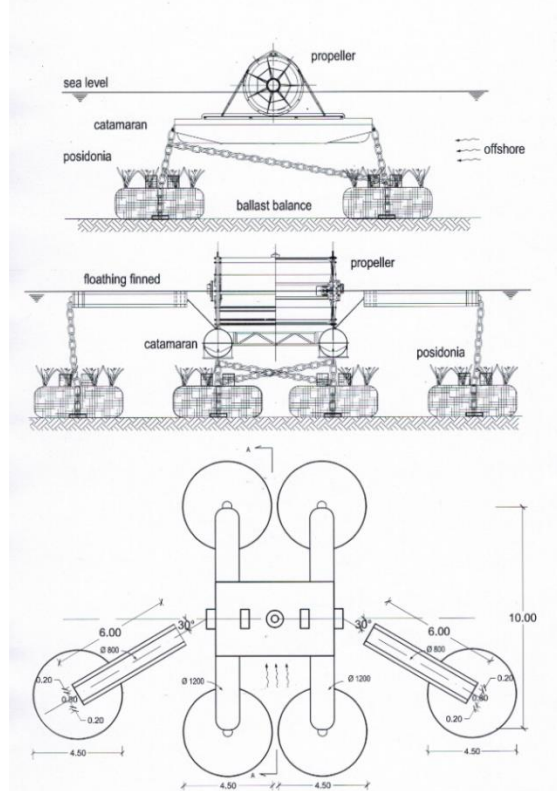


Figure 3 -Turbina con girante mesogalleggiante ad asse orizzontale con 7 pale semisommerse nelle correnti superficiali e in aria controcorrente, coperte con una cuffia paraurti, e con 2 generatori da 30 kW, supportati da un catamarano e affiancati da galleggianti alettati convogliatori e smorzatori; i moduli sono ancorati con catene, raddoppiabili per robustezza ai danni, a zavorre ecologiche (foto Tecnoreef o sabbia litificata per corallo artificiale, D-Sharp, Dini), riusabili e smorzanti le correnti erodenti sul fondale, tipo scogliere soffolte.

Le catene sono tesate leggermente in condizioni di calma idrostatica, e in tiro in condizioni idrodinamiche di esercizio. Ciò consente alla girante di ruotare anche con le minime velocità delle correnti marine superficiali, e contenere le dimensioni delle catene e delle zavorre. Sono previsti anche 2 galleggianti $\phi 800$, con 4 alette radiali da 20 cm, (fig. 3), simili ai predetti provati in vasca navale, di ostacolo alle correnti marine ed ormeggiati in barriera longitudinale ai lati del catamarano, mentre le estremità sono zavorrate tramite catene in modo analogo al catamarano porta turbine. Tali galleggianti sono vincolati con catene incrociate in modo da attenuare al massimo il rollio-beccheggio-imbardate. Le catene di controvento servono anche come sicurezza contro eventuali rotture di quelle verticali e sono dotate di estensimetri per un pronto intervento di riparazione, peraltro prevenuto dalla manutenzione programmata. I galleggianti alettati sono inoltre inclinati in pianta di 30° , con una sorta di effetto imbutiforme, in modo da convogliare maggiormente sulle pale le correnti marine, favorite a tale confluimento anche dal predetto mesogalleggiamento.

Ogni catamarano ha 2 turbine e presenta una larghezza dell'ordine di 10 m dei galleggianti trasversali alla girante; la lunghezza longitudinale del modulo è dell'ordine di 20 m, con pertanto con al massimo 1 turbina/10 m, ovvero una barriera di 100 turbine/km. Ciascun modulo è indipendente in modo da essere sfalsabile a pettine nella barriera e renderla adattabile ai *vari angoli di traversia* del sito da proteggere. Si propone inizialmente un interasse minimo fra i moduli, in modo da posizionarli in continuo (fig. 4) e ottenere la massima efficienza della protezione antierosione delle spiagge.

