

**ENERGY REEF: NUOVO CONVERTITORE DELL' ENERGIA DEL MARE/VENTO
PER LA PROTEZIONE DELLE COSTE, LA PRODUZIONE DI ENERGIA PULITA
E LA RIDUZIONE DELL'EFFETTO SERRA**

**ENERGY REEF: NEW SEA/WIND ENERGY CONVERTER
FOR COASTAL PROTECTION, THE PRODUCTION OF CLEAN ENERGY
AND THE REDUCTION OF GREENHOUSE EFFECT**

Parole chiave: protezione coste erosione-allagamenti, convertitori energia marina, rinnovabili, barriere di turbine, riconversione scogliere, recupero spiagge, vivai posidonia, riduzione della CO₂.

Keywords: erosion-flooding coastal protection, marine energy converter, competitive renewables, turbines reef, reconversion breakwater, beach recovery, posidonia nursery, CO₂ reduction.

Pierfranco Ventura

Progettista Geotecnico

pierfranco.ventura@steseoetica.it

Manlio Palmarocchi

Progettista Rinnovabili

mpalmarocchi37@gmail.com

Claudio Domeniconi

Progettista Meccanico

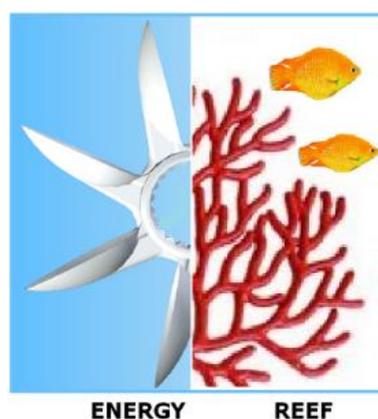
claudi domeniconi@outlook.com

SOMMARIO

Si propone una ricerca sperimentale sul progetto del prototipo "Energy Reef" riguardante la realizzazione, in un piccolo tratto 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 utilizzare al meglio l'energia. I vari moduli sono in buona parte prestampati 3D in leggera glesbanite, 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, si può inoltre assimilare la barriera all'acquacoltura anche scherman-dola. La barriera, oltre a proteggere la costa, produce in media 5 a 10 MW/km, corrispondenti da 10 a 20GWh/km/y, 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 molto competitiva con i giganteschi l'eolici offshore. L'articolazione e forma della barriera copre i principali angoli di traversia e di riflessione in particolare per risonanza. 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.

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” (Fig. 2). 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 such a point a lot of water particles start horizontally to the coast triggering a very strong horizontal current, just below the sea surface, directly to the coast inducing flooding and erosion, accentuated on seabed by return currents. Such a stream is so regular to produce a very calm zone until the seabed reaches about the 5 or 6 meters, and where start the “heavy zone”. In the calm zone we forecast put some series of “impeller wheels” (Fig. 2, 3) in order to: 1) electric power generation 2) water velocity diminish leaving down sand in suspension with no more erosion but nourishment. The proposal is to dampen the currents by means of artificial reef positioned into 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 (Fig. 4,5,6), which are 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. The impeller is with semicircular blades are semi-submerged (Fig. 2), close to an indifferent buoyancy, in order to favor the number of revolutions even at minimum currents. Moreover, they allow seagrass (posidonia nursery) 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, further offset by the benefits deriving from every square meter of beach reclaimed for use by beach resorts. Emphasizes that in eolic and photovoltaic have minor hours in energy production and non-subsist the beach recovery benefits. The cost of a barrier is competitive with eolic offshore and with the breakwaters and artificial nourishment. As regard the regulatory context, it is worth noting that the NTC2018 standard allow for the employment of the observational method where initial experimental worksite criteria must be respected. The proposed experimental research by reconversion reef/breakwater allows, below disadvantageous conditions of enhanced erosion, rapid validation of efficiency.



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, da cui per inciso si auspica il recupero delle acque reflue.

Pertanto la produzione delle "rinnovabili" in totale è dell'ordine di $90/300$ miliardi kWh/y = 30% del fabbisogno italiano. 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) con emissioni di CO₂ valutate in passato di 432 Mt (STES 1993).

Si evidenzia inoltre che dei 75 miliardi di m³/y di gas importati in Italia (scesi a 63 nel 2023), circa 30 alimentano la predetta produzione termoelettrica ed il resto serve per l'uso industriale, agricolo e domestico (consumo-tipo domestico $0,5 \div 1$ 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 finanziarie*, in parte avviate, per lo sviluppo delle energie rinnovabili e con il risparmio dei consumi negli stili di vita, *riducendo e riconvertendo gli elevati costi annuali dei danni socio-ambientali*.

