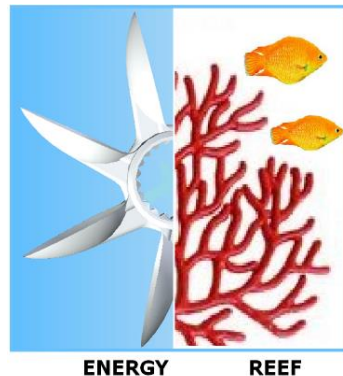


CONTRIBUTION TO THE ECOLOGICAL TRANSITION



NEW ARTIFICIAL REEF IN COASTAL PROTECTION RECONVERSION AND ELECTRIC POWER PRODUCTION

**BREVETTO N. 1020230000211261 del 2025 10 20
PROTOTIPO BARRIERE DI TURBINE**

RELAZIONE DI PROGETTO

TEAM DESIGN

CLAUDIO DOMENICONI Via Concordia 19 - 20861 Brugherio (MB)
Email: claudiodomeniconi@outlook.com; Phone: +39 3400500678

MANLIO PALMAROCCHI Via Beata Vergine del Carmelo 97 - 00144 Roma (RM)
Email: mpalmarocchi37@gmail.com; Phone: +39 3386376751

PIERFRANCO VENTURA Via Emilio Repossi 19 - 00158 Roma (RM)
Email: pierfranco.ventura@stesecoetica.it; Phone: +39 3356434580

ENERGY REEF: NUOVA BARRIERA PER LA PROTEZIONE DI COSTE E PORTI CON PRODUZIONE DI ENERGIA DAL MARE E DI ACQUA DOLCE

Pierfranco Ventura

Progettista Geotecnico

pierfranco.ventura@stesecoetica.it

Manlio Palmarocchi

Progettista Rinnovabili

mpalmarocchi37@gmail.com

Claudio Domeniconi

Progettista Meccanico

claudiodomeniconi@outlook.com

Parole chiave: protezione coste erosione, convertitori energia marina, riconversione scogliere frangiflutti, mitigazione paraggi porti, alimentazione dissalatori sommersi, membrane osmotiche, vivai posidonia.

Keywords: coastal erosion protection, marine energy converter, reconversion breakwater reefs, mitigation of port proximity, submerged desalination power supply, osmotic membranes, posidonia nursery.

SOMMARIO

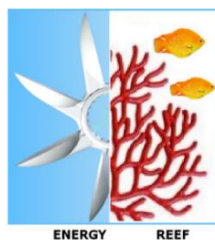
L'energia marina è caratterizzata dalla conversione dell'energia delle onde pulsanti verticalmente in alto mare in energia delle correnti orizzontali costiere che si formano sui fondali marini poco profondi. Queste correnti provocano un'erosione eccessiva rispetto all'erosione naturale estate-inverno, che, come è noto, è notevolmente aumentata dalle attività antropogeniche. Il problema quindi, è quello di contenere l'energia cinetica in eccesso delle correnti marine. Si propone una ricerca sperimentale sul progetto del prototipo “*Energy Reef*” riguardante la realizzazione di una barriera dotata di particolari turbine, semisommerse rispetto al livello del mare, e posizionate nella “*zona di calma*”. Tale zona si instaura dove il mare avvicinandosi alla costa tocca la profondità di circa 10/12 metri e 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, essendo mitigate le sollecitazioni strutturali. I moduli sono in buona parte prestampati 3D in leggera *glebanite*, ovvero in vetroresina riciclata. Il filtraggio della barriera e la rotazione delle turbine 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; inoltre sopraelevando le spiagge si arginano gli effetti dell'innalzamento in atto del livello del mare. I moduli della barriera sono dotati in fondazione di un galleggiante che consente l'auto-livellamento, la rotazione delle pale alleggerite alle minime correnti e auto-orientamento alle correnti prevalenti del convogliatore. I tubi monopali di fondazione possono essere rivestiti con materiale spugnoso per favorire l'habitat ittico. 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 plastiche che si possono così recuperare. La barriera, oltre a *proteggere la costa*, produce in media da 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. Può essere usata anche come “ancoraggio” per un fotovoltaico galleggiante incrementando la produzione di energia elettrica. La proposta è poi molto competitiva con le gigantesche pale eoliche offshore specie galleggianti, soprattutto per le verifiche di sicurezza e di manutenzione. È possibile inoltre la riconversione in barriere delle attuali difese quali scogliere che presentano notevoli costi cumulativi pubblici, specie di manutenzione e causano sensibili danni collaterali sul fondale, tanto che in vari Stati Usa le *scogliere sono state proibite*. Un uso peculiare delle barriere è quello di rimpiazzare morbidamente i rigidi moli sopraflutto o sottoflutto per mitigare l'*insabbiamento dei porti* e per attenuare l'erosione delle spiagge vicine ai porti causata dalla modifica dei paraggi. Altro interessante uso è quello di

fornire energia elettrica ai posti barche e soprattutto proteggere *aree in via di desertificazione* alimentando le pompe che aspirano l'acqua dolce innescando il funzionamento di *membrane osmotiche di dissalamento*, poste a profondità di 50 m a largo. La barriera proposta, con la sua produzione di energia, è l'unica, fra i vari convertitori di *energia marina* progettati e le varie fonti rinnovabili, che consente anche la protezione delle numerose coste in erosione e le relative infrastrutture. Evidenti sono i vantaggi per gli *investimenti*, sostenuti anche dall'elevato assorbimento di CO₂ da parte della posidonia protetta e dall'immenso valore strategico di tante città costiere. Per quanto riguarda il contesto normativo, si evidenzia che la normativa NTC2018 consente l'impiego del metodo osservazionale in modo da rispettare i criteri di sicurezza adattativi sperimentali.

ABSTRACT

Sea energy is characterized by the conversion of offshore vertically pulsating 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 excess kinetic energy of the sea currents. An experimental research is proposed on the project of the prototype "Energy Reef", concerning the construction of a barrier equipped with special turbines, semi-submerged relative to sea level, and positioned in the "calm zone". This zone is established where the sea, approaching the coast, reaches a depth of about 10/12 meters and ends when it reaches 5/6 meters, where the storm surge area begins. The reef imitates a coral reef, far from the storm surges, in order to minimize the risks, stresses on the structures being mitigated. The modules are mostly 3D-printed in light glebanite, or recycled fiberglass. The filtering of the barrier and the rotation of the turbines remove energy from the suspended sand, which then accumulates on the seabed, thus protecting the coast and its infrastructure. Raising the beaches also compensates for the effects of rising sea level. The barrier modules are equipped with a foundation float that allows for self-leveling, rotation of the lightened blades at minimal currents, and self-orientation of the conveyor to the prevailing currents. The single-pile foundation tubes can be lined with sponge material to promote fish habitat. The same turbines simultaneously produce energy and not only; the barrier, in fact, determines a protected strip along the coast and therefore favours the return of the posidonia and fish fauna, the prohibition of fishing, as well as the accumulation of plastic that can be recovered. The barrier, in addition to protecting the coast, produces an average of 5 to 10 MW/km with waves from 5 to 10 kW/m, and is competitive with photovoltaics, as it also produces at night and more in winter; if used as an "anchor" for floating photovoltaics, the Energy Reef allows for increased electricity production. The proposal is also very competitive with the giant floating wind turbines especially in terms of safety and maintenance checks. It is also possible to use Energy Reef instead of breakwater rocks, which have considerable cumulative public costs, especially for maintenance. Furthermore, breakwater rocks cause significant collateral damage to the seabed, so much so that they have been banned in the United States. A specific use of the barriers is to softly replace rigid upstream and downstream piers, to mitigate the silting of ports and reduce the erosion of beaches near ports caused by changes in the surrounding environment. Another interesting use is to provide electricity to moorings and, above all, to protect areas undergoing desertification by powering pumps that draw fresh water from osmotic membrane desalination plants, located at depths 50 m offshore. Among the various marine energy converters and renewable sources, the proposed barrier is the only one that also allows the protection of eroded coasts and their infrastructures. Therefore, in addition to producing electricity, the barrier offers clear advantages for investments and for the environment, also given the high absorption of CO₂ by the protected posidonia. With regard to the regulatory context, it should be noted that the NTC2018 standard allows the use of the observational method in order to comply with the experimental adaptive safety criteria.

PRESENTAZIONE PROTOTIPO



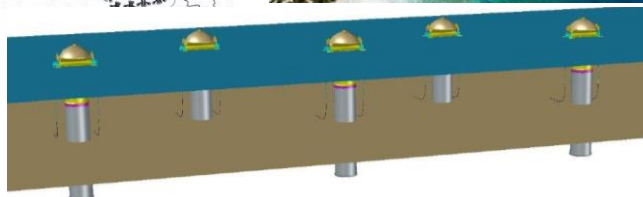
Riconoscimento Presidenza della Repubblica del 15 maggio 2024
progetto prototipo www.steseoetica.it brevetto n 102023000021261

Il progetto Energy Reef riguarda la realizzazione, in un piccolo tratto sperimentale delle nostre coste, di un prototipo di barriera dotata di particolari *turbine su girante ad asse orizzontale semisommersa* rispetto al livello del mare, per non agire controcorrente tipo ruote idrauliche, e dotate di un convogliatore su *galleggiante flottante* per auto-orientarsi alle correnti prevalenti. La barriera è posizionata nella “*zona di calma*”, fascia di mare parallela e prossima alla costa, di profondità tra circa 10/12 metri e 5/6 metri, dove inizia la zona delle mareggiate: in tal modo le turbine, lontano dalle mareggiate, presentano meno rischi e contenuta manutenzione. Nella zona di calma l’energia pulsante verticale delle onde offshore si trasforma nella circolazione inshore di correnti orizzontali superficiali e di correnti di ritorno sul fondale, responsabili di erosione. La rotazione delle turbine toglie energia alle correnti facendo depositare la sabbia tenuta in sospensione, che va a depositarsi accumulandosi sul fondale, difendendo in tal modo la costa con le relative infrastrutture: proprio, come in natura, le correnti a valle delle barriere coralline danno vita a vere e proprie isole. La girante imprime la rotazione a 2 turbine da 30 kW, opportunamente posizionate e segnalate. La barriera può produrre da 5 a 10 MW/km, al crescere del numero di turbine/km e dell’energia delle onde fino a 10 kW/m, ed è più efficiente del fotovoltaico per la sua valenza meccanica ed i tempi di funzionamento anche di notte e maggiormente d’inverno. Con la barriera si determina una *fascia protetta* lungo la costa e pertanto: divieto di pesca, ritorno della posidonia e della fauna ittica, come pure la stesura di reti per raccogliere plastiche recuperabili per il riciclo, o per integrare l’acquacoltura. La *posidonia* inoltre contribuisce all’assorbimento di CO₂ in misura 10 ÷ 30 volte superiore alle alberature di terra. Ricordiamo poi che in vari Stati Usa è recente la *proibizione delle scogliere di massi frangiflutti* rivelatesi alteranti il fondale, motivo per cui si propongono in alternativa le presenti barriere. Le turbine sono in buona parte prestampate in *glebanite*, ovvero in vetroresina riciclata. L’articolazione e forma della barriera copre i principali angoli di traversia e di riflessione e tende a mitigare i paraggi specie alterati dalla presenza dei porti, potendo realizzarsi a integrazione dei *moli sopraflutto o sottoflutto* e fornire energia alle navi. Altro importante uso delle barriere è quello di fornire energia elettrica a *dissalatori osmotici* posti a largo a profondità di 50 m, risparmiando il consumo di energia per instaurare le elevate pressioni di quelli a terra per produrre *acqua dolce*.



LIVELLO MARE

FONDALE SABBIOSO



Sperimentazione dell'efficacia anti-erosiva della nuova barriera artificiale a confronto con una barriera corallina reale. La fila di moduli con turbine antierosione permette inoltre di delimitare un'area protetta. L'articolazione planimetrica della barriera copre i principali angoli di traversia e di riflessione e risonanza.

1 – STATO DELL'ARTE SULLA PRODUZIONE DA ENERGIA MARINA

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 - Gottolengo MN) o in 13 briglie sull'Arno (Iniziativa Bresciane) con convertitori da $\div 100$ MWh/y.

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 complessivi oltre 800 MW, previsti anche per l'Italia nel 2035.

Si evidenzia subito che queste rinnovabili, come del resto l'eolico a terra ed il fotovoltaico, sono *tutte senza attuare anche la protezione delle coste*, come invece si propone in questa nuova difesa.

Si evidenzia inoltre che il principale vantaggio economico riguarda proprio la protezione delle coste e che la produzione di corrente serve anzitutto per coprire le spese di manutenzione, annualmente invece notevoli con i tradizionali ripascimenti di sabbia e con le scogliere.

Le scogliere costituiscono una *difesa rigida* su fondali a bassa profondità esaltando le mareggiate e il conseguente sconvolgimento del fondale (analogia con l'effetto catino geologico per le onde sismiche). Il modulo elastico dell'acqua 2250 MPa, ovvero solo 10 volte meno del calcestruzzo, urtando sulle scogliere imprime forti "spanciate" di scoscendimento dei massi.

Dove invece la batimetria inclinata vicino alla costa tende a smorzare le correnti marine simile alla laminazione (shoaling), la barriera proposta costituisce una *difesa morbida* che smorza l'energia in eccesso indotta da cause antropiche e non presenta i rilevanti effetti collaterali di erosioni da mareggiate invernali che incidono invece molto anche sui ripascimenti artificiali.

Ricordiamo poi che è recente in vari Stati USA la proibizione delle *scogliere di massi frangiflutti* rivelatesi dannose per il fondale, per cui si propongono in alternativa le presenti barriere

La proposta cerca di contribuire ad erodere il catastrofismo climatico da *antropocene*, anche se la tecnologia da sola non è risolutiva, ma sono fondamentali le scelte di vita solidali di ciascuno.

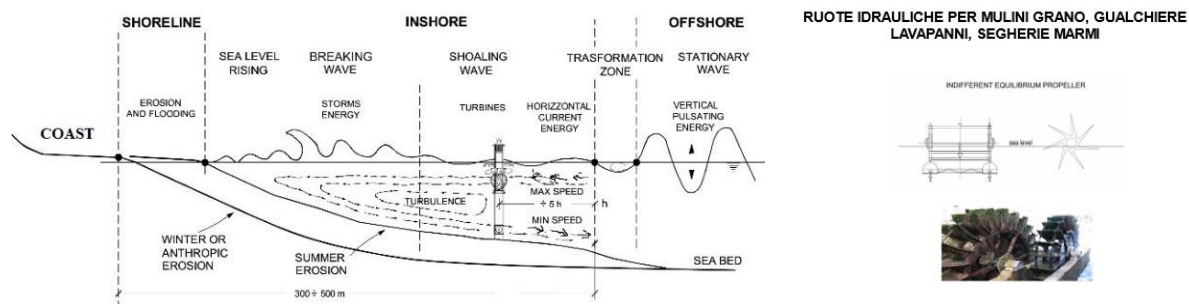
2 – ASPETTI INNOVATIVI DELLA NUOVA BARRIERA DI TURBINE

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 10 m, le stesse onde (Fig. 1a) vengono convertite in *correnti orizzontali inshore* dirette verso il litorale modellandolo in modo da rispettare l'equilibrio del cuneo di acqua costretto a scorrere tendendo a laminarsi: nel verso superficiale di spiaggiamento e in quello inverso sul fondale con erosione.

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. 1a) sia su un galleggiamento prossimo all'indifferente (Fig. 1b) che ne migliora l'efficienza in

produzione di elettricità. La particolare disposizione della barriera antierosione smorza efficacemente l'energia cinetica delle correnti inshore.



a)

b)

Figura 1 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) equilibrio indifferente o mesogalleggiante della girante ad asse orizzontale con peso specifico equivalente a quello dell'acqua, tipo meduse, in modo da ruotare con le minime velocità delle correnti, peraltro ben facilitate dai cuscinetti lubrificati; il peso della girante è però (fig. 1.5) solo flottante in modo da auto-orientarsi alle correnti prevalenti.

SCHEMI DI CIRCOLAZIONE DELLE CORRENTI SUPERFICIALI E SUL FONDALE BIDIMENSIONALE E TRIDIMENSIONALE (TOMASICCHIO)

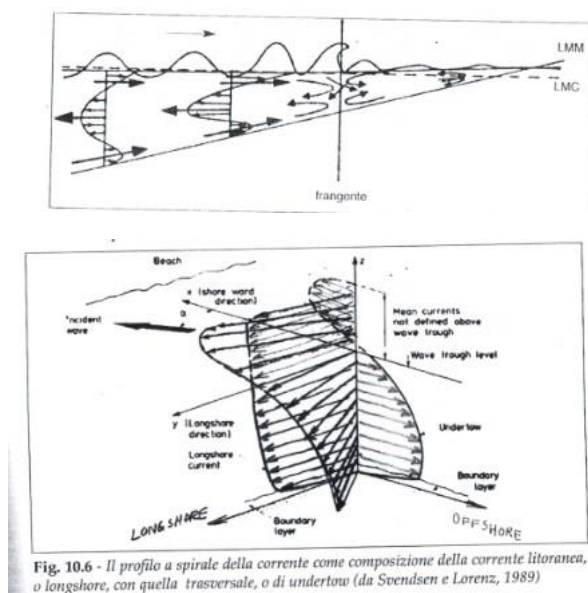


Fig. 10.6 - Il profilo a spirale della corrente come composizione della corrente litoranea, o longshore, con quella trasversale, o di undertow (da Svendsen e Lorenz, 1989)

Figura 1c Composizione delle varie correnti marine

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 (molini per grano, gualchiere lavapanni, segherie pietre), senza oscillazioni fra magre e piene, fino alle simulazioni fluidodinamiche marine ed al monitoraggio satellitare delle forti modifiche batimetriche dei fondali.