Alla luce della sperimentazione e delle caratteristiche meteo-marittime si potranno diradare i galleggianti e comunque sfalsarli opportunamente per contrastare le correnti marine. Particolarmente importante è la scelta dei materiali, tipo le polveri epossidiche delle grandi pale eoliche e usabili per *stampanti 3D*. Date le dimensioni molto minori degli offshore eolici, le turbine si possono realizzare anche con leghe di alluminio per le giranti e in acciaio per le spalle adeguatamente protette dalla corrosione. È allo studio l'uso di nuovi più leggeri e economici *materiali fibrorinforzati o resine e polimeri naturali riciclabili*, i galleggianti si prevedono di gomme da riciclo dei copertoni, ciò consente anche di ridurre le discariche abusive. Si prevede anche l'impiego della *glebanite nuovo materiale derivante dal riciclo della vetroresina rinforzata per il lamellar tearing*, l'anti-abrasione e anti fouling non tossico per minimizzare la manutenzione da disincrostazione. Mettendo inoltre leggermente in pressione i galleggianti di gomma rivestita, si rendono gli elementi del modulo più resilienti agli urti. La resistenza a fatica è peraltro concentrata nei grilli di ancoraggio delle catene di sospensione e nella manutenzione periodica. Si evidenzia che le pale della turbina sono immerse solo a metà (fig. 2), in modo da lasciare l'altra metà, anziché controcorrente, in aria al di sopra del livello del mare. Le giranti sono pertanto completamente immerse durante la fase attiva ed emergono nella fase successiva, riscoprendo l'efficienza degli antichissimi mulini ad acqua, pur con diverso rapporto fra le dimensioni delle pale e il diametro della ruota. La girante a 7 pale (fig. 3) è coperta da una cuffia emergente antiurto e paraonde, con sfiati proprio per eliminare l'aria convogliata dalle semipale superiori. Il numero delle pale da sperimentare è 7, ciascuna di dimensioni nel prototipo di 4 m^2 , da adattare al sito da proteggere in modo da sfruttare al massimo le correnti marine e in un compromesso rendimenti/costi. La girante, supportata alle estremità da cuscinetti a rulli ampiamente dimensionati, aziona 2 generatori di corrente trifase, ciascuno da 30 kWp ($\cos\phi = 1$) di potenza nominale o di picco sussidiata da un *moltiplicatore epicicloidale* con un *rapporto di trasmissione 8/1*.

Tale rapporto di trasmissione unitamente al numero elevato di poli, pari a 12 coppie, dei generatori consente di esaltare il rendimento degli stessi e a conseguire frequenze elettriche,

nelle condizioni di massima potenza, fino a $12 \times 10 \text{ Hz}$ ($50 \text{ Hz} \approx 12 \times 8 \times \frac{1}{2} \text{ Hz}$ della girante con la potenza più duratura a 15 kW).

La costruzione si avvale di una lanterna di segnalazione alimentata autonomamente da una cella fotovoltaica e di soluzioni costruttive all'avanguardia per quanto riguarda i materiali, le protezioni dalla corrosione, la lubrificazione, le tenute statiche e dinamiche, il monitoraggio della temperatura dei generatori, il loro collegamento elettrico attraverso ombelicali per il trasporto a terra dell'energia e la manutenzione, con la possibilità di separare la turbina nel suo insieme dal galleggiante che rimarrebbe ancorato al fondo.

I galleggianti sono ancorati a *zavorre* costituite da materassi con reti contenenti dischi forati tipo *Tecnoreef* od *Oceanus* (Budoni) o trappole per sabbia (*Teti*) o scatolati (geocontenitori) *Reef Ball* per favorire le *tane per i pesci*.

Si realizza una barriera ecologica visitabile e che costituisce un *dissuasore* per contrastare la pesca illegale.

Tali *zavorre* possono essere a pianta circolare od oblunga per 2 catene incrociate, tipo controventi, in modo da resistere ai vari angoli di traversia specie da correnti litoranee.

Le *zavorre* possono essere integrate con terriccio per fare da *vivaio alla posidonia* (fig 3 e 4), in modo da imitare anche le barriere coralline e rendere minimo l'impatto ambientale della nuova protezione sommersa e non alterante il paesaggio.

Si evidenzia che l'insieme delle *zavorre* costituisce una sorta di *scogliera soffolta che smorza le correnti che erodono il fondale* lasciando però passare la sabbia per il ripascimento naturale, altrimenti sbarrata dalle scogliere di massi (fig. 4). Parallelamente l'*energia cinetica delle correnti superficiali* (fig.1) è *smorzata* sia dalle giranti per la produzione di corrente elettrica sia dalle dispersioni provocate dagli ostacoli dei galleggianti alettati.