La capacità di produzione dell'eolico e del fotovoltaico rispetto a quella nominale massima (*capacity factor*) presenta peraltro valori dell'ordine del 30% (media 15%). Tali percentuali sono maggiori e dell'ordine del 50% per l'idroelettrico ed analoghe per il marino proposto, 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 (almeno 50% ore annue) con capacità media di 5 MW/km (50 % della potenza nominale di picco di 10 MW) si possono ricavare 20 GWh/y; per cui con 100 km di costa, oltretutto protetta, tipo *pseudolaguna*, si ottengono 2 miliardi 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 perlomeno i 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 sia *onshore* che *offshore*, specie in Italia circondata dal mare.

Nel 2012 STES- Aghape 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, anche sullo storage (Bologna 2015), fino al Blue Deal di Enea del 2022.



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.

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 (Coiro – Venezia) o sotto una zattera (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 - Gottolengo MN) o in 13 briglie sull'Arno (Iniziativa Bresciane).

Si comincia in Italia a parlare dei giganteschi eolici offshore imitando i parchi danesi passati da 20 turbine di 2 MW a terra del 2000 a turbine da 14 MW per parchi offshore galleggianti per arrivare ad oltre 800 MW, auspicati nei nostri mari per il 2035.

La nuova barriera, di seguito proposta, utilizzando numerosi convertitori relativamente piccoli e di semplice costruzione, è pertanto competitiva con i predetti singoli eolici di notevoli dimensioni.

Inoltre i rischi di tale barriera sono ben più contenuti di quelli dei grandi convertitori nei Mari del Nord, essendo l'energia del mare Mediterraneo ben inferiore (10 kW/m versus 75 kW/m).

A differenza poi di altri convertitori di energia dal mare presenta oltre alla produzione di energia rinnovabile pulita, la capacità di protezione delle coste dall'erosione.

Il termine rinnovabile è pertanto esteso alla protezione delle coste basandolo anche sulla riconversione delle tradizionali scogliere di massi o dei ripascimenti artificiali, con nuove barriere artificiali che imitano la barriera corallina con il 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 se basata su risorse infinite, ma sono fondamentali le scelte di vita sobria e solidale di ciascuno (*Laudate Deum*) e “movimenti dal basso”.

I risparmi energetici e idrici dall'ecobilancio industriale ed agricolo 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 barriera 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 sopraflutto 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.

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 a velocità fino a 3m/s o 6 nodi in modo da utilizzare le turbine più efficaci a sfruttarne al massimo 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.

Si evidenzia inoltre che i rollii-beccheggi-imbardate sono rilevanti nei giganteschi eolici offshore specie galleggianti (fondali < 100 m), con ben più delicate valutazioni della sicurezza rispetto alla barriera proposta (fondali a 10 m); in tale confronto altrettanto minima è la lunghezza dei cavi sottomarini della barriera 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 la costa. L'onda anomala subdolamente, specie nel Mediterraneo, non allarma quando è a largo, peraltro con tempi di ritorno elevati ed eventi a largo molto rari sopra il metro di altezza.

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 antiurti; le pale sono 7 protette dalla corrosione e dal biofouling, tramite pulizia sub diretta e periodica essendo i moduli sganciabili dalle fondazioni.

Le prime barriere galleggianti proposte erano cilindri alettati e zavorrati in modo da contribuire 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.