La figura 1c evidenzia peraltro che la *composizione delle varie correnti marine* che rende complesso il rilievo tridimensionale. Tale composizione è mitigata nella zona di calme e in vari periodi dell'anno da correnti regolari verso la costa, inoltre il flusso è decomposto dagli articolati

orientamenti planimetrici della barriera, coadiuvati anche dall'auto-orientamento dei convogliatori flottanti, come di seguito descritto.

La figura 1d (Metallo 1980) illustra poi la deriva della linea di equilibrio della spiaggia al variare dei frangenti generati dalle dimensioni delle onde (H/L 0,1÷7%), dal loro angolo di approccio e dall'assortimento granulometrico del fondale.

ENERGIA DELLE ONDE DEL MARE

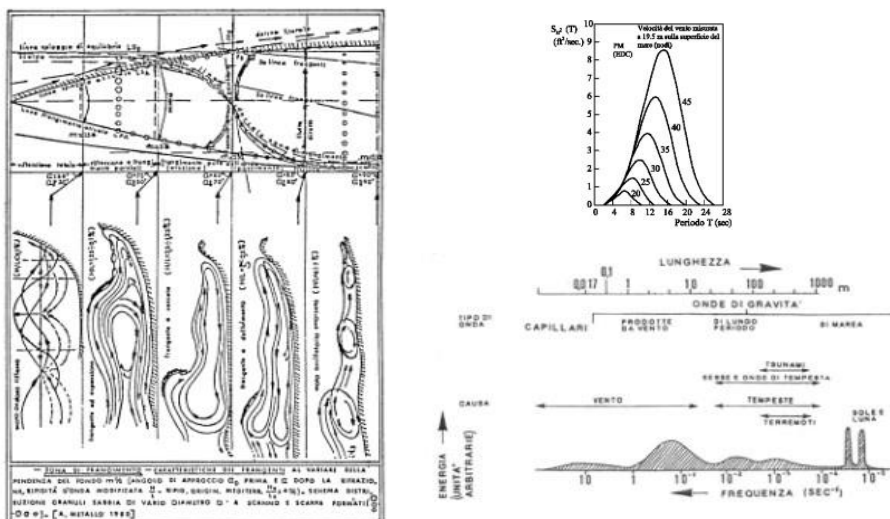


Figura 1d Evoluzione delle correnti marine nel modellamento del fondale ed energia delle onde



CURRENTMETERS FOR MONITORING
INSHORE - OFFSHORE TURBINES POSITIONING

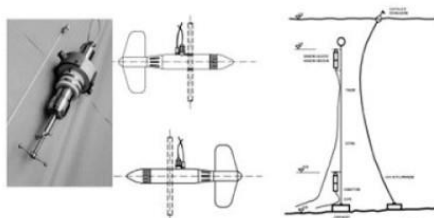


Figura 2 Droni marino dotati di GPS e correntometri per rilievi più estesi di quelli fissi passati

In proposito è fondamentale il rilievo, con *droni marini* dotati di GPS, Figura 2, della velocità delle correnti marine, dei dati meteo-marittimi, degli angoli d'incidenza dei venti prevalenti nel settore di traversia, delle correnti litoranee, delle modifiche dei paraggi e dei rilievi batimetrici specie riguardanti la barra mobile invernale (Ricci Lucchi, 1992).

I rilievi satellitari hanno evidenziato che in presenza di scogliere e di pennelli di massi (*terminal groins*) i fondali subiscono forti sconvolgimenti con canali e affossamenti o accumuli e intasamenti (Paltrinieri, Faina, 2021, Cherdvong Saengsupavanich 2022) causati proprio dal posizionamento di tali difese su bassi fondali, specie per limitarne l'estensione trapezoidale, ovvero proprio nella fascia delle mareggiate (*storms energy* Fig. 2a). Ciò, accoppiato alla rigida volumetria delle scogliere, esalta il sopraflutto alle mareggiate e le correnti di fondo, anziché laminarle e smorzarle secondo il naturale frangimento delle onde e conseguente appiattimento (*shoaling*). Ciò sconvolgendo i fondali fino a seppellire o sradicare, e desertificare la posidonia, o addirittura demolire le stesse scogliere come accaduto specie nel Tigullio.

Per tali ragioni, più specificamente, negli Stati USA della North Carolina, South Carolina, Maine, Rhode Island (Jack Emily, 2010) *le scogliere sono attualmente proibite* (Cipriani, 2021), ciò anche per eliminare i danni ambientali delle cave, come anche proibito in varie Regioni italiane.

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).

Le trasformazioni energetiche verticali/orizzontali avvengono, secondo la geomorfologia marina (Mas-Pla, Zuppi, 2009), a circa 300 ÷ 500 metri in media dalla riva, formando necessariamente una fascia calma. Quando le correnti poi procedono a profondità inferiori, 3 ÷ 5 metri, si convertono in mareggiate causando danni proprio ove si lamina la *storm energy* ed ove invece sono disposte le predette difese tradizionali realizzate con scogliere e ripascimenti, con sconvolgimenti dei fondali, documentati chiaramente specie con i rilievi satellitari (ISMAR, ESA).

La trasformazione dell'energia marina forma una fascia "di calma" con onde smorzate che consente la formazione della barriera corallina. Nell'ambito di tale *calma offshore / inshore* 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, imitando proprio la barriera corallina, in posizione lontana dalle mareggiate in modo da evitare danni alle turbine, primo importante aspetto innovativo.

Il secondo aspetto innovativo è quello di accoppiare le giranti a dei galleggianti in modo da mantenerli in condizioni di galleggiamento archimedeo (250 a.C) indifferente e consentire alle pale di girare anche con le *velocità delle correnti dei settori di traversia prevalenti*.

Peraltro si sfruttano le correnti superficiali (Fig.1a) che sono le massime, riducendosi e invertendosi infatti rapidamente le velocità delle correnti con la profondità (fig. 1c) fino ad invertirsi sul fondale erodendolo. Si evidenzia inoltre che la *durata tipica annua di ore di esercizio* delle turbine marine si incrementa anche per effetto dell'accumulo degli effetti del vento con quelli *termici e barometrici* che, innalzando ciclicamente il livello su estesi tratti di superficie del mare, accrescono le correnti marine.

L'innovazione del meso-galleggiamento è stata peraltro tolta nella soluzione finale proposta fondando le giranti su mono-pali infissi nel fondale (tipo *cannolicchi di mare*), ciò per semplificare la costruzione della barriera, del resto i moderni cuscinetti lubrificati consentono di far ruotare la girante anche alle minime correnti marine.

3 – INTERAZIONI METEO-MARITTIME

La figura 1d delinea poi il vasto campo dello *spettro di variazione dell'energia* del mare, al variare del vento, genera con maggior energia 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 trasformazione in correnti generate da tali onde.

L'energia cinetica aria/acqua di trasformazione delle onde in correnti marine è comunque maggiore di quella delle correnti ventose nella produzione eolica.

Naturalmente la fascia di calma cambia di estensione al variare del vento: se spira molto forte verso terra, le turbine possono essere coinvolte dalle onde verticali offshore per cui la cuffia sulle turbine (Fig. 7) funziona anche da paraurti alle pulsazioni verticali; se il vento spira invece verso il largo s'incrementeranno le correnti marine inshore con vantaggi di produzione di energia elettrica.

Da notare che l'energia marina che deve essere smorzata dalle turbine è causata da un'eccessiva erosione indotta specie dalla *modifica dei paraggi delle coste*, dalla riduzione del trasporto solido causato dalle dighe e dai prelievi indiscriminati di sabbie nei fiumi, 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*.

Tale interazione è altrettanto cogente con le *protezioni naturalistiche* delle coste (graticciate, fascinate ecc.) sono molto utili se i danni causati dall'uomo sono però contenuti (assenza di porti turistici nuovi, conservazione dei paraggi, dune non asportate ecc.) specie ricostruendo su graticciate nuove dune *frangivento* con piantumazioni autoctone innaffiate per varie stagioni; altrimenti ci vogliono interventi artificiali più consistenti.

D'altra parte l'erosione estate-inverno è mitigata dal banco di secche e specie della *barra di sabbia mobile* o duna sommersa sul fondo del mare, potente smorzatore naturale di energia marina che difende le coste, in particolare ove mancano le barene e i tomboli lagunari.

Questa naturale difesa erosa viene sussidiata dalla barriera di turbine, con effetto filtrante a pettine e serve soprattutto ad *evitare l'erosione antropica in eccesso*, in modo 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) specie con misuratori di corrente inshore / offshore: dai galleggianti composti con GPS o ai gessetti a "rosa dei venti a consumo differenziato" fino ai correntometri ad acustica triassiale (Fig. 2) su 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 da sfruttare.

Per rilevare rapidamente la fascia delle correnti mature in velocità, specie a più alto rendimento nelle giornate di forte vento verso terra, si usa un drone galleggiante composito dotato di GPS.

Lanciato alla deriva dall'inizio dello spiaggiamento, ovvero della fascia nell'area inshore si rileva la distanza dal litorale della "zona di calma" di passaggio energetico offshore/inshore, inoltre si misura la velocità delle correnti marine più intense ed efficienti per produrre i kWh.

Correntometri fissi, posti nella fase sperimentale antierosione vicino alle turbine servono, per monitorare in continuo l'efficienza delle correnti in funzione dei venti e degli angoli di traversia.

Si evidenzia poi che le tradizionali difese delle coste si basano su *scogliere frangiflutti in roccia o pennelli* vicino alle spiagge, con *difese rigide* proprio alle basse profondità esacerbando le mareggiate naturali (Fig. 3).

In tal modo i frangenti frontali ai massi inducono sconvolgimenti sui fondali sopraflutto e fra i varchi sottoflutto accrescendone l'erosione, in particolare si formano canali che trascinano i nuotatori a largo (*rip current*) con velocità $1 \div 2$ m/s ovvero $2 \div 4$ nodi), analoghe forti erosioni s'instaurano nelle spiagge non protette lateralmente vicine alle scogliere o ai pennelli (Fig. 3).

Si noti inoltre che le scogliere di roccia aumentano molto in estensione e costo con l'aumento della profondità del mare, avendo le scarpate il doppio della pendenza di quelle all'asciutto per bilanciare le forze di filtrazione. Con la nuova difesa tramite turbine questo costo è trascurabile poiché l'unico requisito aggiuntivo è quello di tubi dei pali più lunghi (Fig. 17).

La successiva proposta di togliere le scogliere (Fig. 8) potrebbe essere riutilizzata per fare delle soffolte con sopra le turbine, evitando peraltro di raggiungere quasi il livello del mare che accrescerebbe addirittura le velocità delle correnti superficiali e l'erosione.

**ZONA DI CALMA OFFSHORE/INSHORE DURANTE LE
MAREGGIATE**



**EROSIONE A COMPASSO FRA LE SCOGLIERE
E INNESCO DELLE RIP CURRENTSIN AVVALAMENTI NEL
FONDALE CON FORTI VARIAZIONI BATIMETRICHE**



Figura 3 Fascia di calma a largo delle forti mareggiate ed erosione fra le scogliere

I *ripascimenti artificiali* (Fig. 17 da 350.000 m³) ad Ostia 780.000 m³, o almeno 100 m³/m) delle spiagge sono poi spesso forniti da potenti sorbone che aspirano notevoli quantità di sedimenti dai fondali marini al largo, oltretutto danneggiandoli, peggio delle reti a strascico. Tali sedimenti, per classazione idraulica lontana dalla costa, sono generalmente fini e pertanto granulometricamente inadatti, con sovrapposizioni di granuli diversi da quelli del fondale ed *angoli di riposo instabili, danni ai lotti di ripascimento*, a partire dalle scarpate laterali in rilievo sui fondali, e che sono sistematicamente rimossi dalle mareggiate, salvo idonea granulometria.

Entrambi questi tipi di *difese* e specie le scogliere sono inefficienti e costose: per modificarle viene proposta la *difesa morbida* tramite una barriera energizzata descritta nel paragrafo successivo, che inoltre sostituisce, più che le barriere coralline, lo smorzamento naturale dei banchi e secche o *barre di sabbia mobili invernali (bar)*, specie se anch'esse sono erose.

4 - LE ENERGIE MARINE E LE OPERE MARITTIME IN EVOLUZIONE

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.

Numerosi sono le ricerche ed i brevetti per produrre *energia rinnovabile dal mare* come descritto nel predetto stato dell'arte sull'energia mareomotrice riportati in bibliografia (STES, 2012, 2022, 2023). La trasformazione dell'energia delle altezze d'onda ($E_{mq} = \rho g H^2 / 8$) in velocità delle correnti, molto approssimata nella valutazione della relazione di progetto, è comunque suffragata dall'innesco delle massime energie e velocità dopo la fascia offshore/inshore e da dati sperimentali nella *surf zone*, la riduzione da H_0 ad H delle onde per *shoaling* comporta un incremento della velocità di H_0^2 / H^2 .

Il *contributo dell'energia marina* è confrontabile con le predette rinnovabili, specie in termine di rendimenti notturni ed invernali annui, consentendo di coprire perlomeno i numerosi fabbisogni domestici e delle medie e piccole imprese, ma *soprattutto proteggere le coste ed i porti* ed alimentare i *dissalatori osmotici* sommersi a largo (Fig. 18). Il termine rinnovabile è pertanto esteso alla protezione delle coste consente di *non duplicare gli appalti* "elettricità/antierosione" basandoli anche sulla riconversione delle tradizionali scogliere di massi frangiflutti o dei ripascimenti artificiali, con nuove barriere artificiali che imitano la barriera corallina e favoriscono il ripascimento naturale.

Tale proposta fa parte della necessaria evoluzione delle *Opere Marittime* per la protezione delle coste da introdurre in una moderna gestione unitamente all'ingegneria naturalistica, al rimodellamento dei porti e dei paraggi ed alla regolarizzazione delle portate e del trasporto solido alle foci dei fiumi. La proposta di barriere di turbine piccole fondate alle profondità dei bassi fondali inshore appare competitiva con le gigantesche turbine eoliche offshore specie galleggianti su fondali molto profondi, ciò anche in termini di sicurezza e di manutenzione.

L'area protetta dalla barriera simula una laguna e consente una riqualifica da piccola Venezia, ciò specie in zone di valore ove i costi di riparazione dei danni da mareggiate sono molto elevati.

5 – NUOVO MODULO DI TURBINE DELLA BARRIERA ARTIFICIALE

La nuova tipologia di barriera artificiale per la protezione delle coste è stata resa nota attraverso STES: Scienziati e Tecnologi per l'Etica dello Sviluppo. L'attività principale di questa Organizzazione di Volontariato Culturale è quella di documentare, da oltre 35 anni (www.steseoetica.it), progetti per la tutela dell'ambiente integrati su base etica.

In proposito ogni *analisi benefici/costi B/C* solo il contributo volontario a costo $C = 0$ comporta benefici $B = \infty$, per cui l'economia sussidiata e delle Benefit Company (BC) ha vantaggi notevoli.



Figura 4 Locandine di alcuni dei Convegni, citati in Bibliografi, in cui si è partecipato

Convegni con importanti partecipazioni (fig. 4) sullo stato dell'arte della produzione dell'energia dal mare e pubblicazioni con la Fondazione Ut Vitam Habeant, con l'Accademia dei Lincei, con CUA dell'Università di Washington, con CNR-IBE di Bioeconomia dell'Università di Firenze, con la SIGEA Rivista di Geologia dell'Ambiente, sono riportate in bibliografia e si considerano facenti parte della relazione. Specifici sono i Convegni periodici Nazionali GNRAC- AIOM e Internazionali TC1-ISSMG(F)E International Society for Soil Mechanics and Geotechnical (Foundation) Engineering.

La barriera di turbine è stata approvata dall'Ufficio Brevetti in Italia il 25 nov. 2014 con il n° 0001411057 e poi registrata il 17 dic. 2019 con il CODE 9861TR2019 nel database CNR SOLAR (Scientific Open-access Literature Archive and Repository). Il prototipo è stato poi aggiornato per sussidiarne l'uso industriale e la riconversione della protezione delle coste, ed è stato denominato con la sigla *Energy Reef*, ed approvato con un nuovo brevetto del 20 ott 2025 N. 102023000021261.

Tale progetto va realizzato inizialmente con i connotati della Ricerca sperimentale, specie da *Benefit Company (BC)* o da *Start Up* Elettromeccaniche e in Opere Marittime nell'ambito della Green Economy e del Green Deal Europeo di piena attualità specie regolando la fondamentale *transizione*.

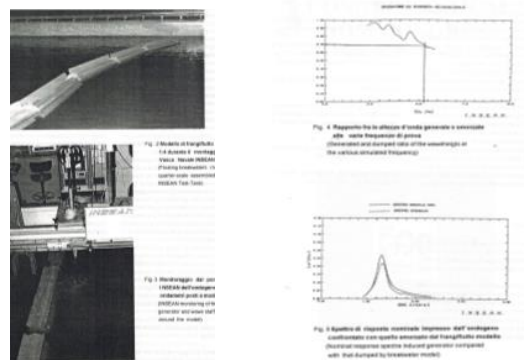
Il primo frangiflutti offshore proposto a protezione delle coste risale al brevetto Artreef n° 1224884 (Ventura 1988) si basava su cilindri alettati galleggianti e ancorati a zavorre sul fondo del mare, come i cilindri Bristol, senza produzione di corrente elettrica. I modelli in scala 1: 4 (Irti 1992) sono stati testati presso la vasca navale CNR-INM (ex INSEAN) di Roma con risultati incoraggianti riguardo lo smorzamento dell'altezza delle onde all'aumentare delle frequenze di prova sopra 1 Hz (Fig. 5a).

Il progetto è diventato poi una turbina ad asse verticale su trottola meso-galleggiante fondata su pali infissi o su vasi salpabili, la trottola era prevista per il compenso archimedeo totale in modo da rendere l'elica indifferente e tale da girare con le minime correnti, peraltro schermate sulle semipale controcorrente (Fig. 5b). Peraltro per eliminare la perdita indotta dell'incremento inerziale, in quanto i cuscinetti possono sopportare il peso della girante senza ridurre i rendimenti, con ruotismi che consentono attriti volventi bassissimi. Si è passati poi alla turbina ad asse orizzontale meso-galleggiante su catamarano ancorato con catene a zavorre salpabili (Fig. 5c Ventura, Palmarocchi 2020); idem senza catamarano, ricavando la carena di galleggiamento sotto il convogliatore.