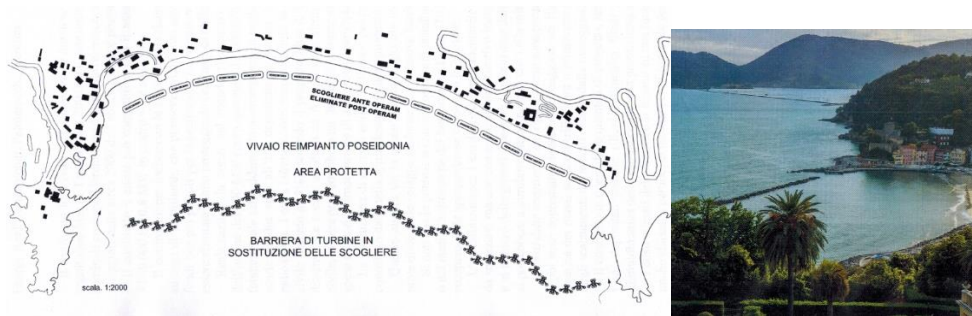


Figure 4 - Sperimentazione sull'efficacia antierosione della barriera artificiale al posto delle scogliere di massi nel caso più semplice di una baia; la fila di moduli di antierosione consente anche un'area protetta per far attecchire un vivaio di posidonia.

Si evidenzia che i rilievi specie satellitari dei fondali interessati dalle scogliere di massi e dai ripascimenti artificiali hanno indicato notevoli incrementi delle erosioni, nonostante il sensibile aumento dei costi di tali protezioni.

Negli *Stati Uniti d'America l'uso delle scogliere e dei pennelli pertanto di recente è stato proibito*, per cui è necessario studiare nuovi sistemi di protezioni delle coste.

Molto importante è allora la proposta d'*iniziare a modificare le protezioni delle coste eliminando almeno 3 scogliere di massi* (fig. 4), in modo da esaltare la massima erosione fra di esse, che è proprio dell'ordine del doppio della lunghezza delle scogliere non rimosse.

Si protegge pertanto la costa, davanti alle scogliere tolte, con una *barriera di congrua lunghezza*, in modo da testarne l'efficacia nelle peggiori condizioni di erosione in atto. La prova dell'efficacia antierosione della barriera si semplifica se si realizza per proteggere una baia fra due promontori, dove le correnti litorali non influenzano la riduzione delle spiagge (fig. 4) ed ove, come prima evidenziato, non ci sono rilevanti variazioni dei paraggi.

Nel caso invece di mare aperto, ovvero senza baia fra promontori, si prevedono protezioni laterali alle estremità della barriera, tipo geocontenitori, per contrastare le correnti litoranee anche su bassi fondali. In caso di auspicata efficienza delle barriere di turbine si può realizzare la frantumazione in pietrisco dei massi delle scogliere rimosse, in modo da realizzare le zavorre e inoltre consentire un'integrazione della protezione tramite un ripascimento con un adeguato assortimento granulometrico sottocosta.

Per accelerare i tempi di sperimentazione si può accoppiare la barriera ad una contenuta fascia di ripascimento artificiale d'idonea granulometria longitudinale a ridosso, senza peraltro modificare ai bagnanti la fascia sabbiosa di fondale prospiciente la spiaggia da proteggere. Il monitoraggio del mantenimento della spiaggia proprio ove sono state tolte le scogliere, nonché del ripascimento artificiale che simula la barra mobile naturale, segnerà più celermente l'efficienza anti-erosione della barriera.

La distribuzione planimetrica delle turbine, che ripristina il predetto banco o barra di sabbia mobile, deve essere adattata a ciascun litorale (Ricci Lucchi 1992) in base alla geomorfologia del fondale e ai dati meteorologici marittimi (*marine energy spectrum, swell, fetch...*). Tali dati caratterizzano l'energia delle onde, che vanno da oltre 10 kW /m in Sardegna a meno di 5 kW / m sulle coste del Tirreno (Sannino 2012).

Il dimensionamento esecutivo delle barriere va svolto naturalmente in base al sito prescelto di data energia media delle onde e coadiuvato dai predetti rilievi correntometrici e pressiometrici. I disegni si basano sull'ipotesi di un fondale sabbioso posto alla profondità di inizio della fascia di calma ad 8 m (v. Abstract), con energia delle onde di 5kW/m, e su verifiche pseudostatiche severe, di primo riferimento per l'affidabilità e l'attendibilità dei calcoli (§ 10.2 NTC2018).

Opportune simulazioni al computer (CFD) e test fluidodinamici in vera grandezza condotti sul prototipo a mare potranno definire con esattezza le caratteristiche del generatore e le sue proporzioni; in particolare per valutare gli incrementi di velocità delle pale per effetto del ridotto galleggiamento prossimo all'indifferente.