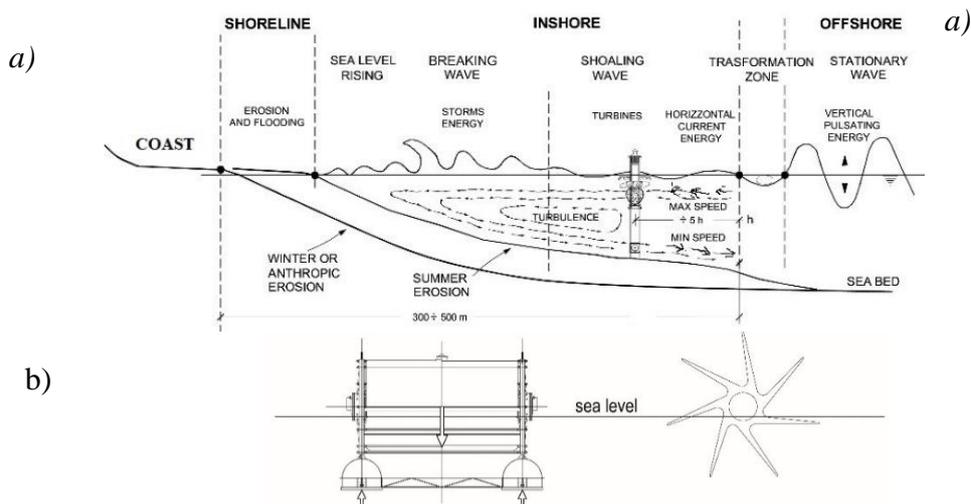


Figura 2. Aspetti innovativi: a) posizione delle turbine che imita le barriere coralline nell'area di calma generata dalla trasformazione dell'energia pulsante verticale offshore in correnti orizzontali inshore superficiali e di ritorno sul fondale; b) Girante ad asse orizzontale con camera di compenso coassiale per l'equilibrio indifferente o mesogalleggiante, tipo meduse, in modo da ruotare anche con le minime velocità delle correnti e minimizzare gli effetti delle oscillazioni delle maree.

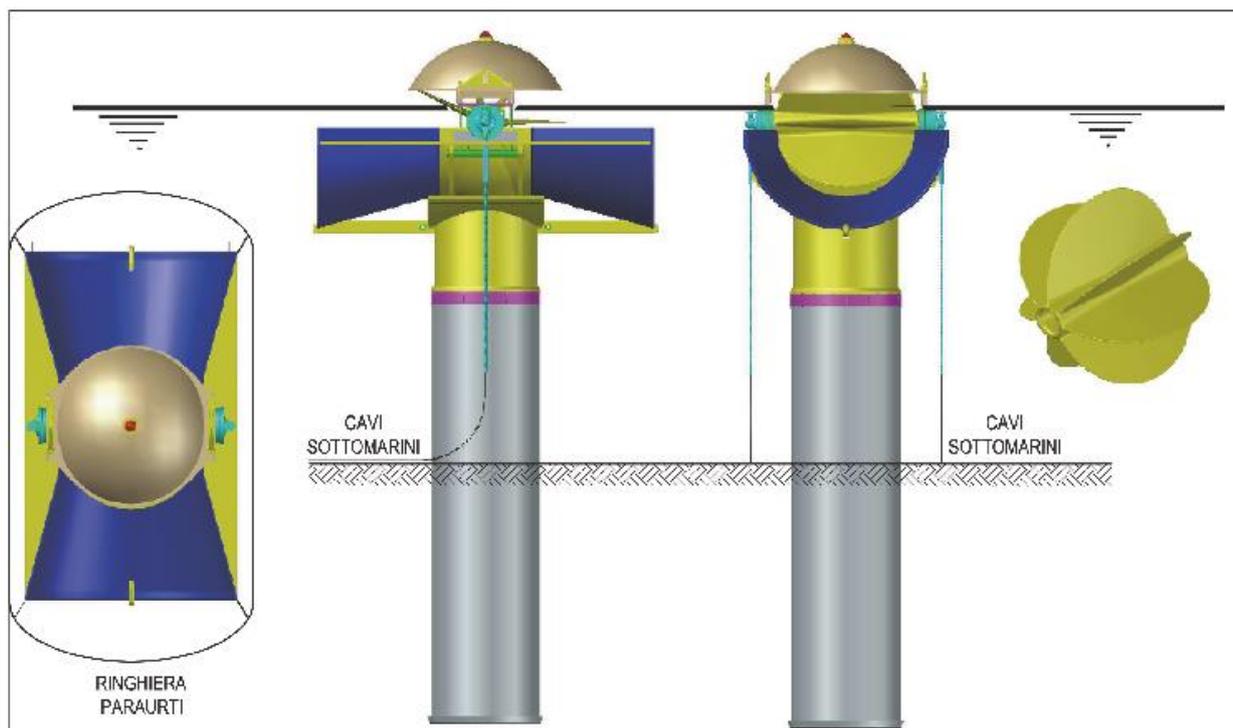


Figura 3. Viste 3D e 2D del modulo prototipo in glebanite, da tarare al sito prescelto: la girante, il cui mozzo in alluminio contiene i generatori, presenta 7 pale semicircolari, anch'esse in glebanite da 4 m² con raggio di 1,6 m di pescaggio ove le velocità delle correnti marine superficiali sono massime; i 2 generatori di elettricità, coassiali alla girante, sono ciascuno da 30 kW, con i relativi cavi sottomarini; il convogliatore incrementa il flusso sulle pale; la cuffia copre solo le semi-pale in aria, ovvero controcorrente e sopra la linea tratteggiata del sea level; i prigionieri sono vincoli rinforzati antiurti ed in modo anche da consentire il sollevamento del modulo per la manutenzione. Il modulo è fondato direttamente su monopalo infisso in modo da semplificare le fondazioni.