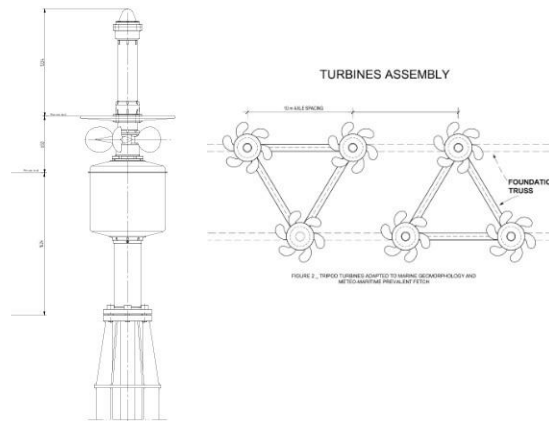
Per accrescere infine la produzione energetica sono state aumentate le superfici delle pale disponendole con *asse orizzontale fondate su mono-palo* (Fig. 7a) senza zavorre e senza il descritto meso-galleggiamento sui minimi giri dell'elica, ma con girante su campana flottante auto.orientante alle correnti prevalenti (Fig 7b).

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, innesco del rendimento ad 1 m/s tipico di una passeggiata, in modo da utilizzare le turbine più efficaci a sfruttarne al massimo l'energia cinetica. (Ventura, Palmarocchi, Domeniconi, 2022).

PRIMO PROTOTIPO DI MODULO: CILINDRO **GALLEGGIANTE ZAVORRATO
CON ALETTE FRANGIFLUTTI SOMMERSE.
RIDUZIONE DELL'ALTEZZA DELLE ONDE SIMULATE NELLA VASCA NAVALE**



**SECONDO PROTOTIPO DI MODULO: GIRANTE AD ASSE VERTICALE
MESOGALLEGGIANTE CON ELICA A PESO SPECIFICO
EQUIVALENTE A QUELLO DELL'ACQUA E CON SAGOME DEVIATRICI DELLE
CORRENTI SU METÀ DELLE PALE**



**TERZO PROTOTIPO DI MODULO: GIRANTE AD ASSE ORIZZONTALE
SU GALLEGGIANTI ZAVORRATI, MODIFICATO A **FLOTTANTE**
ACAMPANASU MONOPALO AUTO-ORIENTABILE**

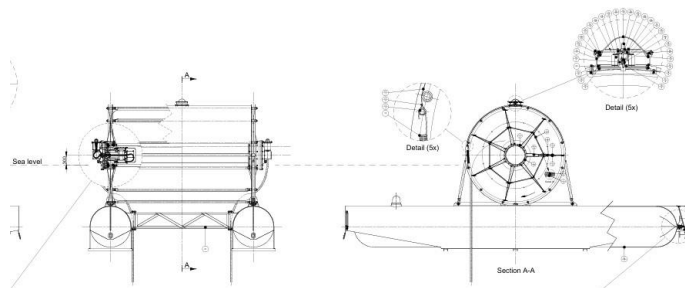


Figura 5 Evoluzione dei brevetti riguardanti la barriera di turbine

Si noti la maggiore efficienza, rispetto all'eolico, dovuta alla distribuzione simmetrica dei generatori coassiali alle pale e per l'assenza, rispetto agli altri *Wave Energy Converter (WEC)*, di meccanismi specie oleodinamici 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 minore è la lunghezza dei cavi sottomarini della barriera fino a terra. 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). Il rischio delle microplastiche emesse dalle pale eoliche è evitato essendo le pale in vetroresina verniciata con *biofouling* ovvero tendono a formare del limo. I moduli sono oscillatori semplici non risonanti ($T_{\text{modulo}} > T_{\text{mare}}$) *antisismici con minori rischi degli impianti a terra*. Il rischio poi da maremoti è principalmente causato dal forte innalzamento dell'onda anomala indotto dalla rapida riduzione delle profondità del fondale vicino la costa. L'onda anomala subdolamente non allarma quando è a largo, peraltro nel Mediterraneo presenta tempi di ritorno elevati ed eventi a largo che, con i limiti di rischio del linguaggio statistico probabilistico, non superano il metro di altezza o frazioni all'inizio dell'inshore.

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; anche per il montaggio la campana è dotata di un ballatoio (Fig. 7c).

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 descritti nel sito www.steseoetica.it e in numerose pubblicazioni. 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 (v. Power Point evoluzione modulo).

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, ed è stato con un sistema sostituito con un sistema telescopico come di seguito descritto.

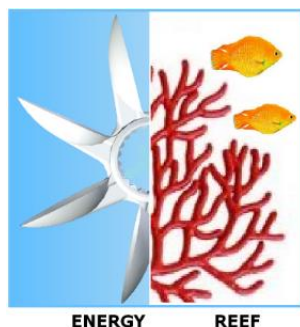


Figura 6 Logo del Energy Reef che imita la barriera corallina (Tav.1).

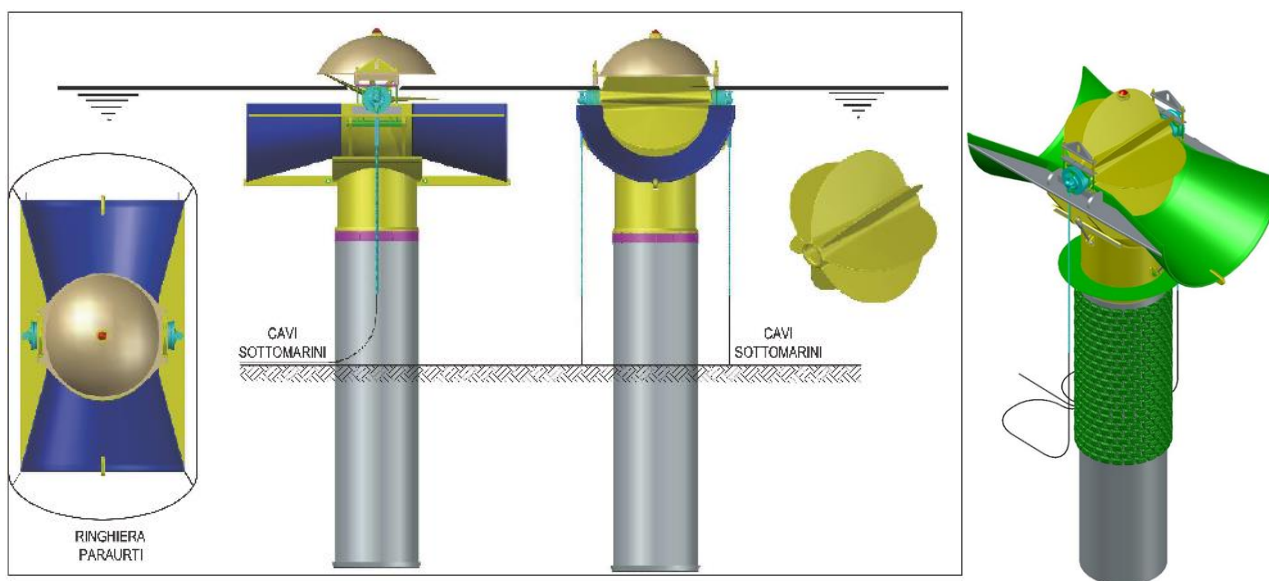


Figura 7a Modulo prototipo 2D e 3D, da tarare al sito prescelto: la girante, il cui mozzo, in glebanite contiene i generatori, presenta 7 pale semicircolari, anch'esse in glebanite da 4 m² con raggio di 1,6 m di pescaggio ove le velocità delle correnti marine superficiali sono massime; i 2 generatori di elettricità (celesti), 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 non controcorrente e fa da riparo dal vento sopra la linea tratteggiata del sea level; sono previste due robuste orecchie (lifting lugs) per il sollevamento del modulo la sua manutenzione. Il modulo è fondato direttamente su monopalo infisso in modo da semplificare le fondazioni (Tav. 2,3).

Si è passati pertanto alla versione più compatta delle figure 7 b, c con convogliatore e girante fissati su un tubo a campana galleggiante in modo da essere sfilabile telescopicamente, tramite cuscinetti lubrificati, dal tubo-mono-palo fondazioni, e essere montabile rapidamente e per la manutenzione. Ciò come da deposito di brevetto N. 102023000021261 e di modello di utilità 202023000004200 del 12/10/2023 e marchio (fig. 2) attestati dal Ministero delle Imprese e del Made in Italy il 20/10/2025.

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, l'impresa sostenitrice usufruirebbe dell'esclusività per l'appalto in Italia (economia innovativa di Schumpeter).

Fra i tanti particolari costruttivi, descritti nella relazione di progetto, si segnala che per facilitare l'installazione a mare e le successive operazioni di manutenzione, l'elemento telescopico interno è ermeticamente chiuso alla sommità, così che, agendo a guisa di campana, sostiene l'intero gruppo turbina ed i relativi convogliatori grazie alla pressione che si autogenera al suo interno per la presenza di una sacca d'aria, durante la fase d'immersione. Il controllo di tale pressione, attraverso un'apposita valvola posta al di sopra dei convogliatori e collegata alla campana, mediante una tubazione flessibile, consente di regolare e stabilizzare l'altezza dell'asse della turbina rispetto al livello del mare nella posizione più appropriata (circa 30 cm al di sopra). Una volta effettuata tale regolazione, l'assetto della turbina rispetto alla superficie marina rimarrà costante al variare delle maree in un range di $\pm 0,5$ metri; compatibile con le coste nostrane, in una condizione di mesogalleggiamento stabile grazie al vincolo scorrevole costituito dal monotubo infisso nel fondale marino. È prevista un'ulteriore valvola, avente funzione di sicurezza, posta a ridosso della campana e all'estremità inferiore della tubazione che la collega alla valvola sopra descritta. Tale valvola, mantenuta chiusa durante l'operatività della turbina, impedirà l'affondamento della turbina in caso di perdita accidentale di tenuta della tubazione stessa. Il profilo del gruppo turbina è poi idrodinamicamente auto orientabile rispetto alla corrente. Tuttavia, per evitare intraversamenti a seguito di repentine variazioni di direzione delle correnti, un sistema di arresti meccanici provvede a limitare l'orientamento angolare entro un campo di 30°, Fig. 7c. In generale si migliora il rendimento girante-turbine Fig. 3d.

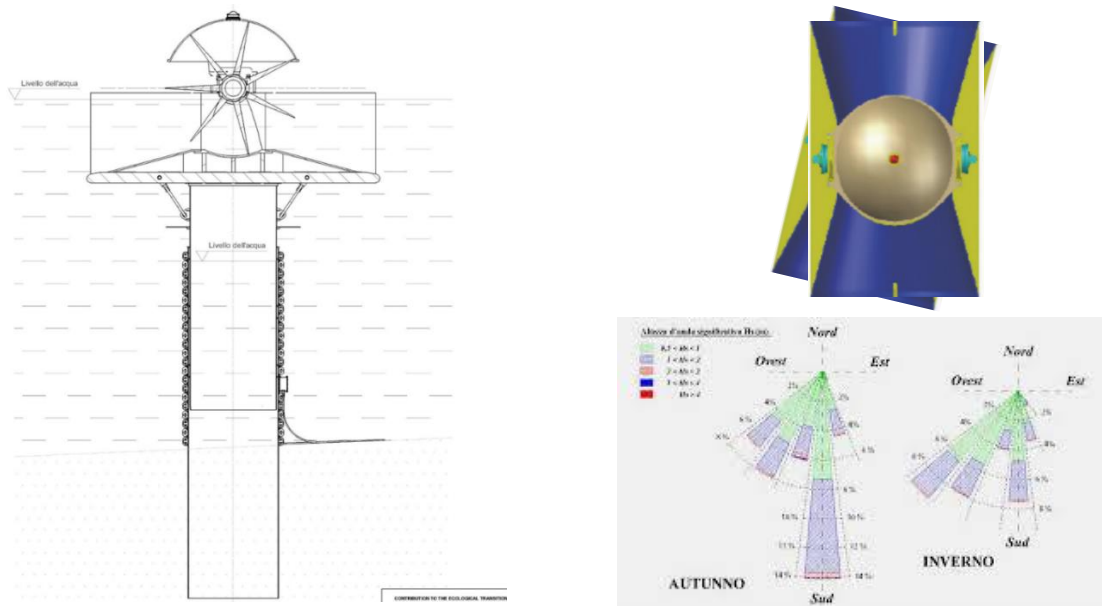


Figura 7b Tubo mesogalleggiante a campana inserito telescopicamente nel tubo del monopalo di fondazione e dotato di valvola di compenso dell'aria intrappolata per la taratura archimedeica, in modo anche da adattarsi alle maree. Il galleggiamento consente inoltre al convogliatore di girare in modo da orientarsi automaticamente, entro angoli limitati da fondi corsa, verso le correnti prevalenti causate dagli eventi meteorologici storici definenti i settori di traversia delle altezze d'onda significative, come ad esempio i settori stagionali di Piombino. Tali particolari costruttivi rendono massimo il rendimento delle turbine (Tav. 4).

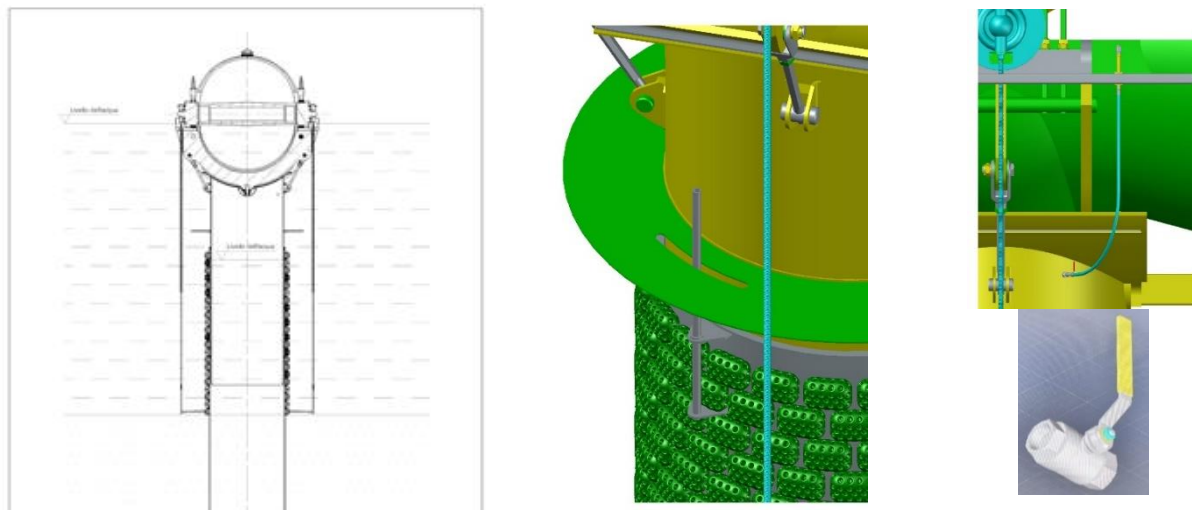
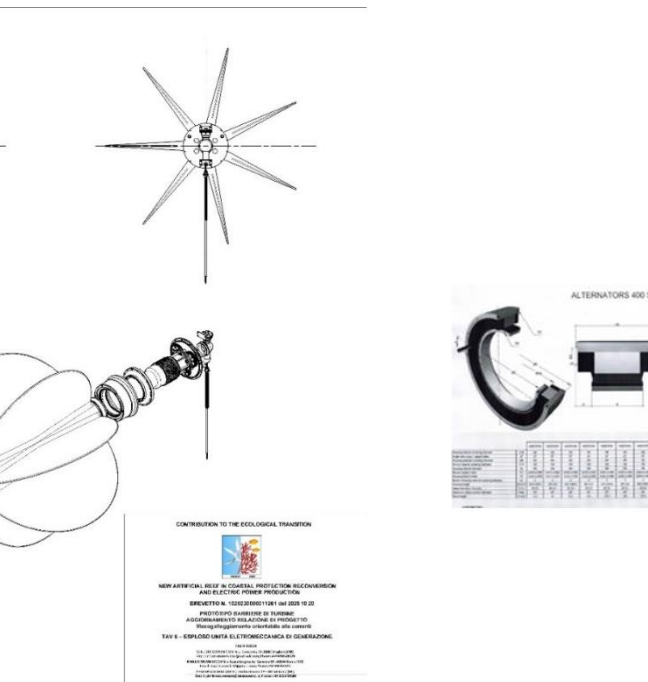
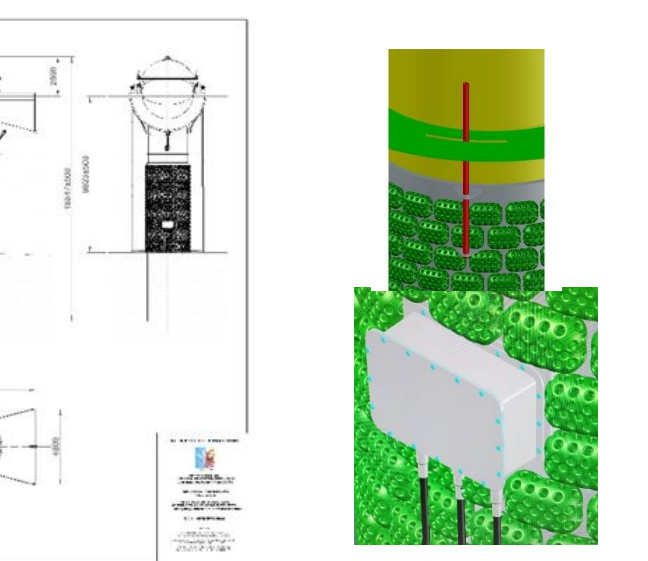


Figura 7c Galleggiante a campana sezione trasversale e particolare delle aste di imitazione della rotazione del convogliatore auto-orientante alle correnti marine prevalenti, particolari della valvola di regolazione dell'aria per la messa del modulo a livello medio mare e della valvola di sicurezza a sfera. (Tav. 5)



e unità elettromeccaniche di generazione (Tav. 6)
permanenti del generatore



anello ballatoio per i sub in modo da regolare la derivazione (grigio) che può ruotare con aste di blocco artificiale (verde) imitante le barriere coralline per l'ancoraggio e della scatola di derivazione dei cavi di derivazione.