Sul prototipo è stata effettuata l'analisi dinamica dell'energia cinetica utilizzabile da 2 generatori, mossi da pale prototipo di 4 m² che consentono, al crescere sistematico delle velocità delle correnti marine, di sfruttare una potenza nominale di progetto fino a 30 kW.

3 – Analisi costi/benefici

La limitazione dell'erosione costiera e l'aumento del livello della sabbia sulle spiagge, per arginare l'innalzamento del livello del mare, rappresentano un notevole vantaggio economico. L'altro importante beneficio è prodotto dalle numerose piccole unità di elettricità marina a basso impatto. Si evidenzia che i costi di manutenzione delle barriere di turbine sono minori di quelli delle scogliere e del ripascimento artificiale. La protezione delle coste è "*morbida*" con minimi effetti collaterali, al contrario delle predette difese tradizionali.

L'ubicazione delle turbine è lontana dalle mareggiate, come le coltivazioni dei mitili, e consente di non esporre i moduli a continue riparazioni. L'energia del mare agendo su turbine a galleggiamento quasi indifferente fa girare le stesse anche con correnti minime, rendendole

competitive con l'eolico a terra. L'energia elettrica è inoltre prodotta con ore di produzione notturne maggiori rispetto al fotovoltaico, specie d'inverno.

Il funzionamento della nuova difesa consente di eliminare le scogliere consentendo appalti tarati con il metodo osservazionale. *Il brevetto consente poi appalti in esclusiva.*

Si attua la riqualificazione del paesaggio originario senza scogliere, e si possono poi frantumare i massi trasformandoli in pietrisco consentendo un ripascimento granulometricamente adeguato o preliminarmente per realizzare le zavorre.

Si eliminerebbero le cave a terra di estrazione dei massi e inoltre il prelievo di sedimenti, spesso non idonei per i ripascimenti, ricavati dall'estrazione della sabbia in mare o via terra, riducendo così altri danni ambientali significativi.

La nuova difesa permette inoltre di *innalzare il livello delle spiagge* attraverso il ripascimento naturale, al fine di difendersi realisticamente dall'innalzamento del livello del mare Mediterraneo, attualmente 3 mm / anno, causato dai cambiamenti climatici.

In Italia l'erosione interessa oltre 1200 km di costa, pari a 1/3 delle spiagge sabbiose, con oltre 25 m di erosione media, ovvero più di 2,5 ha / km. Le barriere forniscono ulteriori vantaggi in quanto consentono di far attecchire la posidonia (Marsella 1986), tipica *prateria marina* che previene l'erosione e favorisce il ripopolamento ittico e il disinquinamento marino. La *vita ultraventennale* delle barriere di turbine consente l'accrescimento delle praterie marine anche rigogliosamente sovrapposte tipo dune sommerse o *matte* di posidonia che costituiscono le preziose difese naturali presidianti l'erosione e possono poi consentire di trasferire le barriere salpabili in nuovi siti da difendere.

Le barriere consentono di creare *un'area protetta* e presidiano inoltre i limiti costieri alla pesca (*no fishing zone*); si aumenta la sicurezza dei bagnanti delimitando la nautica da diporto e favorendo la navigazione panoramica sottocosta lungo le barriere. La protezione può anche sviluppare il turismo subacqueo per visitare le turbine, allestendo anche tratti della barriera a parco giochi e al *fish-watching*. La produzione di energia elettrica, in particolare per l'illuminazione costiera, aumenta la sicurezza notturna. Lo *stoccaggio* dell'energia può essere con il classico accumulo in corrente continua poi trasformata in alternata a 50 Hz, oppure con accumulo idraulico, mediante turbine inverse che pompano acqua ad un'altitudine maggiore, se vicino alla costa come è tipico nell'Appennino, oltre all'uso degli accumulatori.