La proposta ha poi 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 *sviluppo della Ricerca e delle promettenti applicazioni*, nello spirito che non s'inventa ma si scopre. In proposito si evidenzia che lo scopo del brevetto è stato quello di ottenere il supporto scientifico basato su un confronto d'idee ed inoltre di aprire la possibilità a studi ed appalti dedicati. La realizzazione del *mesogalleggiamento* (fig. 2b), del predetto brevetto, pur incrementando l'equilibrio indifferente il numero di giri, comportava catene di ancoraggio a zavorre, per cui presentava varie complicazioni di costruzione e montaggio a mare.

Si è passati pertanto alla versione più compatta della figura 5 con *convogliatore e girante fissa su cuscinetti lubrificati e fondazioni su mono-palo, montabile rapidamente e sfilabile telesopicamente per la manutenzione*, deposito di brevetto n 102023000021261 e di modello di utilità 202023000004200 del 12/10/2023. 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. Il progetto del prototipo, individuato con il logo di Figura 1, è stato completamente sviluppato tramite relazione, tavole, particolari costruttivi e computo metrico.

BENEFICI DELL'ENERGY REEF E CAMPO DI APPLICAZIONE

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 (senza le minute frastagliature) ben 1291 km sono difesi da scogliere o pennelli (in media 1/100 m) ed altre da ripascimenti artificiali specie riguardanti i 3600 km sabbiosi (almeno 100 m³/m). Tuttavia oltre 1200 km di spiagge sono in erosione con arretramenti continui anche dell'ordine di 5m/anno, ovvero ben oltre le naturali oscillazioni estate/inverno periodiche massime dell'ordine di ∓ 5 m/anno. I sopra evidenziati vantaggi di sostituire le scogliere con una barriera di turbine sfalsate, in modo da adattarsi ai vari angoli di traversia, Figure 4 e 5, 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, durante le mareggiate invernali, l'efficacia della barriera in condizioni di erosione esaltata dalle scogliere rimaste. Se s'impiegano moduli da 20m disposti con continuità, per indurre l'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.

Ambedue tali rendimenti sono incrementabili maggiorando l'estensione e il numero dei convertitori (Fig.6), peraltro più articolati in mare aperto in modo da smorzare anche le correnti specie litoranee che possono essere attenuate, all'estremità della barriera (Fig.5), da attinie e spugne artificiali (fig. 7). Notevoli sono poi gli altri vantaggi della barriera che sono riportati nella tabella 1 specie evitando la distruzione di infrastrutture e riducendo l'effetto serra con la posidonia.

La barriera tende a integrare la barra mobile invernale, "duna sommersa" e serve come ultimo baluardo ove sono state tolte dune, vegetazione, ridotti i trasporti solidi dei fiumi e alterati i paraggi, per cui le velocità delle correnti da smorzare sono in *eccesso* da "antropocene" rispetto a quelle che generavano *l'erosione naturale estate/inverno*, anche protetta e con *interventi naturalistici*. Si proteggono inoltre i ripascimenti che innalzano le spiagge proteggendole dagli *allagamenti* causati dall'innalzamento del livello del mare ($\div 3$ mm/y) e dalla subsidenza ($\div 5$ mm/y).

Il finanziamento della sperimentazione si auspica *sussidiato dalla partecipazione pubblica e privata* con accordo sull'utilizzo del prototipo, anche per ricercare soluzioni diverse dalle scogliere che sono, come sopra evidenziato, decisamente anti-ecologiche.