La *campana*, scorrevole all'interno del monopalo e guidata da pattini in polimero, sostiene il peso proprio (8,8 m) e quello del gruppo girante, turbina e convogliatore (circa 23 t - computo metrico) grazie alla spinta idrostatica di circa 25 m³ (5,48 m) di acqua e 5 m³ (3,34 m) di camera d'aria.

Nella fig. 3e è delineata inoltre la possibilità di rivestire i monopali con una *spugna artificiale* ad esempio in glebanite e specie imitando ad esempio la duratura *pavona clavus* (corallo a chiodini), in modo da realizzare un habitat ittico equivalente a quello delle reef balls in cemento armato; peraltro il fruscio delle pale potrebbero disturbare i molluschi che comunque si adattano al frangimento delle onde sugli scogli.

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*.

Ciò come già in uso a mare per i moonopali di grande diametro (2,5 m) e spessore (16 mm), in base all'analisi preliminare *pseudostatica*, per realizzare il tratto di fondazione in modo che resista alla rapida vibroinfissione nel fondale sabbioso, o carotando a rotazione se in roccia.

Il progetto del prototipo, depositato con il logo di Figura 1, è stato completamente sviluppato tramite relazione, tavole, particolari costruttivi e computo metrico, a cui si rimanda integralmente.

In (Ventura, Palmarocchi, Domeniconi, 2022) è riportata un'analisi dinamica con lo storico calcolo manuale in modo da calibrare, Fig. 8, la curva potenza-numero di giri dei generatori da 30 kW con la curva potenza cinetica-altezza d'onda del mare Mediterraneo, desumendola dallo spettro, risultando in media di 5kW/m, fino a velocità massima delle correnti marine inshore di 3 m/s (6 nodi). La sequenza di assemblaggio dei magneti permanenti dei generatori è stata dettagliata in 16 fasi.

Tale analisi deve essere supportata da una simulazione fluidodinamica (CFD) e dall'analisi dinamica strutturale per *gemelli digitali industriali* (AI tipo SUK) e soprattutto dalla ricerca sperimentale tramite sensori di monitoraggio in vera grandezza e non su modelli in scala in vasca navale (Supino, 1965). Si noti (Ventura, 2018) che le *idee* che scaturiscono dalla Teoria della Modellazione, tese alla corretta *conoscenza*, non devono però prevalere sulle varie *Applicazioni* Tecnologiche *sperimentali* reali, tese a progetti che destano *speranza* non solo ecologica.

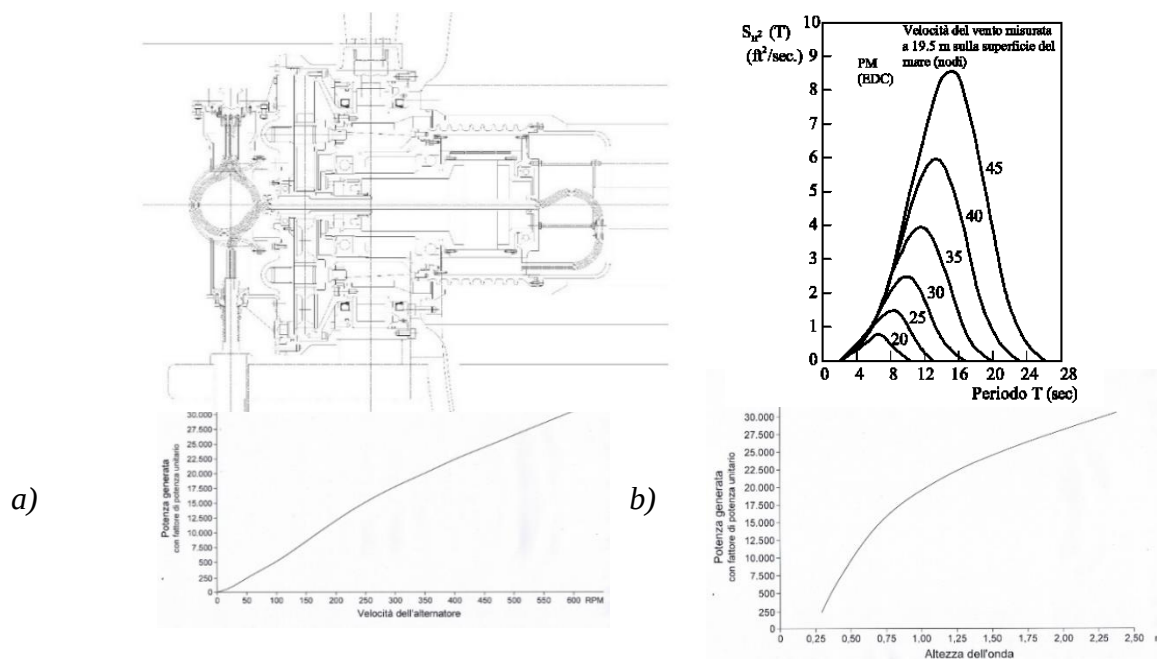


Figura 8 Simulazione dinamica del raccordo di potenze fra il numero di giri della turbina, con particolari costruttivi da 30 kW, e quelle dello spettro delle onde del mare: già con vento a 20 nodi = 10 m/s = 36 km/h s'instaura una sensibile potenza delle onde in base all'estensione del fetch.

6 – CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE DELLA BARRIERA

I predetti criteri innovativi, doverosamente fondati sulle radici scientifiche del passato, sono confluiti nella più efficiente scelta di giranti ad asse orizzontale di grande estensione, come in Fig.7a. regolate dalla particolare ubicazione delle turbine nell'ambito della fascia di calma.

Si ribadisce che si sfruttano le correnti superficiali che sono le massime, riducendosi infatti rapidamente le velocità delle correnti con la profondità. (Fig. 1c), per cui le *pale sono 7 semiccolari* con raggio di 1,6 m di massimo attingimento da tarare sperimentalmente. La di larghezza è di 4,0 m ovvero l'area di 4 m², in modo da sfruttare le correnti marine ipotizzate per i prototipi e in base al rapporto kW/m del sito prescelto. Metà delle pale sono posizionate al di sopra del livello del mare per non subire gli effetti controcorrente e sono riparate da una cuffia robustamente fissata anche per sopportare eventuali forti onde, non usuali nella zona di calma, e dotata di luce di segnalazione.

Le giranti attivano 2 turbine da 30 kW (Fig. 7d) ciascuna e sono coadiuvate da un *convogliatore* per favorire il flusso sulle pale, sono poi fondate su un mono-palo tubolare di 2500 mm di diametro e 16 mm di spessore in acciaio marino resistente al *lamellar tearing* o in materiali fibro-rinforzati.

Il convogliatore e la girante sono montati sul monopalo tramite un *regolatore in altezza* in modo poterli posizionare alla quota del livello medio del mare. Per la *sicurezza* il convogliatore è coperto con una griglia antintrusione ed è circondato da una ringhiera antiurto barche e protezione turbine.

Si evidenzia che la nuova barriera proposta lascia passare la sabbia per il ripascimento naturale, parallelamente *l'energia cinetica delle correnti superficiali* sono smorzate sia dalla produzione di corrente elettrica sia dalle dispersioni provocate dagli ostacoli.

Si può semplificare la costruzione della barriera eventualmente alternandola con smorzatori fissi tipo attinie e spugne artificiali (Fig.11b), o rivestire anche il monopalo per l'habitat ittico (Fig. 7e).

Si costituisce un'area protetta per far attecchire la poseidonia, in modo da simulare pienamente la barriera corallina e costituire una sorta di laguna.

L'insieme continuo in barriere massimizza l'efficacia della protezione dall'erosione anche tramite lo sfalsamento dei moduli e gli interassi a pettine, specie al variare degli *angoli di traversia*.

Data l'importanza attuale di produrre energia elettrica pulita ed a costi contenuti, si può peraltro incrementare il *numero delle giranti fino ad oltre 100/km* con interassi di 10 m opportunamente sfalsati e di potenza nominale con onde da 5 kW/m raddoppiabile a 12 MW, maggiorabile con onde da 10 kW/m., tipo quelle in Sardegna.

Si propone inizialmente un interasse minimo fra i moduli (Fig.18) per ottenere la massima efficienza della protezione antierosione delle spiagge.

Alla luce della sperimentazione e delle caratteristiche meteo-marittime si potranno diradare o raffittire le giranti e comunque sfalsarli opportunamente per contrastare le correnti marine.

Particolarmente importante è la scelta dei materiali che spaziano dalle polveri solidificate con resine epossidiche e rinforzate con fibre al carbonio tipiche delle grandi pale eoliche fino a turbine che possono essere, specie nelle parti più usurabili, in leghe di alluminio trattato anticorrosione o in acciaio anticorrosione per i vincoli.

Date le dimensioni molto minori degli immensi offshore eolici, non necessitano elevate resistenze flettenti e resilienze cicliche delle giranti. Si potrebbe usare la *glebanite* (gleba = zolla di terra) un materiale molto economico ottenuto dal riciclo delle vetroresine che va naturalmente testato per valutare la resistenza a fatica ciclica (curve di Wöhler), peraltro già testata negli scafi nautici con resistenze che vanno da 20 a 135 Mpa per spessori da 4 a 50 mm.

Le parti più usuranti come i cuscinetti delle turbine permangono in acciaio e saranno solidarizzate ai materiali fibrorinforzati tramite speciali resine (tipo ancoraggi Hilti).

Si auspica la collaborazione con gli studiosi di *nuovi materiali più leggeri stampabili in 3D e riciclabili* tipo fibrorinforzati o polimeri naturali, o impastati ad esempio con la "colla" che le cozze secernono o alleggeriti con trabecole tipo le ossa in vetroresine integrate con fibre al carbonio.

I moduli vanno protetti con anti-incrostazioni non tossici (*biofouling*) per non incrementare i pesi e diradare le disincrostazioni. La girante peraltro è autopulente, inoltre l'esposizione al sole dei

galleggianti alle correnti superficiali tende a ridurre le incrostazioni; il modulo è comunque soggetto a disincrostazioni durante la manutenzione periodica fatta dai sub o essendo le giranti sfilabili.

Le pale della turbina sono immerse solo a metà in modo da lasciare l'altra, anziché controcorrente, in aria al di sopra del livello del mare, riscoprono l'efficienza degli antichissimi mulini ad acqua (Fig. 1b) con *variazioni dei livelli* non soggetti a piene e secche.

La campana flottante (Fig. 7c) consente inoltre di mantenere l'efficienza energetica della girante galleggiate sulle oscillazioni delle *maree* che peraltro nel Mediterraneo sono decimetriche.

Una cuffia di protezione, costituita da una sottile lamiera (2 mm) in acciaio inossidabile lucido e pertanto riflettente, ricopre per 150° la parte superiore della girante. Si possono, tuttavia, prevedere materiali più leggeri e coibentanti. La cuffia è sormontata da una lanterna di segnalazione che è costituita da una calotta in polycarbonato trasparente al cui interno vi sarà alloggiata la lampada led rossa di segnalazione da 12 V - 3W, fissata a baionetta antivibrazioni, sarà alimentata da 8 batterie al litio da 1,5V mantenute in carica autonoma da una cella fotovoltaica. Non dovranno inoltre mancare alcuni sacchetti di sali igroscopici (silica gel).

I cuscinetti a rulli a supporto della girante sono prelubrificati a vita grazie a una cospicua quantità di grasso contenuta nelle cavità nelle quali operano. Prelubrificati saranno anche i diversi cuscinetti a sfera con schermi di tenuta del grasso. Ogni punto di contatto fra metalli dissimili sarà isolato da un cordone di composto gommoso (MIL-PRF-8516);

Il moltiplicatore di giri può venir lubrificato da una certa quantità di olio al silicone presente sul fondo e tale da essere lambito dai denti della ruota corona ed essere quindi trasportato a tutti gli altri ingranaggi. Il lubrificante di lunga durata è di tipo grasso fluido a pressione più elevata dell'acqua esterna, specie per le tenute all'acqua salata; la pulizia potrà essere con intervalli di manutenzione che possono diradarsi con lo smontaggio per il ricondizionamento delle turbine.

Due tenute rotanti doppie, ermeticamente isolate dal mare, impediranno ogni contaminazione esterna/interna, senza introdurre un apprezzabile attrito. Tutte le tenute statiche fra le parti sono realizzate con O-Rings in mescola di tipo NBR o FKM (Viton®) nelle zone ove la temperatura è più elevata, peraltro l'esposizione al sole è mitigata dalla sommersione.

La girante della turbina aziona due *generatori elettrici* posti alle estremità della stessa. Si tratta di alternatori trifase con *24 poli a magneti permanenti* (Fig. 8) ciascuno dei quali, nella condizione di maggiore intensità della corrente marina, a 600 rpm, grazie al moltiplicatore di giri con rapporto di trasmissione 1/8, è in grado di erogare una potenza di 30 kW ($\cos \varphi = 1$), e una tensione concatenata di 227 V a 120 Hz. Fondamentale è la presenza del moltiplicatore di giri, peraltro di tipo epicicloidale, tale pertanto da realizzare il perfetto equilibrio dei carichi sugli assi degli ingranaggi, e l'elevato numero dei poli, per esaltare il rendimento dell'alternatore.

L'asse d'estremità della girante, supportato da un robusto cuscinetto a rulli cilindrici, è solidale alla ruota dentata corona del moltiplicatore di giri che, a sua volta, trasferisce il moto a 3 ruote satelliti, imperniate su altrettanti prigionieri, e queste, a loro volta, alla ruota solare. Questa, attraverso un giunto elastico, trasferisce il moto al rotore dell'alternatore.

Alla più probabile frequenza di circa 1/2 Hz della girante dovuta alle correnti marine si potrà avere una frequenza di rete prossima a 50 Hz $\sim 0.5 \cdot 8 \cdot 12$; per inciso in commercio si potrebbe arrivare anche a 48 magneti, ovvero 24 coppie.

Naturalmente al variare di giri cambierà la tensione della corrente elettrica erogata nelle diverse condizioni del mare: tale corrente, per slegarla dalle varie frequenze verrà prodotta in corrente continua per poi essere, tramite inverter, riconvertita a terra in corrente alternata alla tensione e frequenza di rete, successivamente immessa con particolari costruttivi elettrotecnici e accumulatori (storage) simili all'eolico.

L'energia da ciascun alternatore sarà convogliata a terra mediante un cavo elettrico sottomarino composto da 4 conduttori (3 per le fasi e 1 a terra) da 6 AWG (American Wire Gauge), isolati in Teflon®, contenuto in un ombelicale di protezione che attraversa lo scafo.

All'interno dello stesso ombelicale un ulteriore cavo, protetto EMI, conterrà 4 conduttori di sezione molto inferiore per il trasporto di 2 diversi tipi di segnale a monitoraggio della temperatura dell'alternatore.

La costruzione pertanto si avvale 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.

Durante il varo dei vari moduli le giranti sono bloccate per non produrre corrente, immessa poi quando è preparata tutta la rete dei cavi sottomarini.

DISTRIBUZIONE CAVI SOTTOMARINI

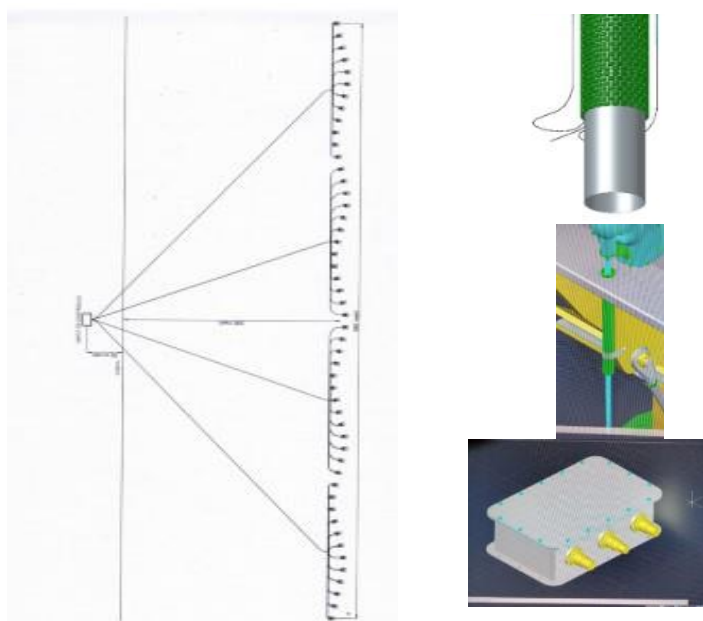


Figura 9 Arrivo alla centrale a terra dei cavi sottomarini e particolari costruttivi

I cavi sottomarini sono portati a terra per ciascun generatore; i vari cavi sono poi raggruppati in una scatola-distributore sottomarino che raccogli 10 moduli alla volta, in modo da confluire a terra in unica centrale d'immissione alla *smart grid*.

Nel caso di barriere posizionate in mare aperto è necessario disporre lateralmente alle estremità degli smorzatori statici perpendicolari delle correnti litoranee, questi possono essere costituiti da attinie artificiali subito sotto il livello del mare e da spugne artificiale sul fondale, ambedue coassiali a mono-pali ad esempio del 1200 (Fig. 11b).