L'energia marina può servire anche per pompare *acqua dissalata* da membrane osmotiche adagate su fondali a largo, come realizzato a Perth in Australia, e specie nelle aree in via di desertificazione e carenti di acquedotti, come in molte isole. È possibile poi dotare la barriera di una serie di aspiratori marini (*seabins*), la cui funzione è quella di liberare il mare dalla plastica e da altri rifiuti galleggianti; parallelamente si possono usare sistemi robotici subacquei per la raccolta dei rifiuti sui fondali spesso ben più consistente di quelli galleggianti. Tale raccolta sarà particolarmente utile disponendo le *barriere davanti alle foci dei fiumi* che veicolano a mare i rifiuti di plastica gettati indiscriminatamente lungo tutto l'alveo, per inciso intercettabili anche tramite panne lungo le sponde dei fiumi, come ad esempio in corso nell'Aniene. Potrebbero essere incorporati anche sensori per il *controllo meteo* e chimico permanente, in modo da documentare la qualità dell'acqua pulita e incrementare le *"bandiere blu"* sulle spiagge. Inoltre le cuffie sulle turbine proteggono dal moto delle pale e fanno da antiurto ai nuotatori; le pale poi favoriscono l'ossigenazione dell'acqua migliorando la flora e la fauna o di eventuali vicine coltivazioni di mitili.

In particolare le turbine, protette con sgrigliatori, possono essere utilizzate anche nei fiumi, soprattutto nei delta e durante la risalita del mare nelle foci dei fiumi (*mascaret*).

È possibile poi ormeggiare temporaneamente le imbarcazioni da diporto lungo le turbine (tipo briccole), anche per ricariche delle batterie, liberando così i porti, specie intasati

in estate. I proprietari dei posti barca potrebbero inoltre acquistare le turbine (*Prosumer*) per alimentare le barche tramite colonnine di ricarica sulle banchine. Particolarmente promettente è anche *l'alimentazione elettrica delle navi nei porti* evitando l'inquinamento dei motori a nafta accesi in permanenza, come realizzato in Norvegia e proposto proprio per il porto di Livorno. Le barriere, segnalate da boe rosse e specie illuminate a led rossi di notte, limitano la navigazione da diporto a una distanza di sicurezza dalla riva, e presentano naturalmente varchi per il passaggio delle imbarcazioni a terra. Le barriere, con i galleggianti in gomma riciclata, potrebbero inoltre dare un sensibile contributo alla *riduzione delle discariche di gomme di auto* riciclandone in materiali compositi e favorendo la riduzione della crisi delle *industrie automobilistiche e nautiche riconvertendole in fabbriche di turbine marine*. Si evidenzia inoltre che la riconversione proposta potrebbe difendere molti km di spiagge, cominciando a sostituire i 1291 km di scogliere di massi con un buon contributo alla produzione di energia elettrica rinnovabile, favorendo concretamente lo sviluppo della *Transizione Ecologica (Laudato si')*.

Si attiveranno nuovi corsi di formazione e posti di lavoro: dalla progettazione alla manutenzione, dalla valutazione pianificata (*auditing*) alla salvaguardia dell'ambiente.

L'attualissimo tema dell'apprendistato attraverso la *formazione e la riqualificazione* otterrebbe un buon contributo dal settore della protezione delle coste con produzione di energia marina. Il rischio di corrosione e incrostazione è prevenuto dalle protezioni marine standard e dal fatto che i monoblocchi alternatore-pale possono essere rimossi per la pulizia e la manutenzione periodica e per effettuare la lubrificazione. La manutenzione è peraltro prevista affidabile anche annualmente ai subacquei, facilitati anche dall'esigua immersione subito sotto il livello dell'acqua.

Le turbine, specie in materiali leggeri, hanno la massa equivalente simile all'acqua e attrito trascurabile, o massa relativa nulla, per cui hanno anche un periodo di oscillazione nullo che non risente della risonanza, in quanto il periodo proprio $T \div 0 < T_{\text{Tirreno}} \div 3s$, fino alla simile armoniosa frequenza della risacca, sono *antisismiche* e funzionanti in caso di terremoto. Inoltre in caso di maremoto, come accaduto a Livorno nel 1742, le barriere si auto sommergono quando le onde anomale non sono ancora esaltate dai bassi fondali,

Inoltre, i *cavi sottomarini* sono significativamente non suscettibili ai danni causati da tempeste e da nevicite, come quelli terrestri e sono ben più corti di quelli offshore. I 62 mega-eolici galleggianti proposti da *Falk Blue Float* hanno cavi fino a 80 km e sono passibili di beccheggio: si auspica un confronto con l'Energy Reef, anche con le altre rinnovabili.

Gli effetti ambientali dannosi collaterali, che hanno tutte le altre produzioni di energia elettrica, e persino idroelettrica, sono inoltre trascurabili con la barriera proposta.