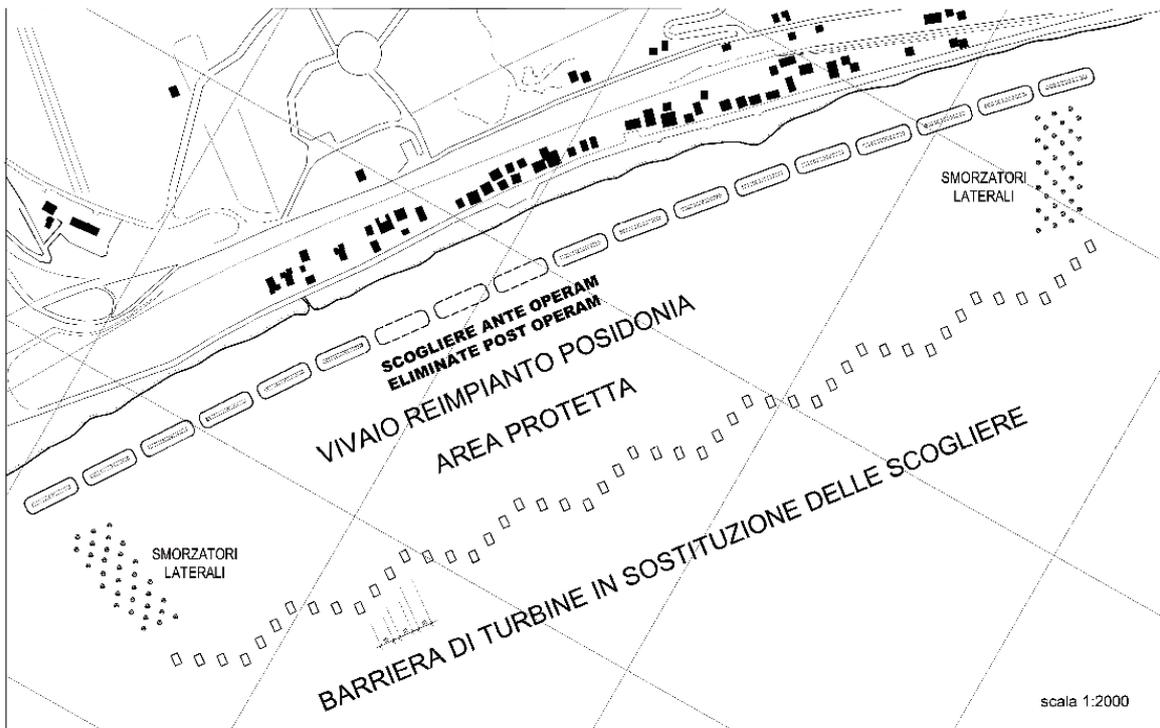
Sotto la spinta della crescita vertiginosa dei costi del MWh, a causa dell'alto prezzo marginale del gas, sono in atto le semplificazioni dei rilasci delle autorizzazioni per costituire le *Comunità energetiche rinnovabili (Cer)* con vantaggi nel tempo su clima-povertà-pace-costruzione capitale sociale (Becchetti 2022). L'accoppiata con la protezione delle coste da un risparmio di gare e di spesa.



a)

b)

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 una barriera corallina naturale.



LIVELLO MARE

FONDALE SABBIOSO

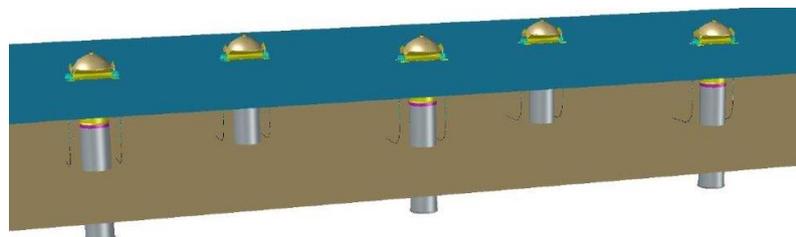


Figura 5. Barriera in mare aperto più soggetta alle correnti litoranee ed alle variazioni dei paraggi, per cui va coadiuvata da barrire laterali tipo fig. 7. La barriera può essere ad es. di 50 moduli ogni 20 m con 100 turbine da 3 MW in 1 km o con maggiore numero di moduli per la migliore produzione di elettricità e di recupero ettari di spiagge (Fig. 6). L'articolazione e forma della barriera copre i principali angoli di traversia e di riflessione in particolare per risonanza.

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. Peraltro il galleggiamento è stato tolto per evitare catene di ancoraggio e zavorre.
- 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*, tali praterie assorbono CO₂ oltre 10 volte di più di una foresta nei climi temperati tipo quelli italiani; 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.
- Le barriere prevengono forti mareggiate evitando *distruzione di infrastrutture* turistiche e residenziali di valore, potendo invece non proteggere zone degradate e/o passibili di elevati allagamenti, arretrando il nuovo.
- Il *fotovoltaico galleggiante* può facilmente sovrapporsi alla barriera proposta, sfruttandone le fondazioni, in modo da incrementare la produzione di corrente elettrica.
- Le barriere proteggono la "zona di calma" e favoriscono l'habitat ittico oltre a prevenire la pesca di frodo.
- 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, Eni 48 da 18 MW a Gorgona e Capraia, 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 glebanite 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 direttamente fondato su monopalo infisso nel fondale; la girante ad asse orizzontale inoltre rivisita le storiche ruote idrauliche, senza però le sensibili penalizzazioni delle oscillazioni dei livelli dei fiumi.