Su fondali ancora più bassi si possono disporre reti contenenti dischi forati tipo *Tecnoreef* od *Oceanus* (Budoni) o geo-contenitori tipo *Reef Ball*, per favorire l'habitat ittico, si propongono anche dei materassi prefabbricati (Fig. 11c). Si realizza una barriera ecologica visitabile e che costituisce un *dissuasore* per contrastare la pesca illegale.

Con criteri invece più ambientalisti, le zavorre possono essere realizzate tramite stampante 3D con ramage di *sabbia litificata 8* (Geopolimeri con *D-Shape*), come già proposto dell'Ing. Dini nel Principato di Monaco (Fig. 11a), in modo da imitare le barriere coralline e rendere minimo l'impatto ambientale della nuova protezione sommersa e non alterante il paesaggio subacqueo.

Si ribadisce che la *riduzione dell'energia cinetica* è affidata sia alla trasformazione in energia elettrica e sia allo smorzamento e delle eventuali attinie alettate utili specie per diradare la barriera in

mare aperto (Fig. 11b). Le spugne sfalsate, specie se fanno da vasi vivaio per le poseidonie, tendono a *smorzare le correnti sul fondale*, come la barriera corallina.

L'insieme continuo in barriere massimizza l'efficacia della protezione dall'erosione e specie al variare degli *angoli di traversia* si ribadisce di sfalsare i moduli e la scelta degli interassi a pettine.

Fra un modulo e l'altro, a idonea distanza, si possono prevedere anche degli allevamenti di cozze.

La *manutenzione* è realizzata tramite lo sgancio del blocco cuffia-generatori-girante dal tubo del mono-palo da parte di sub; si prevede anche la sostituzione con moduli di scorta (ad es. 5 moduli/100 m), usufruendo dell'imbarcazione-paranco di varo; peraltro le disincrostazioni, specie delle pale dei moduli, possono essere effettuate da subacquei, con periodicità contenuta da appositi trattamenti.

Si passa poi ad evidenziare che i rilievi specie satellitari dei fondali interessati dalle scogliere e dai ripascimenti artificiali hanno mostrato notevoli incrementi dell'erosioni, nonostante il sensibile aumento dei costi per tali protezioni.

In vari *Stati Uniti d'America* l'uso delle scogliere e dei pennelli sono stati pertanto di recente *proibiti* ed 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 frangiflutti* (Fig. 10a), 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 rapidamente l'efficacia gli effetti antierosioni nelle peggiori condizioni di erosione in atto, essendo le erosioni volutamente esaltate dagli effetti collaterali indotti dalle scogliere vicine a quelle rimosse.

Si ribadisce peraltro che in Italia ci sono porti specie turistici in media ogni 14 km di costa con variazioni dei paraggi che hanno provocato notevoli erosioni.

La sperimentazione sull'efficienza delle barriere è opportuno che inizialmente non interferisca con tali rilevanti variazioni dei paraggi, da sperimentare in una fase successiva ai primi risultati positivi.

La prova dell'efficacia antierosione della barriera si semplifica poi se si realizza per proteggere una baia fra due promontori, dove le correnti litorali non influenzano la riduzione delle spiagge (Fig. 10 a), come invece per la costa di Figura 10b più esposta.

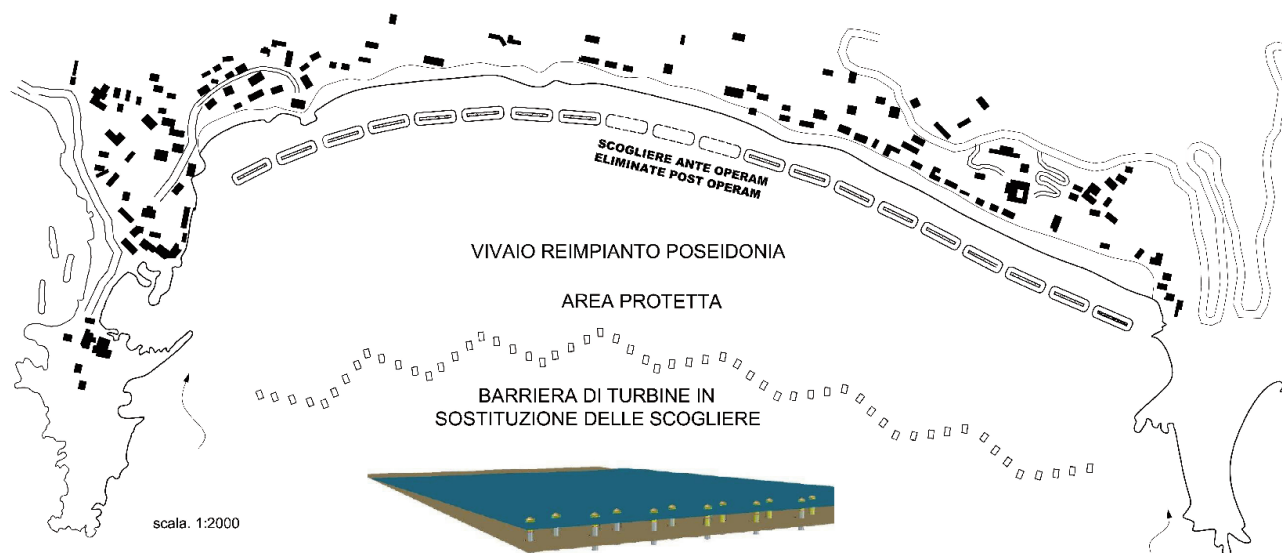


Figura 10a Barriera di turbine a protezione di una baia meno soggetta alle correnti litoranee

In caso di auspicata efficienza delle barriere si può realizzare la frantumazione in pietrisco dei massi delle scogliere rimosse, in modo da realizzare le zavorre-materassi e 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 un ripascimento artificiale d'idonea granulometria longitudinale a ridosso e non modificando la fascia di fondale naturale prospiciente la spiaggia da proteggere. Il monitoraggio del mantenimento del ripascimento artificiale segnerà celermente l'efficienza della barriera.

7 – DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE E SPERIMENTALE

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*, Fig. 2c, *swell*, *fetch*...).

Entrambi caratterizzano l'energia delle onde, che vanno ad esempio da oltre 10kW / 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 pressimetrici.

I disegni si basano sull'ipotesi di un fondale sabbioso posto alla profondità di 10 m, nella fascia di calma, 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 strutturali (CFD) al computer e test fluidodinamici in vera grandezza monitorati sul prototipo a mare potrebbero definire con esattezza le caratteristiche del generatore e le sue proporzioni; in particolare per valutare con l'analisi retrogressiva gl'incrementi di velocità delle pale per effetto del convogliatore.

Si richiama in proposito la ridotta utilità delle prove in vasca navale su modelli in scala che necessitano di un gran numero di prove per compensare gli effetti scala spazio-tempo, in base sia al numero di Reynold e sia di Froude (Supino 1965), ben più vantaggiose sono naturalmente le prove fatte in vera grandezza, come proposto tramite monitoraggio e nel metodo osservazionale.

Il dimensionamento preliminare parte dall'altezza cinetica $h_v = v^2/2g$ è correlata all'altezza delle onde offshore, con velocità delle correnti $v = 3$ m/s risulta $h_v \sim 0,5$ m, fin verso $v = 5$ m/s con $h_v \div 1,0$ m = H altezza delle onde molto frequenti (Fig. 2c) e quindi in sintonia con le velocità di esercizio più frequenti e durature.

Si può pertanto svolgere una *verifica della variazione della potenza del generatore tipo STK4006M al variare della velocità delle correnti marine*, ovvero sulla base dell'energia cinetica sviluppata da onde supposte da 5 kW/m nel Tirreno,

Le *verifiche dinamiche* per la scelta della potenza dell'alternatore in funzione delle velocità attese delle correnti o delle altezze d'onda che le generano, si articolano sul confronto sistematico fra la curva della potenza-velocità angolare del 400STK6M (Fig. 7c) e la *curva potenza-altezza d'onda* (Fig. 7d).

Quanto al rendimento della girante sotto le *correnti "pellicolari" impresse dal vento*, favorito dal convogliatore, la verifica contempera il complessivo rendimento $\eta_c = \eta_f \eta_m \eta_e$: fluidodinamico η_f , meccanico η_m , elettrico η_e .

Le turbine in 25 anni di vita (< dei tipici 35 dei motori elettrici) fanno ≈ 1 miliardo di giri, metà del cuore, per cui vanno dimensionate con la resistenza a fatica in base all'asintoto orizzontale delle curve di Wöhler e con un ordine di 5 manutenzioni più importanti periodiche.

Nella tabella si riportano le analoghe sequenze di calcolo al variare della potenza dichiarata dal costruttore, in modo da ricavare la corrispondente curva potenza-altezza d'onda attesa (Fig. 7d).

La barriera *incrementa lo shoaling* delle onde (Fig.2a) da monitorare e confrontare con trasformazioni offshore/inshore senza barriere, in modo da osservare l'abbassamento di contenuto energetico tipo analisi CWT Continuous Wavelet Trasform.

L'analisi dinamica è impostata sulla base di una rotazione dei generatori di 600 RPM alla quale corrisponde una potenza utile di $30.588 \times 2 = 61.176$ W, con un rendimento del 93% e la potenza assorbita risulta 65.781 W.

Assumendo un rendimento meccanico della turbina del 90%, la potenza a sua volta assorbita risulta 73.090 W.

Poiché il rapporto di trasmissione del moltiplicatore di giri è 1/8, ai 600 RPM del generatore corrispondono 75 RPM della turbina, pari a 1,25 RPS (Hz).

Il baricentro della paletta dista $r = 994$ mm dall'asse di rotazione, pertanto la sua velocità risulta:

$$v = 2 \pi r f = 2 \pi 0,994 * 1,25 = 7,807 \text{ m/s}$$

Velocità alla quale corrisponde anche quella della corrente idraulica attraverso la turbina.

Stante la sezione della vena (superficie della pala) = 4 m^2 , la portata della corrente risulta:

$$q = 7,807 * 4 = 31,23 \text{ m}^3/\text{s}$$

La massa corrispondente, ove la densità = 1.020 kg/m^3 , risulta 31.852 kg/s .

Stante la sezione della vena all'imbocco del convogliatore = $6,88 \text{ m}^2$, la velocità risulta ridotta a:

$$v' = v * \frac{4}{6,88} = 7,807 * \frac{4}{6,88} = 4,54 \text{ m/s}$$

Stante la medesima sezione allo sbocco del convogliatore a valle della turbina, la velocità è la medesima.

L'energia al secondo (vale a dire la potenza) della corrente a valle della turbina risulta:

$$W = \frac{M * (v')^2}{2} = \frac{31.852 * 4,54^2}{2} = 328.097 \text{ W}$$

La potenza complessiva della corrente a monte della turbina risulta dalla somma della potenza fornita alla turbina e quella della corrente a valle della stessa:

$$W_t = 73.090 + 328.097 = 401.186 \text{ W}$$

Tale potenza impressa alla massa d'acqua di cui sopra implica che questa abbia una velocità di:

$$v'' = \sqrt{\frac{2 W}{M}} = \sqrt{\frac{2 * 401.186}{31.852}} = 5,019 \text{ m/s}$$

L'altezza dell'onda in grado di generare una tale corrente risulta:

$$h = \frac{(v'')^2}{2 g} = \frac{5,019^2}{2 * 9,81} = 1,264 \text{ m}$$

Non è paradossale che la velocità della corrente prodotta dall'onda sia maggiore di quella all'imboccatura della turbina; essa è giustificata dal fatto che per cedere energia alla turbina la corrente deve necessariamente rallentare.

Ciò che produce davanti alla turbina un innalzamento del livello dell'acqua pari a:

$$\Delta h = \frac{5,019^2 - 4,539^2}{2 * 9,81} = 0,234 \text{ m}$$

Verosimilmente l'altezza dell'onda dovrebbe risultare maggiorata della stessa quantità; vale a dire:

$$h' = 1,264 + 0,234 = 1,498 \text{ m}$$

Per tale ragione il profilo longitudinale del convogliatore è rastremato con maggiore altezza vicino alla girante (Fig. 6) in modo anche da far riversare e laminare regolarmente la corrente marina.

Analisi dinamica della Turbina HTP002												
N. 2 Alternatori Alxion 400 STK 6M	Unità	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600
Velocità degli alternatori	Rpm	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600
Potenza elettrica corrispondente dichiarata dal costruttore ¹⁾	W	4.640	10.350	17.110	23.940	30.350	35.600	40.200	44.800	48.940	53.002	57.098
Numero delle paia di coppie polari	N°	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Rendimento dell'alternatore ²⁾	%	82,87	83,79	84,71	85,63	86,55	87,47	88,39	89,32	90,24	91,16	92,08
Rendimento meccanico della turbina	%	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Raggio giroscopico al baricentro della parte immersa della paletta	m	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994
Superficie della parte immersa della paletta	m ²	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
Sezione della corrente all'imbocco del convogliatore a monte ³⁾	m ²	6,88	6,88	6,88	6,88	6,88	6,88	6,88	6,88	6,88	6,88	6,88
Densità del fluido	kg/m ³	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020
Rapporto di trasmissione del moltiplicatore dei giri	N°	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Potenza trasmessa all'alternatore	W	5.599	12.352	20.198	27.957	35.065	40.698	45.478	50.159	54.235	58.143	62.010
Potenza trasmessa alla turbina	W	6.221	13.725	22.442	31.063	38.962	45.220	50.531	55.732	60.261	64.603	68.900
Velocità della turbina al baricentro della parte immersa della paletta	m/s	0,651	1,301	1,952	2,602	3,253	3,903	4,554	5,205	5,855	6,506	7,156
Velocità della corrente all'imbocco del convogliatore a monte ⁴⁾	m/s	0,37824	0,75648	1,13472	1,51296	1,8912	2,26944	2,64767	3,02591	3,40415	3,78239	4,16063
Portata massica della vena idraulica	kg/s	2.654	5.309	7.963	10.617	13.272	15.926	18.580	21.235	23.889	26.543	29.198
Potenza della corrente idraulica a valle della turbina	W	190	1.519	5.127	12.152	23.734	41.012	65.126	97.214	138.416	189.871	252.718
Potenza della corrente idraulica a monte della turbina	W	6.411	15.244	27.569	43.215	62.695	86.232	115.657	152.946	198.677	254.474	321.618
Velocità della corrente idraulica a monte della turbina	m/s	2,198	2,396	2,631	2,853	3,074	3,291	3,528	3,795	4,078	4,379	4,694
Altezza dell'onda	m	0,246	0,293	0,353	0,415	0,482	0,552	0,635	0,734	0,848	0,978	1,123
Sfruttamento dell'energia disponibile a monte della turbina	%	72,37	67,90	62,06	55,40	48,41	41,28	34,76	29,29	24,63	20,83	17,75
Frequenza elettrica generata	Hz	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120
Velocità degli alternatori a vuoto	Rpm											
Tensione elettrica degli alternatori a vuoto	V											

Note

¹⁾ Con fattore di potenza = 1.²⁾ Assunto come lineare fra 220 e 600 Rpm da dati del costruttore.³⁾ Come anche quella allo sbocco del convogliatore a valle.⁴⁾ Come anche quella allo sbocco del convogliatore a valle.

19/12/22

Si noti che lo *sfruttamento dell'energia idraulica disponibile* è maggiore per le velocità sopraflutto basse più probabili e durature per produrre corrente elettrica e ancor più per smorzare le correnti sottoflutto alle barriere e proteggere dall'erosione le coste.

L'alternatore tipo STK4006M consente in generale di sfruttare lo spettro dell'energia cinetica delle correnti marine attese, in collaborazione con il convogliatore.

Le grandezze dei moduli dipendono fortemente dalla scelta del litorale da proteggere, specie dalle velocità offshore/inshore e dalle profondità batimetriche; si possono inoltre basare sull'esperienza storica (Fig. 6b) delle grandi pale delle ruote dei mulini lungo i fiumi (ad esempio Vernavola Pavia), oltre naturalmente della moderna simulazione fluidodinamica.

Il rendimento dei generatori viene monitorato sul prototipo tramite *tele-wattmetri a mare* o con *wattmetri a terra* per misurare l'efficienza in kWh, validata ad esempio da RSE (Ricerca sul Sistema Energetico), ovvero ente ufficiale indipendente. Una *centralina a terra* registra periodicamente i dati anche, correntometrici, pressimetrici, estensimetrici, accelerometrici di monitoraggio. L'uso sistematico dei droni marini (Fig.2) di rilevare statisticamente le correnti sia entro l'intera area protetta dalla barriera sia all'esterno consentirà di validare l'efficienza della proposta antierosione.

7.1 – DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE GIRANTI

Se si assumono dapprima *le pale in alluminio saldato su 3 lati incastrati alle calotte di estremità e con rompitratta a metà*, per semplificare la lavorazione e per evitare effetti di cavitazione.

La lamiera investita dalla corrente è saldata su ambedue le facce e sottoposta a trazione, l'altra si può saldare solo sulla faccia esterna ma è sottoposta a compressione.

Dalla tabella dell'analisi dinamica si deduce che per sfruttare a pieno la potenza della turbina necessita un'altezza delle onde $h_{\max} = 2,4$ m ovvero rispetto all'altezza $h = 0,8 \div 1$ m più frequente di esercizio risulta lo storico *fattore di sicurezza deterministico 3 e altezze*, peraltro mitigate dalla particolare ubicazione delle giranti (Fig. 2a).