Il progetto prevede inoltre un dettagliato *cronoprogramma* per la realizzazione dei prototipi, dai rilievi correntometrici fino alla certificazione delle efficienze specie antierosione delle spiagge. Il costo della *barriera prototipo* è ammortizzabile in base all'articolazione della lunghezza, ed è riducibile al crescere della produzione in serie ed al crescere dei kW/m del sito prescelto. Si noti inoltre che al crescere della profondità del fondale basta allungare le catene di zavorramento con poca spesa, ben al contrario delle scogliere che hanno invece sezioni trapezoidali rapidamente crescenti.

Ipotizzando prudenzialmente una produzione media del 50% della potenza massima della barriera di turbine, si ottengono $15 \times 100 = 1,5 \text{ MW/km}$ ovvero, per circa 4000 ore o 50 % annue, un ordine di almeno 6 GWh/y, incrementabili a 12 GWh/y con onde da 10 kW/m anziché 5 kW/m ipotizzati.

Oltre alle entrate da energia elettrica si può arrivare *per ogni m/km di spiaggia ad altrettante analoghe entrate* in pochi anni da recupero delle coste con incremento dell'attività

turistica negli stabilimenti balneari considerando che la vita della barriera è dell'ordine dei 25 anni. I *costi attuali delle scogliere e dei ripascimenti*, in carenza d'inerti di qualità e la chiusura delle cave, sono paragonabili con quelli della nuova barriera proposta. I costi poi delle *manutenzioni stagionali*, tipo ricarica dei massi scoscesi (rifiocitura o primaverizzazione) o nuovi ripascimenti dopo ogni inverno con scalzamenti (Cipriani 2021) causati dalle mareggiate, sono sicuramente maggiori di quelli della barriera proposta. Sono peraltro meno costose le nuove "trappole sabbiose invernali" (Teti), testate lungo il litorale di Torre Guaceto (Bari), ma senza i predetti vantaggi green. Molto competitivi sono invece i *costi di 1 kilometro di barriera se confrontati* con quelli delle *mega-turbine eoliche offshore* galleggianti, o specie con le turbine *mini-idroelettriche fluviali* (Arno). L'energia cinetica dalla trasformazione delle onde in correnti marine è comunque più grande di quella prodotta dalle correnti eoliche.

Il confronto poi con i costi del *fotovoltaico*, che per 3 MWp richiede 2 ettari di pannelli con erogazioni solo diurne e a bassa produzione < 1 MWp proprio d'inverno, è competitivo, specie in quanto l'erogazione notturna necessita di accumulatori da cambiare dopo 10.000 cicli/10 anni e inoltre poco sfruttabile d'inverno, mentre le barriere producono anche di notte quando più serve e proprio d'inverno quando le correnti marine sono maggiori. Le rinnovabili, mai come adesso, devono essere incrementate oltre il 20% del consumo elettrico italiano. (280.000GWh/y). La durata di vita delle barriere di turbine consente inoltre di sostenere il conveniente costo dei vivai per la lenta ricrescita delle praterie marine e il ripristino dell'ecosistema, che attualmente non è fattibile attraverso le difese tradizionali, come attestato da diverse perdite di attecchimenti, specie prospicienti le scogliere di massi.

Molto interessante è lo sviluppo di *Comunità Energetiche-Turistiche*, in cooperazione con *prosumer* e *outcome funds*, che utilizzano i predetti benefici.

Si ribadisce che la riconversione ecologica con la produzione di energia marina proposta: pulita, molto utile localmente e competitiva tramite il recupero delle spiagge, presenta *vantaggi economici tutti peculiari rispetto alle altre fonti rinnovabili*.

Bibliografia

- [1] Ventura P., Palmarocchi M. (2019) - *Nuova difesa del ripascimento naturale e delle praterie Marine*, database CNRSOLAR 9861TR2019.
- [2] Ventura P., Palmarocchi M. (2019) - *New defence of the coasts to prevent the sea level rising also*, video (www.steseoetica.it) screened in Catholic University of America, Eleventh International Conference on Climate Change, Impacts & Responses, Coastal Resilience, 16 -17 april Washington.
- [3] Ventura P., Palmarocchi M. (2020) *New coastal protection and sea energy production*, CNR-IBE Institute for Bioeconomy, Proceedings of Eighth Int. Symposium "Monitoring of Mediterranean coastal areas: problems and measurement techniques", FUP – Firenze Univ. Press, DOI 10.36253/978-88-5519-147-1.72 e XML10.36253/978-88-5519-147-1.72, pp.723 – 735: with the patent evolution and extensive bibliography.