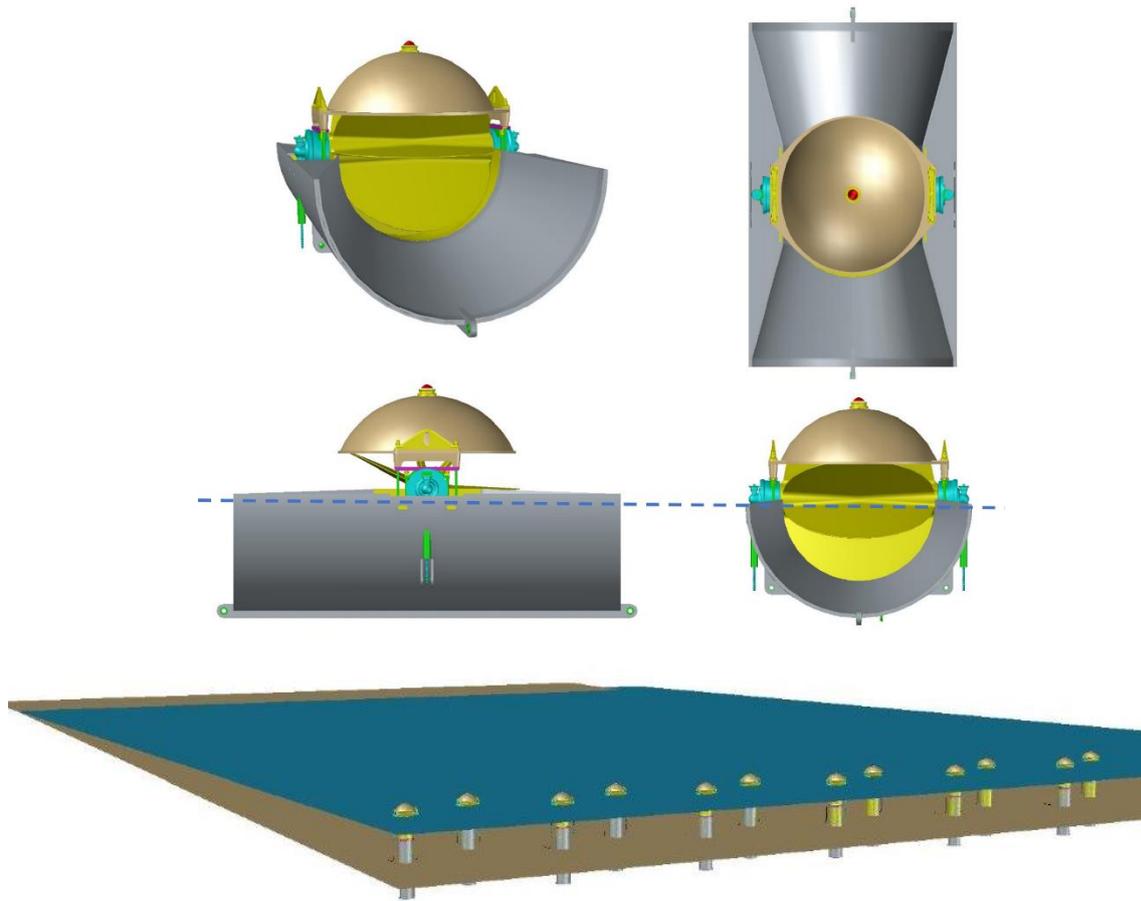


Figura 6. Barriera con convogliatori innestati su monopali, e composta da giranti, ciascuna con 2 turbine e cavi sottomarini raggruppati, per la massima produzione di corrente fino a 12 MW/km e il massimo effetto anti-erosione: 2 file sfalsate di 100 moduli ad interassi di 10 m in 1 km.