Si assume una pressione uniforme, dovuta al peso dell'acqua, sulle pale semisommerse corrispondente ad un'altezza $h = 2$ m, tale criterio è peraltro conservativo in quanto essendo 7 le pale almeno 2 si dividono la spinta, per cui:

$$p_{\max} = \rho gh = \gamma_w h_{\max} = 2 \text{ t/m}^2 = 0,2 \text{ kg/cm}^2 \approx 0,02 \text{ N/mm}^2 = 0,02 \text{ MPa}$$

Il momento di esercizio su ciascuna delle 7 pale semicircolari di raggio 1,6 m ed area $A = 4 \text{ m}^2$, si ipotizza pseudostaticamente quello con la girante bloccata per cui eccezionalmente:

$$M_{\text{ecc}} = p_{\max} A r_G = 2 \times 4 \times 0,994 = 7,952 \text{ tm} = 795.200 \text{ kgcm}$$

La tensione di esercizio a trazione su uno dei 2 piatti da $s = 5 \text{ mm}$ a sandwich a distanza $d = 10 \text{ cm}$ di attacco delle pale al mozzo (Fig. 7b) risulta:

$$\sigma = \frac{M}{bsd} = \frac{795.200}{400 \cdot 0,5 \cdot 10} = 398 \text{ kg/cm}^2 = 39,8 \text{ N/mm}^2 = 38,9 \text{ MPa}$$

ammissibile per l'anticorodal, anche considerando un drastico fattore di sicurezza deterministico 5 per tener conto della resistenza a fatica ciclica limite.

Analogamente il controllo della freccia elastica delle pale risulta ammissibile:

$$J = b[d^3 - (d - 2s)^3]/12 = b(6sd^2 - 8s^2d + 8s^3)/12 \approx bsd^2/2 = 400 \cdot 0,5 \cdot 10^2/2 = 10.000 \text{ cm}^4$$

$$\delta_{\max} = \frac{pl^4}{8EJ} < \frac{l}{500} \rightarrow \frac{0,2 \cdot 400 \cdot 99,4^4}{8 \cdot 7 \cdot 10^5 \cdot 10^4} = 0,14 \text{ cm} < \frac{100}{500} = 0,2 \text{ cm}$$

Le pale devono resistere a fatica per vita "infinita" (asintoto curve di Wöhler) e prevenire fenomeni d'instabilità critica e vibrazioni anomale causate da turbolenza delle correnti marine, per cui sono rinforzate da rompitratta a metà e vanno comunque monitorate con fibre ottiche, specie per valutare i tempi di manutenzione. Si prevede d'insufflare all'interno delle lamiere la schiuma poliuretanica antiallagamento, lo spessore di 5 mm serve anche per evitare lo spanciamento durante il pompaggio della schiuma molto espandente, sono previsti peraltro fori di sfiato.

La tensione massima, agente sulle pale, sarà controllata con le fibre ottiche.

L'uso invece della glebanite di più bassa resistenza, comporta spessori delle pale più grandi dell'alluminio, per cui l'alleggerimento è esiguo e la convenienza sta nel costo del fibrorinforzo che peraltro interagisce con l'impiego delle stampanti 3D.

Se usa la glebanite non rinforzata adatta alle stampanti 3D con resistenza alla flessione 20,7 Mpa, il dimensionamento equivalente corrisponde ad uno spessore $d = 15 \text{ cm}$ pieno per ciascuna pala a mensola semicircolare, sollecitata con il predetto momento con un fattore di sicurezza deterministico $\eta = 4$ secondo gli storici criteri che confortano i moderni criteri semiprobabilistici (NTC2018 § 10.2):

$$\sigma = \frac{6M}{bd^2} = \frac{6 \cdot 795.200}{400 \cdot 15^2} = 53 \text{ kg/cm}^2 = 5,3 \text{ N/mm}^2 = 5,3 \text{ MPa}$$

$$\delta_{\max} = \frac{pl^4}{8EJ} < \frac{l}{500} \rightarrow \frac{0,2 \cdot 99,4^4 \cdot 12}{8 \cdot 1 \cdot 10^5 \cdot 15^3} \approx 0,1 \text{ cm} < \frac{100}{500} = 0,2 \text{ cm}$$

Il modulo elastico ($10.000 \text{ Mpa} = 1.00.000 \text{ kg/cm}^2$) è circa 7 volte minore di quello dell'alluminio.

Si deve rinforzare la glebanite con le fibre al carbonio o equivalenti per accrescerne la resistenza ciclica (chiedere le curve di Wöhler) e pertanto incrementare la durata di vita resiliente.

7.2 DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE CONVOGLIATORE E MONOPALO

La verifica approssimata della *stabilità alle correnti trasversali*, tipo litoranee, si basa sulla reazione di un ostacolo fisso alla corrente di un fluido in movimento vale:

$$S = C_d p A$$

Dove C_d = coefficiente di resistenza dipendente dalla forma e dall'orientamento dell'ostacolo rispetto alla corrente.

p = pressione

A = area proiettata dell'ostacolo perpendicolare alla corrente.

L'ostacolo in questione è un semi-cilindro lungo per il quale, pur non disponendo di un C_d ben definito, ritengo possa essere, con buona approssimazione, ritenuto 0,35. Quanto sopra tenuto conto che per una sfera si considera pari a 0,47, cosa che farebbe presumere che per una semi-sfera possa essere la metà. Ora, poiché

$$p = \rho \frac{v^2}{2} = \rho gh; \quad ; S = C_d \rho \frac{v^2}{2} A$$

Inserendo

$$C_d = 0,35$$

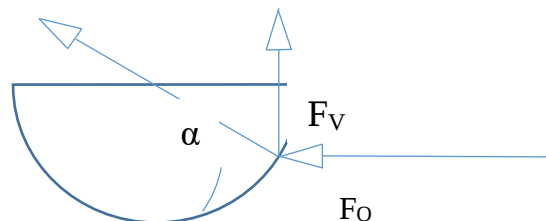
$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$v = 4 \text{ m/s (v. tabella analisi dinamica)}$$

$$A = 2,4 \times 8 = 22,4 \text{ m}^2 \text{ (convogliatore e monopalo spinta dalla corrente superficiale Fig. 2d)}$$

$$F_o = 0,35 * 1020 * 4^2 \frac{22,4}{2} = 63.974 \text{ N} = 6,4 \text{ t} = 64 \text{ kN}$$

Questa forza rappresenta la reazione orizzontale F_o applicata alla parte del convogliatore direttamente investito dalla corrente, alla profondità di 1,2 m (a metà della parte immersa). In virtù della sezione semicircolare, agisce da cuneo generando una forza verticale F_v (portanza) che, sommandosi alla spinta idrostatica, aumenta la tensione della catena.



poiché $\alpha = 30^\circ$:

$$F_v = F_o \tan 30^\circ = 63.974 * 0,577 = 36913 \text{ N} = 3,7 \text{ t} = 37 \text{ kN}$$

assorbita a trazione dal palo di fondazione: $\sigma_{tr} = 3700 / 1276 \approx 3 \text{ kg/cm}^2 = 0,3 \text{ MPa}$

La spinta $S > F_o$ trasversale al convogliatore risulta più severa con l'ipotesi pseudostatica, specie rispetto agli angoli di traversia più intensi e da correnti litoranee.

Le spinte idrodinamiche sul convogliatore con $H = 1,2 \text{ m}$ e $L = 8,0 \text{ m}$, si assume con distribuzione parabolica con valore massimo di *pressione laterale* $p_{\max} = 2 \text{ t/m}^2$, la pressione che sarà validata in situ sperimentalmente tramite 4 celle di pressione e anche con il riscontro delle sollecitazioni tramite 8 estensimetri sul mono-palo.

$$S \cong \frac{2}{3} p_{\max} DL = 1,3 \cdot 9,6 \approx 12 \text{ t} = 120 \text{ kN} > 64 \text{ kN}$$

Analogamente la spinta idrodinamica su mono-palo $\phi 2500$ (fig. 7b) con velocità minori delle precedenti fino ad invertirsi sul fondale possono essere dello stesso ordine di grandezza di F_0 .

Spinta di onde o di urti accidentali di barche, peraltro su paraurti, dell'ordine $S = 7 \text{ t}$ corrispondenti a forti pressioni delle correnti sull'altezza del palo di 70 kN/m^2 (doppie di quelle usuali sui pontili vicino alle spiagge) per cui all'incastro $8 + D = 10 \text{ m}$ (2 m di fondale non reagente o eroso) risulta.

$$\text{Momento } M_{\text{rib}} = 7,0 \cdot 10,0 \cdot 2 \cdot 2,54/3 = 117 \text{ tm} = 1170 \text{ 840 kNm}$$

$$\text{Mono-palo } d_{\text{est}} = 2540 \text{ mm; spessore } s = 10 \text{ mm; } d_{\text{int}} = 2508 \text{ mm}$$

$$\text{Momento d'inerzia } J = \frac{\pi}{64} (d_{\text{est}}^4 - d_{\text{int}}^4) = 3,14 (2,54^4 - 2,52^4) / 64 = 0,0634 \text{ m}^4$$

$$7.2.1 \text{ Tensione di esercizio del tubo a fatica } 50\% \text{ di } 2400 \text{ kg/cm}^2 = 240 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = M/W = M_r/J = 117 \cdot 1,27/0,0634 = 2343 \text{ t/m}^2 = \mathbf{243 \text{ kg/cm}^2} < 1200 \text{ kg/cm}^2 = 120 \text{ Mpa}$$

Verifica a taglio

$$\tau_{\max} = 2T/A = 2T/2\pi rs = 10.000/3,14 \cdot 125 \cdot 1,0 = \mathbf{25 \text{ kg/cm}^2} < 1200/\sqrt{3} = 693 \text{ kg/cm}^2$$

Verifica a torsione

Momento torcente d'imbardata del tubo del monopalo per spinta su metà convogliatore:

$$M_{\text{tor}} = 6 \cdot 2,0 = 12 \text{ tm} = 120 \text{ kNm}$$

$$\tau_{\max} = 16 M_{\text{tor}} / \pi (D_{\text{est}}^3 - D_{\text{int}}^3) = \mathbf{10 \text{ kg/cm}^2} = 1 \text{ N/mm}^2 = 1 \text{ MPa}$$

Tensioni che soddisfano le combinazioni secondo quelle ideali dei tradizionali di sicurezza e rinviate a moderni calcoli agli elementi finiti, anche dinamici, da effettuare per il sito reale

7.2.2 Controllo della rotazione flessionale del mono-palo $\phi 2540$

$$\text{Modulo elastico acciaio } E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2 = 210.000 \text{ MPa}$$

Rigidità flessionale mono-palo acciaio

$$k = EJ/h = 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,0634 / 10 = 13,5 \cdot 10^8 \text{ Nm}$$

Rotazione

$$\theta = M/k = 1,17 \cdot 10^5 / 13,5 \cdot 10^8 = 1/867$$

Spostamento in sommità θ h = 11 mm per h = 10 m

7.2.3 Periodo proprio modulo convogliatore-girante-monopalo equivalente oscillatore semplice

Massa convogliatore- girante = 12.000 kg = 120 kN

Peso tubo lungo 15 m = 995,8 kg/m · 15,0 = 14,937 t

Rigidezza a taglio mono-palo acciaio incastrato ad h = 10,0 m

$$k = 3EJ/h^3 = 3 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,101 / 10^3 = 63,63 \cdot 10^6 \text{ N/m} = 63,63 \cdot 10^6 \text{ kg/s}^2$$

$$\text{Periodo proprio } T_n = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 6,26 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{12.000}{63,63}} = 0,086 \text{ s} ; f_n = 11,6 \text{ Hz}$$

Periodo del mar Tirreno $T_{ecc} = 3\text{s} \gg T_n$ ovvero $f_{ecc} = 0,3 \text{ Hz} < f_n$

Fattore di sicurezza $\eta = f_n/f_{ecc} = 11,6/0,3 = 38$ peraltro le correnti non pulsano come le onde

Fattore di sicurezza per sfuggire anche alla risonanza sismica $f_{ecc} \div 1 \text{ Hz}$ essendo $\eta \div 10$

7.2.4 Grado d'incastro del palo nel caso di fondale sabbioso sciolto

Si approssima il calcolo ad un modello ibrido fra pozzo e paratia con $t = 5D = 12 \text{ m}$

$$G = G_{palo} + G_{sabbia} = 20 + 0,8 \cdot 5 \cdot 12 = 68 \text{ t} = 520 \text{ kN} \quad (\gamma' = 0,8 \text{ t/m}^2 ; A = 5 \text{ m}^2 ; L_{int} = 12 \text{ m})$$

$$M_{stab} = 68 \times 1,27 + 2 \cdot 2,54/3 \cdot 3,5 \cdot 0,8 \cdot 6^3/6 = 254 \text{ tm} = 2540 \text{ kNm} \quad (K_p = 3,5)$$

Fattore di sicurezza $\eta = M_{stab}/M_{rib} = 254/117 = 2 > 1,5$ ammesso

Lunghezza dei monopali $6 + 10 = 16 \text{ m}$ a seconda del rendimento della vibroflottazione o naturalmente di migliore resistenza del fondale.

Lo studio sperimentale può essere gradualmente articolato in rilievo della geomorfologia marina, la raccolta dei dati sulle correnti marine, la simulazione fluidodinamica (CFD), le indagini geotecniche e il monitoraggio su un gruppo di prototipi di turbine in dimensioni reali.

Il dimensionamento sarà tarato sui dati sperimentali rilevati a mare e basato naturalmente sui programmi di calcolo strutturale agli elementi finiti fluidodinamici.

Si ribadisce che è molto importante studiare anzitutto l'evoluzione dinamica storica della costa attraverso la cartografia comparativa e le indagini satellitari attuali (ISMAR-CNR, Sentinel ESA).

La ricerca è focalizzata (Fig. 7) sull'estensione, la forma e il numero delle pale della girante, e specie l'interasse delle turbine in barriera da tarare in funzione dello smorzamento necessario per ridurre l'erosione in eccesso, in funzione delle correnti marine e dei fondali selezionati caso per caso, mantenendo invece l'erosione stagionale naturale estate/inverno.

7.3 DIMENSIONAMENTO CAMPANA

Si riporta l'analisi idrostatica archimedeica della campana in base al computo metrico di tutti i pesi che le gravitano sopra. La campana è ipotizzata in glebanite più conveniente dell'acciaio del quale si riportano comunque i risultati per renderle flottante.

ANALISI IDROSTATICA CAMPANA IN GLEBANITE

DENOMINAZIONE	Q.tà	VOLUME m ³	MATERIAL E	DENSITA' kg/m ³	MASSA kg	VOL. IMMERSO dm ³
Scatola lanterna	1	0,001768	Acciaio Inox	8060	14,250	0,000
Flangia esterna	1	0,000613 8	Acciaio Inox	8060	4,947	0,000
Cupola trasparente	1	0,000327 7	Lexan	1200	0,393	0,000
Controflangia	1	0,000216 761	Acciaio Inox	8060	1,747	0,000
Fondello lanterna	1	0,000510 2	Acciaio Inox	8060	4,112	0,000
Flangia interna	1	0,000087 57	Acciaio Inox	8060	0,706	0,000
Circlip	1	0,000025 65	Acciaio Inox	8060	0,207	0,000
Vite a testa esagonale M10x35	6	4,3166E- 06	Acciaio Inox	8060	0,209	0,000
Vite a testa esagonale M6x16	6	7,685E-07	Acciaio Inox	8060	0,037	0,000
Vite a brugola M5x16	12	5,521E-07	Acciaio Inox	8060	0,053	0,000
Elettronica, batterie e parti metalliche	1		Vario	Stima	3,500	0,000
Staffa di sollevamento	2	1,915E-02	Acciaio Inox	8060	308,746	0,000
Calotta di copertura	1	7,133E-01	Glebanite	1190	848,872	0,000
Anello porta lanterna	1	1,019E-03	Acciaio Inox	8060	8,213	0,000
Rosetta 10,5x21x2	6	6,615E-07	Acciaio Inox	8060	0,032	0,000
Vite a brugola M10x40	6	4,67E-06	Acciaio Inox	8060	0,226	0,000
Profilato a C	2	3,460E-03	Acciaio	7850	54,322	0,000
Viti a testa esagonale M24x40	8	3,460E-05	Acciaio	7850	2,173	0,000
Manicotto	4	1,125E-03	Acciaio Inox	8060	36,270	0,000
Asta filettata lunga	4	4,383E-03	Acciaio Inox	8060	141,308	4,712
Asta filettata corta	4	2,944E-03	Acciaio Inox	8060	94,915	4,712

Dado M56	28	1,940E-04	Acciaio Inox	8060	43,782	0,000
Dado cieco M56	8	3,100E-04	Acciaio Inox	8060	19,989	0,000
Rosetta 57x112x10	8	7,300E-05	Acciaio Inox	8060	4,707	0,000
Sella	2	1,115E-02	Acciaio Inox	8060	179,738	70,152
Girante lavorata da 3D	1	2,738E+0 0	Glebanite	1190	3.258,22 0	1.140,377
Perno	2	1,487E-02	Acciaio Inox	8060	239,704	0,297
Inserto Helicoil	14		Acciaio Inox	Stima	0,850	0,000
Vite a brugola M20x50	14	2,629E-05	Acciaio Inox	8060	2,966	0,000
Cuscinetto a rulli	2			Documentat o	260,000	0,000
Carcassa	2	2,611E-02	Acciaio	7850	409,990	19,586
Fondo	2	2,249E-02	Acciaio	7850	353,109	1,785
Flangia	2	1,949E-03	Acciaio Inox	8060	31,418	0,658
Vite a brugola M16x35	12	1,245E-05	Acciaio Inox	8060	1,204	0,037
Tenuta dinamica rotante 560x610x25	4			Stima	2,600	0,000
Chiusura esterna	2	3,718E-03	Acciaio Inox	8060	59,934	0,000
Chiusura interna	2	3,474E-03	Alluminio	2700	18,760	0,000
Vite a brugola M12x35	16	6,351E-06	Acciaio Inox	8060	0,819	0,000
Disco conico	2	6,124E-03	Acciaio	7850	96,153	0,000
Vite spina	24	1,252E-05	Acciaio	7850	2,358	0,000
Rosetta elastica 16,2x27,4x3,5	24	1,333E-06	Acciaio	7850	0,251	0,000
Vite a brugola M12x35	32	6,351E-06	Acciaio	7850	1,595	0,000
Ruota corona	2	3,852E-03	Acciaio	7850	60,476	0,000
Vite a testa esagonale M20x50	24	2,527E-05	Acciaio	7850	4,761	0,064
Tappo	6	5,585E-05	Acciaio Inox	8060	2,701	0,147
Perno prigioniero	12	3,182E-04	Acciaio	7850	29,974	0,000
Boccola	12	1,010E-04	Acciaio	7850	9,514	0,000
Boccola autolubrificata	6	9,383E-05	Bronzo sint.	7500	4,222	0,000
Ruota satellite	6	1,652E-03	Acciaio	7850	77,831	0,000
Giogo	2	2,656E-03	Acciaio	7850	41,694	0,000
Supporto	2	8,239E-03	Ergal	2700	44,491	0,000
Rondella 31x56x4	12	1,71E-06	Acciaio	7850	0,161	0,000
Dado M30	12	3,085E-05	Acciaio	7850	2,906	0,000
Involucro alternatore	2	8,865E-03	Ergal	2700	47,869	0,000

Ventura, Palmarocchi, Domeniconi: Energy Reef

Vite a brugola M12x30	24	5,785E-06	Acciaio	7850	1,090	0,000
Vite a brugola M8x25	24	2,159E-06	Acciaio	7850	0,407	0,000
Mozzo fisso	2	5,198E-03	Ergal	2700	28,069	0,000
Kit alternatore	2			Documentat o	170,400	0,000
Conduttori relativi	2			Stima	10,000	0,000
Vite a brugola M6x25	48	1,093E-06	Acciaio	7850	0,412	0,000
Chiusura posteriore	2	2,471E-03	Ergal	2700	13,343	0,000
Mozzo rotante anteriore	2	4,547E-03	Ergal	2700	24,552	0,000
Vite a brugola M6x25	48	1,093E-06	Acciaio	7850	0,412	0,000
Spessore di regolazione	2	1,200E-04	Acciaio	7850	1,884	0,000
Cuscinetto a sfere obliquo grande	2	1,597E-03	Acciaio Inox	8060	25,744	0,000
Cuscinetto a sfere obliquo piccolo	2	1,158E-03	Acciaio Inox	8060	18,662	0,000
Cuscinetto a sfere grande	2	3,651E-04	Acciaio Inox	8060	5,885	0,000
Cuscinetto a sfere piccolo	2	1,337E-04	Acciaio Inox	8060	2,156	0,000
Mozzo rotante posteriore	2	1,338E-03	Ergal	2700	7,223	0,000
Fondello posteriore	2	4,644E-03	Lega d'allum.	2700	25,079	0,000
Vite a brugola M8x20	24	1,908E-06	Acciaio	7850	0,359	0,000
Asta filettata M10	6	1,606E-05	Acciaio	7850	0,756	0,000
Disco di ancoraggio conduttori	2	6,501E-05	Lega d'allum.	2700	0,351	0,000
Dado M10	18	1,330E-06	Acciaio	7850	0,188	0,000
Molla a tazza	2	1,135E-05	Acciaio	7850	0,178	0,000
Ghiera	2	2,123E-04	Acciaio	7850	3,333	0,000
Semigiunto posteriore	2	6,000E-04	Lega d'allum.	2700	3,240	0,000
Elemento elastico	2	1,754E-04	Gomma	1300	0,456	0,000
Semigiunto anteriore	2	3,944E-04	Acciaio	7850	6,192	0,000
Chiavetta esterna	6	5,028E-06	Acciaio	7850	0,237	0,000
Chiavetta interna	6	4,629E-06	Acciaio	7850	0,218	0,000
Ruota dentata solare	2	5,633E-04	Acciaio	7850	8,843	0,000
Boccola PRM 50 55 30	2	1,237E-05	Bronzo	8700	0,215	0,000
Molla	2	1,410E-05	Acciaio	7850	0,221	0,000
Guidamolla	2	1,350E-05	Acciaio	7850	0,212	0,000
Circlip	2	7,700E-07	Acciaio	7850	0,012	0,000
Disco di ritegno	2	6,148E-05	Acciaio	7850	0,965	0,000
Seeger A65 Inox DIN471	2	3,570E-06	Acciaio	7850	0,056	0,000
Vite a brugola M6x20	12	9,510E-07	Acciaio	7850	0,090	0,000
Fondello anteriore	2	2,072E-04	Acciaio	7850	3,253	0,000
Condotto centrale 26x2	2	2,794E-04	Acciaio Inox	8060	4,504	0,000

Bocca	2	6,243E-04	Acciaio Inox	8060	10,064	0,000
Vite a testa esagonale M10x30	12	3,929E-06	Acciaio Inox	8060	0,380	0,000
Rondella 11x22x3	12	8,550E-07	Acciaio Inox	8060	0,083	0,000
Premistoppa	2	2,860E-04	Acciaio Inox	8060	4,610	0,000
Guarnizione piana	2	6,450E-05	Gomma	1300	0,168	0,000
Vite a testa esagonale M8x25	12	2,016E-06	Acciaio Inox	8060	0,195	0,000
Dado M8	12	7,180E-07	Acciaio Inox	8060	0,069	0,000
Condotto cavi anteriore	2	1,310E-03	Acciaio Inox	8060	21,117	0,000
Scatola	2	7,510E-04	Acciaio Inox	8060	12,106	0,000
Staffa superiore	2	4,720E-04	Acciaio Inox	8060	7,609	0,000
Vite a testa esagonale M12x30	8	5,450E-06	Acciaio Inox	8060	0,351	0,000
Vite a brugola M12x30	12	5,780E-06	Acciaio Inox	8060	0,559	0,000
Coperchio	2	7,120E-04	Acciaio Inox	8060	11,477	0,000
Vite a testa esagonale M12x30	12	5,457E-06	Acciaio Inox	8060	0,528	0,000
Piastrina isolante	2	2,534E-05	PTFE	2200	0,111	0,000
Morsettiera grande	2			Stima	0,800	0,000
Vite a brugola M5x20	4	6,300E-07	Acciaio Inox	8060	0,020	0,000
Morsettiera piccola	2			Stima	0,350	0,000
Vite a brugola M4x16	4	3,321E-07	Acciaio Inox	8060	0,011	0,000
Vite M6x10	4	6,000E-07	Acciaio Inox	8060	0,019	0,000
Staffa inferiore	2	4,730E-04	Acciaio Inox	8060	7,625	0,000
Vite a testa esagonale M12x30	8	5,450E-06	Acciaio Inox	8060	0,351	0,000
Fondello serracavo	2	1,470E-05	Acciaio Inox	8060	0,237	0,000
Flangia serracavo	2	1,260E-04	Acciaio Inox	8060	2,031	0,014
Vite a brugola M8x25	12	2,159E-06	Acciaio Inox	8060	0,209	0,000
Ghiera spander	2	2,870E-05	Acciaio Inox	8060	0,463	0,000
Anello spander	2	5,490E-06	Peek	1320	0,014	0,000
Condotto corrugato	2	6,100E-04	Acciaio Inox	8060	9,833	0,662

Cavo elettrico Dia 32 mm x 13 m	2	1,045E-02	Stima	7000	146,300	8,042
Culla supporto gruppo elettromecc.	2	4,962E-02	Glebanite	1190	118,096	70,150
Longherone laterale	2	3,912E-01	Glebanite	1190	931,056	782,400
Culla sottogirante	1	7,497E-01	Glebanite	1190	892,192	749,741
Convogliatore	2	8,310E-01	Glebanite	1190	1.977,780	1.560,250
Chiglia	1	2,374E-01	Glebanite	1190	282,506	237,400
Ordinata centrale	1	2,740E-01	Glebanite	1190	326,060	274,000
Ordinate anteriore e posteriore	2	2,968E-01	Glebanite	1190	706,384	593,600
Semiculle sottostruttura	2	2,162E-01	Glebanite	1190	514,556	432,400
Fazzoletto	4	1,658E-02	Glebanite	1190	78,921	31,850
Tubo imbocco cavo	2	1,590E-03	Acciaio Inox	8060	25,631	6,360
Staffa fissaggio tubo	2	1,340E-04	Acciaio Inox	8060	2,160	0,268
Vite a testa esagonale M30 x 2 x 140	2	1,347E-04	Acciaio Inox	8060	2,171	0,269
Dado a intagli basso M30 x 2	2	1,866E-05	Acciaio Inox	8060	0,301	0,037
Copiglia 6,3x80	2	3,400E-06	Acciaio Inox	8060	0,055	0,007
Barra tonda D150x1850	2	3,153E-02	Acciaio Inox	8060	508,264	69,060
Boccola	8	4,533E-04	Acciaio Inox	8060	29,230	3,627
Perno	4	1,980E-03	Acciaio Inox	8060	63,835	7,640
Dado a intagli M80 speciale	4	4,160E-04	Acciaio Inox	8060	13,412	1,664
Copiglia 10x160	4	1,300E-05	Acciaio Inox	8060	0,419	0,052
Forcella	4	4,692E-03	Acciaio Inox	8060	151,270	18,768
Asta filettata D S	4	3,816E-03	Acciaio Inox	8060	123,028	15,264
Dadi M64	4	3,070E-04	Acciaio Inox	8060	9,898	1,228
Spinotto	4	2,367E-03	Acciaio Inox	8060	76,312	9,468
Staffa	4	3,910E-03	Acciaio	7850	122,774	15,640
Raccordo	1	8,300E-05	Acciaio	7850	0,652	0,083
Semiculla	2	7,277E-02	Acciaio	7850	1.142,489	145,540
Semicuscino	2	6,704E-02	Gomma 90 Sh	1450	194,402	134,080
Semitubo 609,6x8 mm x2,5 m	1	1,850E-02	Acciaio	7850	145,225	18,500
Ballatoio	1	7,673E-02	Acciaio	7850	602,331	76,370
Sottoballatoio	1	3,278E-02	Acciaio	7850	257,323	32,780

Cilindro campana 2438,4x16 mm x 7,307 m	1	7,569E-01	Acciaio	7850	5.941,665	756,900
Stelo controllo pressione	1	3,27E-04	Acciaio Inox	8060	2,636	0,401
Valvola MS28889-2	1	7,20E-06	Acciaio Inox	8060	0,058	0,000
Cappuccio con rivetto e linguetta	1	6,10E-05	Acciaio Inox	8060	0,492	0,129
Flangia	1	4,05E-05	Acciaio Inox	8060	0,326	0,041
Circlip	1	6,00E-07	Acciaio Inox	8060	0,005	0,001
Vite a testa esagonale M12x120	6	1,10E-05	Acciaio Inox	8060	0,532	0,066
Valvola a sfera PH KH-G-3/4"	1		Acciaio Inox	Stima	0,320	0,107
Tubo flessibile MF G3/4"x 2,4 m	1		Vario	Stima	1,700	1,905
Seeger J220 Inox DIN472	2	5,13E-05	Acciaio Inox	8060	0,826	0,013
Tenute elastomeriche O-Rings	1	8,350E-02	Gomma	1300	108,550	0,000
Saldature	1	2,300E-02	Acciaio	7850	180,550	23,000
Colle e sigillature	1	4,800E-02		1250	60,000	38,400
Vernice	1	1,530E-01		1300	198,900	153,000
Lubrificanti	1	4,700E-02		850	39,950	0,000
				Totale	23.282,115	7.513,702

ANALISI IDROSTATICA CAMPANA IN GLEBANITE

Q.tà	VOLUME m ³	MATERIALE	DENSITA' kg/m ³	MASSA kg	VOL. IMMERSO dm ³
1	0,001768	Acciaio Inox	8060	14,250	0,000
1	0,0006138	Acciaio Inox	8060	4,947	0,000
1	0,0003277	Lexan	1200	0,393	0,000
1	0,000216761	Acciaio Inox	8060	1,747	0,000
1	0,0005102	Acciaio Inox	8060	4,112	0,000
1	0,00008757	Acciaio Inox	8060	0,706	0,000
1	0,00002565	Acciaio Inox	8060	0,207	0,000
6	4,3166E-06	Acciaio Inox	8060	0,209	0,000
6	7,685E-07	Acciaio Inox	8060	0,037	0,000
12	5,521E-07	Acciaio Inox	8060	0,053	0,000
1		Vario	Stima	3,500	0,000
2	1,915E-02	Acciaio Inox	8060	308,746	0,000
1	7,133E-01	Glebanite	1190	848,872	0,000
1	1,019E-03	Acciaio Inox	8060	8,213	0,000
6	6,615E-07	Acciaio Inox	8060	0,032	0,000
6	4,67E-06	Acciaio Inox	8060	0,226	0,000

Ventura, Palmarocchi, Domeniconi: Energy Reef

2	3,460E-03	Acciaio	7850	54,322	0,000
8	3,460E-05	Acciaio	7850	2,173	0,000
4	1,125E-03	Acciaio Inox	8060	36,270	0,000
4	4,383E-03	Acciaio Inox	8060	141,308	4,712
4	2,944E-03	Acciaio Inox	8060	94,915	4,712
28	1,940E-04	Acciaio Inox	8060	43,782	0,000
8	3,100E-04	Acciaio Inox	8060	19,989	0,000
8	7,300E-05	Acciaio Inox	8060	4,707	0,000
2	1,115E-02	Acciaio Inox	8060	179,738	70,152
1	2,738E+00	Glebanite	1190	3.258,220	1.140,377
2	1,487E-02	Acciaio Inox	8060	239,704	0,297
14		Acciaio Inox	Stima	0,850	0,000
14	2,629E-05	Acciaio Inox	8060	2,966	0,000
2			Documentato	260,000	0,000
2	2,611E-02	Acciaio	7850	409,990	19,586
2	2,249E-02	Acciaio	7850	353,109	1,785
2	1,949E-03	Acciaio Inox	8060	31,418	0,658
12	1,245E-05	Acciaio Inox	8060	1,204	0,037
4			Stima	2,600	0,000
2	3,718E-03	Acciaio Inox	8060	59,934	0,000
2	3,474E-03	Alluminio	2700	18,760	0,000
16	6,351E-06	Acciaio Inox	8060	0,819	0,000
2	6,124E-03	Acciaio	7850	96,153	0,000
24	1,252E-05	Acciaio	7850	2,358	0,000
24	1,333E-06	Acciaio	7850	0,251	0,000
32	6,351E-06	Acciaio	7850	1,595	0,000
2	3,852E-03	Acciaio	7850	60,476	0,000
24	2,527E-05	Acciaio	7850	4,761	0,064
6	5,585E-05	Acciaio Inox	8060	2,701	0,147
12	3,182E-04	Acciaio	7850	29,974	0,000
12	1,010E-04	Acciaio	7850	9,514	0,000
6	9,383E-05	Bronzo sint.	7500	4,222	0,000
6	1,652E-03	Acciaio	7850	77,831	0,000
2	2,656E-03	Acciaio	7850	41,694	0,000
2	8,239E-03	Ergal	2700	44,491	0,000
12	1,71E-06	Acciaio	7850	0,161	0,000
12	3,085E-05	Acciaio	7850	2,906	0,000
2	8,865E-03	Ergal	2700	47,869	0,000
24	5,785E-06	Acciaio	7850	1,090	0,000
24	2,159E-06	Acciaio	7850	0,407	0,000
2	5,198E-03	Ergal	2700	28,069	0,000
2			Documentato	170,400	0,000
2			Stima	10,000	0,000
48	1,093E-06	Acciaio	7850	0,412	0,000
2	2,471E-03	Ergal	2700	13,343	0,000
2	4,547E-03	Ergal	2700	24,552	0,000

Ventura, Palmarocchi, Domeniconi: Energy Reef

48	1,093E-06	Acciaio	7850	0,412	0,000
2	1,200E-04	Acciaio	7850	1,884	0,000
2	1,597E-03	Acciaio Inox	8060	25,744	0,000
2	1,158E-03	Acciaio Inox	8060	18,662	0,000
2	3,651E-04	Acciaio Inox	8060	5,885	0,000
2	1,337E-04	Acciaio Inox	8060	2,156	0,000
2	1,338E-03	Ergal	2700	7,223	0,000
2	4,644E-03	Lega d'allum.	2700	25,079	0,000
24	1,908E-06	Acciaio	7850	0,359	0,000
6	1,606E-05	Acciaio	7850	0,756	0,000
2	6,501E-05	Lega d'allum.	2700	0,351	0,000
18	1,330E-06	Acciaio	7850	0,188	0,000
2	1,135E-05	Acciaio	7850	0,178	0,000
2	2,123E-04	Acciaio	7850	3,333	0,000
2	6,000E-04	Lega d'allum.	2700	3,240	0,000
2	1,754E-04	Gomma	1300	0,456	0,000
2	3,944E-04	Acciaio	7850	6,192	0,000
6	5,028E-06	Acciaio	7850	0,237	0,000
6	4,629E-06	Acciaio	7850	0,218	0,000
2	5,633E-04	Acciaio	7850	8,843	0,000
2	1,237E-05	Bronzo	8700	0,215	0,000
2	1,410E-05	Acciaio	7850	0,221	0,000
2	1,350E-05	Acciaio	7850	0,212	0,000
2	7,700E-07	Acciaio	7850	0,012	0,000
2	6,148E-05	Acciaio	7850	0,965	0,000
2	3,570E-06	Acciaio	7850	0,056	0,000
12	9,510E-07	Acciaio	7850	0,090	0,000
2	2,072E-04	Acciaio	7850	3,253	0,000
2	2,794E-04	Acciaio Inox	8060	4,504	0,000
2	6,243E-04	Acciaio Inox	8060	10,064	0,000
12	3,929E-06	Acciaio Inox	8060	0,380	0,000
12	8,550E-07	Acciaio Inox	8060	0,083	0,000
2	2,860E-04	Acciaio Inox	8060	4,610	0,000
2	6,450E-05	Gomma	1300	0,168	0,000
12	2,016E-06	Acciaio Inox	8060	0,195	0,000
12	7,180E-07	Acciaio Inox	8060	0,069	0,000
2	1,310E-03	Acciaio Inox	8060	21,117	0,000
2	7,510E-04	Acciaio Inox	8060	12,106	0,000
2	4,720E-04	Acciaio Inox	8060	7,609	0,000
8	5,450E-06	Acciaio Inox	8060	0,351	0,000
12	5,780E-06	Acciaio Inox	8060	0,559	0,000
2	7,120E-04	Acciaio Inox	8060	11,477	0,000
12	5,457E-06	Acciaio Inox	8060	0,528	0,000
2	2,534E-05	PTFE	2200	0,111	0,000
2			Stima	0,800	0,000
4	6,300E-07	Acciaio Inox	8060	0,020	0,000