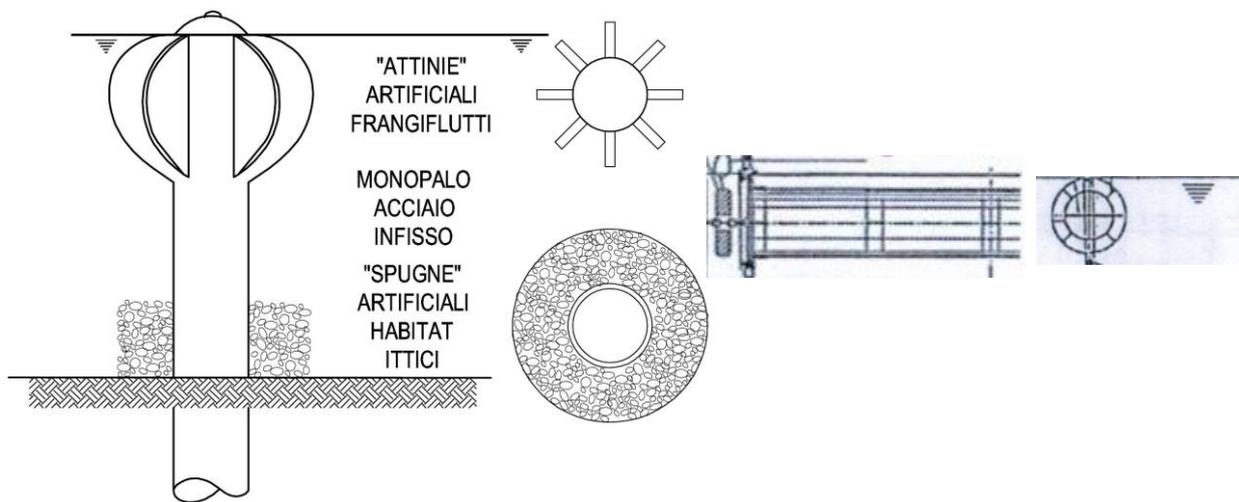


Figura 7. Barriera statica costituita da attinie e spugne artificiali, realizzate con stampante 3D, coassiali su monotubo di grande diametro alternabili alle turbine per contenere i costi delle barriere o trasversali fra le estremità delle barriere (Fig. 5) per smorzare in mare aperto le correnti specie litoranee, su bassi fondali e la costa, o con forti variazioni dei paraggi. La barriera può essere integrata anche con cilindri galleggianti alettati frangiflutti ancorati ai monotubi di fondazione

L'apertura alle rinnovabili per la produzione di elettricità va sviluppato per promuovere anche lo sfruttamento dell'energia del mare e favorirne la diffusione in quanto a *costi competitivi* sia con l'eolico e il fotovoltaico che oltretutto funziona molte meno ore, solo di giorno e poco nei nuvolosi inverni, al contrario delle barriere.

Il finanziamento si può sussidiare, per il periodo di ritorno di una quota dell'investimento, tramite Consorzi Energetici Rinnovabili (CER) ed i Gestori degli Stabilimenti Balneari che otterrebbero un *premio di concessione sulla spiaggia* recuperata anche nel paesaggio con un maggior turismo.

Domanda, offerta e fatturato giustificano bene i *ritorni sulla curva d'investimento (ROI)* migliorativa rispetto a quella per sole rinnovabili, specie tramite i giganteschi eolici galleggianti.

Altra fonte di sostegno all'investimento è il notevole assorbimento della CO₂ generato dalla posidonia che potrà crescere protetta dalla barriera e non essere scalzata dalle scogliere frangiflutti.

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 ad esempio di una frana o per il progetto di una galleria, validati in base al monitoraggio, secondo il metodo osservazionale previsto dalla vigente Norma NTC2018.

In proposito si potrebbe proporre un appalto sperimentale in sostituzione di quelli con le scogliere od i pennelli di massi, dandogli ufficialmente il carattere di Ricerca. Ciò è di fatto perfettamente analogo all'uso del metodo osservazionale per l'adattamento in sito delle opere specie marittime, fino al collaudo anche amministrativo, oltretutto più controllabile di quello dei ripascimenti artificiali.

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.

La barriera è dotata di lampade di segnalazione e passaggi per le imbarcazioni in base all'estensione, e naturalmente alle esigenze di navigazione verso la costa.

Se si può lasciare la fitta continuità dei moduli della barriera si può ottenere anche la massima efficienza anti-erosione (Fig. 6). Nel caso si possono anche intramezzare le attinie e le spugne artificiali (Fig. 7) e queste ultime possono avere anche la funzione, tipo scogliere soffolte, di smorzare le correnti di ritorno erodenti il fondale.

Ad esempio si può ottenere una maggiore produzione energetica da 100 moduli/km ovvero 200 turbine di 30 + 30 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 CO₂ 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, 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 più semplice premontato nella *fascia di calma*.

La barriera inoltre presenta una maggiore sicurezza e minore *manutenzione* essendo la profondità del fondale di posa circa 10m, 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. *COP 28 dichiara di azzerare le fonti fossili nel 2050*, ovvero ridurle realisticamente del 4%/y ed accelerare le fonti rinnovabili corrispondenti ad un'installazione media di 5 GW/anno a Nazione, nonché gli efficientamenti energetici e specie i cambiamenti di stili nei consumi.

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...".

INCREMENTI DELLO SMORZAMENTO DELLE ONDE

Si evidenzia che sia l'ingombro del convogliatore-girante sia l'interasse dei monopali di ciascun modulo può essere scelto in funzione delle lunghezze tipiche delle onde in modo da smorzarle incrementandone la riflessione sopraflutto alla barriera.

Tale dimensionamento e articolazione della barriera può basarsi sul fenomeno della *risonanza* per ottenere la massima protezione contro l'erosione delle coste. Sono in proposito studi alla Sorbona di Parigi (Leo Paul Euvè 2023) ed all'Imperial College di Londra (Sebastien Guenneau 2023).

Se ad esempio si articola la barriera nella planimetria di 30° per coprire i principali angoli di traversia lo sviluppo di 1 km diventa di 1150 m complessivo. Se poi si cerca di incrementare l'effetto riflettente per smorzare le onde incidenti, l'interasse dei moduli dovrebbe avvicinarsi per risonanza alle principali lunghezze delle onde da 10 ÷ 15 m più frequenti.

Si può pertanto ipotizzare di realizzare 500 m centrali con interasse da 10 m ovvero con 50 moduli e i due tratti laterali di complessivi 650 m con interassi da 15 m ovvero con 45 moduli + 5 di adattamento per complessivi 100 moduli/km e potenze da ÷ 12 GWh/y.

In mancanza di ripascimenti naturali, specie per *carezza del trasporto solido dei fiumi*, la barriera di turbine può favorire il mantenimento di un idoneo ripascimento artificiale, similmente alle soffolte.

L'accoppiamento protezione coste-produzione rinnovabili consentirebbe un sensibile *risparmio della spesa pubblica specie non in emergenza ma in prevenzione*, anche per la manutenzione.

CRITERI DI DIMENSIONAMENTO

I disegni del prototipo si basano su un'analisi semplificata pseudostatica elastica sotto azioni delle correnti marine e fattori di sicurezza deterministici severi. Il monopalo congruamente infisso funziona anche da paraurti navale, tipo briccola, ed il peso complessivo del modulo previene le manomissioni.

I periodi propri dei moduli, assimilabili proprio ad oscillatori semplici, presentano poi periodi lontani da quelli di risonanza con le onde. Il monitoraggio consente il sistematico controllo.

Si è svolta poi un'analisi dinamica in modo che la curva della potenza delle correnti generate al crescere delle altezze d'onda attendibili fossero congruenti con la curva della potenza generabile dalla turbina al crescere dei numeri di giri, ovvero tarata sulla velocità della girante attendibile.

Si può a titolo storico usufruire della statistica empirica di Pareto per cui il 20% delle onde con più alta energia tende a produrre l'80% della corrente elettrica. Analogamente si può richiamare anche la probabilistica soggettiva di De Finetti per cui la curva d'investimento sulla scommessa di una buona riuscita della Ricerca è ampiamente proporzionata ai benefici che si otterrebbero.

Si ribadisce in proposito il risparmio della spesa pubblica potendo finanziare un appalto che accoppia sia quello per produrre energia che quello per proteggere le coste in eccesso di erosione.

È comunque evidente la necessità di dimensionamenti tarati sul sito prescelto con i calcoli esecutivi strutturali e fluidodinamici a norma e soprattutto con l'uso dell'analisi a posteriori basata sulle misure in sito, ovvero la sperimentazione controllando l'efficacia della proposta con il monitoraggio ed il metodo osservazionale.

BIBLIOGRAFIA

- BECCHETTI L. (2022), *“Agire per le comunità energetiche”*, Corso di formazione nazionale per un’ecologia integrale, Focsiv, Caritas Italiana, Fondazione Lanza, webzoom, 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. (2021), *Granelli di sabbia una guida per camminare sul bordo del mare*, Pacini Editore, Pisa pp.200.
- 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.
- VENTURA P., PALMAROCCHI M., DOMENICONI C. (2023), *“Il contributo di nuovo convertitore dell’energia del mare alla protezione delle coste ed alla produzione di energia pulita”* Monografia di Geologia Ambientale, LE COSTE Caratteristiche, tendenze evolutive, erosione e interventi di difesa, monografie@sigeweb.it; aggiornamento monografia www.steseoetica.it.