Ventura, Palmarocchi, Domeniconi: Energy Reef

2			Stima	0,350	0,000
4	3,321E-07	Acciaio Inox	8060	0,011	0,000
4	6,000E-07	Acciaio Inox	8060	0,019	0,000
2	4,730E-04	Acciaio Inox	8060	7,625	0,000
8	5,450E-06	Acciaio Inox	8060	0,351	0,000
2	1,470E-05	Acciaio Inox	8060	0,237	0,000
2	1,260E-04	Acciaio Inox	8060	2,031	0,014
12	2,159E-06	Acciaio Inox	8060	0,209	0,000
2	2,870E-05	Acciaio Inox	8060	0,463	0,000
2	5,490E-06	Peek	1320	0,014	0,000
2	6,100E-04	Acciaio Inox	8060	9,833	0,662
2	1,045E-02	Stima	7000	146,300	8,042
2	4,962E-02	Glebanite	1190	118,096	70,150
2	3,912E-01	Glebanite	1190	931,056	782,400
1	7,497E-01	Glebanite	1190	892,192	749,741
2	8,310E-01	Glebanite	1190	1.977,780	1.560,250
1	3,242E-01	Glebanite	1190	385,798	237,400
1	2,740E-01	Glebanite	1190	326,060	274,000
2	2,968E-01	Glebanite	1190	706,384	593,600
2	2,162E-01	Glebanite	1190	514,556	432,400
4	1,658E-02	Glebanite	1190	78,921	31,850
2	1,590E-03	Acciaio Inox	8060	25,631	6,360
2	1,340E-04	Acciaio Inox	8060	2,160	0,268
2	1,347E-04	Acciaio Inox	8060	2,171	0,269
2	1,866E-05	Acciaio Inox	8060	0,301	0,037
2	3,400E-06	Acciaio Inox	8060	0,055	0,007
2	3,153E-02	Acciaio Inox	8060	508,264	69,060
8	4,533E-04	Acciaio Inox	8060	29,230	3,627
4	1,980E-03	Acciaio Inox	8060	63,835	7,640
4	4,160E-04	Acciaio Inox	8060	13,412	1,664
4	1,300E-05	Acciaio Inox	8060	0,419	0,052
4	4,692E-03	Acciaio Inox	8060	151,270	18,768
4	3,816E-03	Acciaio Inox	8060	123,028	15,264
4	3,070E-04	Acciaio Inox	8060	9,898	1,228
4	2,367E-03	Acciaio Inox	8060	76,312	9,468
4	1,376E-03	Acciaio	7850	43,206	5,060
1	8,300E-05	Acciaio	7850	0,652	506,000
2	4,559E-02	Acciaio	7850	715,763	91,187
2	6,704E-02	Gomma 90 Sh	1450	194,402	134,080
1	1,850E-02	Acciaio	7850	145,225	18,500
1	9,641E-02	Acciaio	7850	756,803	96,408
1	1,458E-02	Acciaio	7850	114,477	14,583
1	1,252E-01	Acciaio	7850	983,048	125,229
1	1,189E+00	Glebanite	1190	1.414,628	1.188,763
1	3,27E-04	Acciaio Inox	8060	2,636	0,401
1	7,20E-06	Acciaio Inox	8060	0,058	0,000

1	6,10E-05	Acciaio Inox	8060	0,492	0,129
1	4,05E-05	Acciaio Inox	8060	0,326	0,041
1	6,00E-07	Acciaio Inox	8060	0,005	0,001
6	1,10E-05	Acciaio Inox	8060	0,532	0,066
1		Acciaio Inox	Stima	0,320	0,107
1		Vario	Stima	1,700	1,905
2	5,13E-05	Acciaio Inox	8060	0,826	0,013
1	8,350E-02	Gomma	1300	108,550	0,000
1	2,300E-02	Acciaio	7850	180,550	23,000
1	4,800E-02		1250	60,000	38,400
1	1,530E-01		1300	198,900	153,000
1	4,700E-02		850	39,950	0,000
			Totale	19.346,75	8.513,62

	kg	19.346,75
	dm ³	8.513,62
	m ³	29,59
	m	2,37
	m ²	4,41
	m	-8,81
	kg	8.726,46
	kg	10.620,29
	m ³	10,36
	m ³	19,23
	m	4,36
	m	-4,45
	Pa	44.732,99
	bar	0,45

CONFRONTO CAMPANA IN ACCIAIO

Peso della massa flottante	N	228.397,546
Massa dell'acqua spostata	kg	7.701,544
Spinta idrostatica corrispondente	N	75.552,15
Bilancio Peso - Spinta	N	152.845,395
Diametro interno della campana	m	2,406
Sezione interna della campana	m ²	4,548
Pressione aria interno campana	Pa	33.606,775
Pressione aria interno campana	Mpa (N/mm ²)	0,0336
Livello acqua interno campana	m	-3,342
Livello al fondo della campana	m	-8,808
Volume acqua all'interno alla campana	m ³	24,861
Volume interno della campana	m ³	30,220
Volume aria interno alla campana	m ³	5,359

Spessore campana	mm	16,000
Sossecitazione tangenziale campana	N/mm ²	2,527
Circonferenza mediana campana	mm	7.610
Modulo elastico E per l'acciaio	N/mm ²	206.845
Incremento della circonferenza	mm	0,093
Incremento diametro campana	mm	0,030

La Campana in glebanite meno pesante e resistente dell'acciaio ($W = 0,1983 \text{ m}^4$ e $\sigma_{\text{traz fatica}} = 1000 \text{ t/m}^2 = 10 \text{ MPa}$) comporta una maggiore pressione d'aria per il bilanciamento con uno spessore di 22 mm e il rinforzo sommitale di una calotta in acciaio di supporto sotto il convogliatore.

8 – BARRIERA ENERGY REEF E RICONVERSIONE PROTEZIONE DELLE COSTE

L'Italia interamente circondata dal mare, fonte di importanti economie turistiche e commerciali, deve decisamente proteggere le sue coste dall'erosione e dall'inquinamento (GNRAC, 2025).

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 superiori a 25m/anno, ovvero ben oltre le naturali oscillazioni estate/inverno periodiche massime dell'ordine di $\pm 5\text{m/anno}$. Numerose e molto dettagliate sono le pubblicazioni scientifiche riguardanti l'evoluzione e le cause delle erosioni delle coste.

In tale contesto l'Energy Reef propone di sostituire le scogliere di massi frangiflutti (Ventura, Palmarocchi, Domeniconi, 2023) con una barriera articolata in turbine sfalsate, Fig. 10.

L'installazione della barriera di turbine eliminando solo poche scogliere consente, durante le mareggiate invernali, di sperimentarne subito l'efficacia nelle peggiori condizioni di erosione esaltata dalle scogliere rimaste.

Se s'impiegano moduli ad interasse di 20m disposti con continuità, per indurre l'effetto anti-erosione, ovvero s'installano 100 generatori da 30 kW/km si ottiene una potenza da 3 MW/km, per cui ipotizzando realisticamente erogazioni al 50% anno e potenze medie 50 % di quelle di picco, si ottengono potenze dell'ordine di 10 GWh/y e inoltre recuperi di ettari/anni di spiagge.

Ambedue tali rendimenti sono incrementabili maggiorando l'estensione e il numero dei convertitori, più ripartiti (Fig.10b) in mare aperto in modo da smorzare anche le correnti specie litoranee. Notevoli sono poi gli altri vantaggi della barriera che evita la distruzione di infrastrutture, specie di valore, e facendo crescere la *posidonia* riduce l'effetto serra. Si proteggono inoltre le *avandune (embryo dune)* che innalzano le spiagge pianeggianti proteggendole dagli *allagamenti* causati dall'innalzamento del livello del mare (§ 9) o specie in passato dalla subsidenza.

Si aprirebbe un contributo alla Laudato si' (2015) ed alle *Conference of the Parties (COP 30 Belém 2025)* ove 193 Paesi partecipano al *Nationally Determinated Contribution (Ndc)*, aderenti anche alla *FAO Food and Agriculture Organization*, con sede a Roma dal 1951, e peraltro assenti USA, Cina, India, Russia grandi inquinatori.

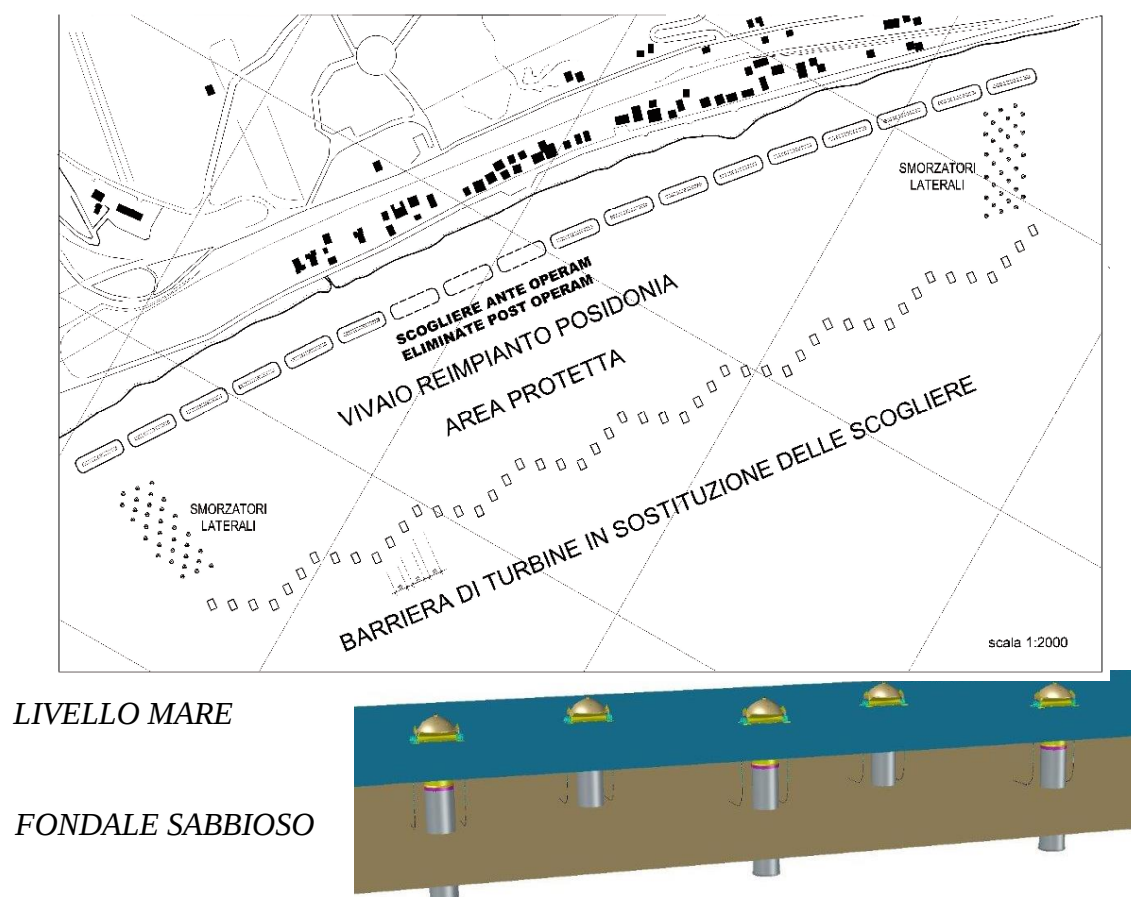
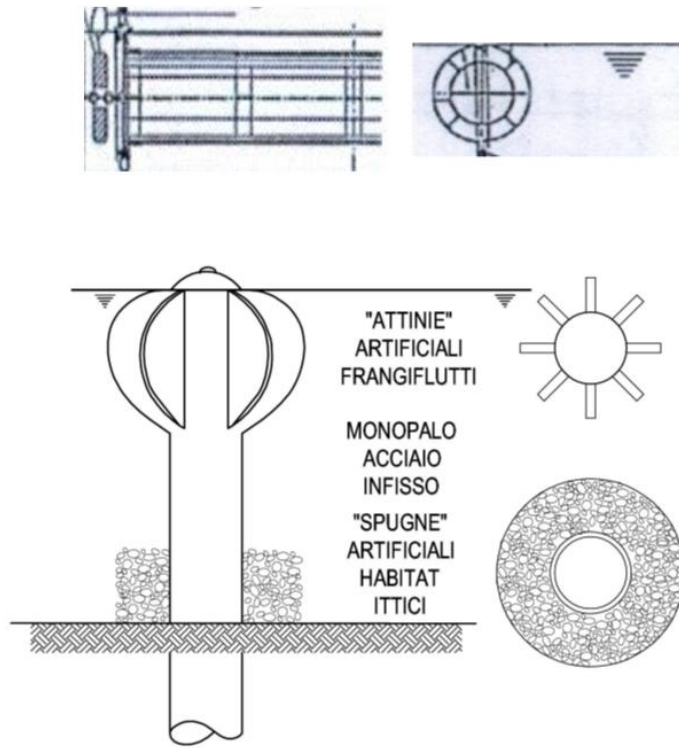


Figura 10b Barriera in mare aperto più soggetta alle correnti litoranee ed alle variazioni dei paraggi, per cui va coadiuvata da barriere laterali. La barriera può essere ad es. di 50 moduli ogni 20 m con 100 turbine da 3 MW in 1 km o con maggiore numero di moduli per la migliore produzione di elettricità e di recupero ettari di spiagge. L'auto-orientamento (Fig. 7e) della barriera copre i principali angoli d'incidenza dei venti nel settore di traversia e di riflessione con planimetria parabolica anziché articolata da convogliatori fissi (computo Fig. 10 bis). L'Energy Reef realizza inoltre un'area protetta per far attecchire un vivaio di posidonia e favorire il recupero delle plastiche. Si simula una laguna con una riqualifica da piccola Venezia. La barriera è poi proposta in sostituzione di 3 scogliere per sperimentarne rapidamente l'efficacia nelle condizioni di erosione esaltata e successivamente validare la possibilità di recuperare il paesaggio senza scogliere (Tav.1).



Figura 11a Habitat ittici artificiali tipo sabbie litificate che imitano le barriere coralline (Dini 2020) o reef balls anche di varie forme a vaso forato o a reticolo spaziale in cemento armato.

**CILINDRO ORIZZONTALE GALLEGGIANTE CON ALETTE
RIGIDE O COME IL SEGUENTE VERTICALE FRANGICORRENTE
ANCORATO FRA I MODULI FONDATI SU MONOPALI**



**PROTEZIONE COSTE
REEF BALLS E MATERASSI SMORZANTI**

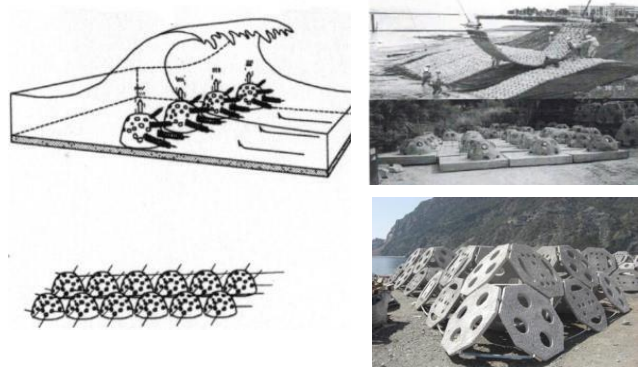


Figura 11b Protezione coste tramite frangilutti alettati o galleggianti zavorrati o fissi su pali e reef balls anche montati su materassi o collegati con reti

**PROTEZIONE COSTE CON 16 PENNELLI LUNGI 110 M EPASSERELLE
DI LEGNO PRIMO RIPASCIMENTO ARTIFICIALE CON 1,3 MILIONI MC
INCREMENTATO PER MANUTENZIONE FINO A 7 MILIONI MC
1923 CONEY ISLAND NEW YORK (PRANZINI)**



Figura 12 Protezione coste con dune artificiali rinforzate con legname o meglio con l'ingegneria naturalistica tramite fascinate verdi.

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*, e persino depauperando interventi naturalistici.

In proposito si ribadisce che tutti gl'interventi di *superamento delle opere rigide* si possono attuare, specie (UNEP, 2008, GIDAC, 2025) iniziando dal ripristino e vegetazione delle dune, la chiusura dei prelievi di fluidi nelle aree costiere, ripristino del bilancio sedimentario, riduzione del consumo di suolo balneabile. Ciò solo se i danni da antropizzazione non sono eccessivi, tanto che anche la barriera di turbine proposta potrebbe essere inefficace, fino a proporre l'abbandono e l'arretramento dell'uso.

Il finanziamento poi 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. Per il rivestimento dei monopali si propone una sorta di barriera corallina artificiale per il ripopolamento ittico e specie il *ripristino delle barriere di ostriche* esteticamente migliore delle reef balls in cemento armato; anche la “calza” di rivestimento, Fig. 7c, può essere realizzato con la stampante 3D in glebanite e con materiali anche antivibrazioni. Le barriere laterali della figura 11b che smorzano in *mare aperto le correnti specie litoranee o con forti variazioni dei paraggi*, possono poi essere realizzate, anziché con 3 file di sabbie litificate o di reef balls, Fig. 11a, con ad esempio una fila dei predetti monopali rivestiti, simulando la barriera corallina, senza però il soprastante modulo turbine-girante-convogliatore; in presenza di *forti correnti longitudinali* si possono incrementare le file perpendicolari alla barriera tipo pennelli.

I soli monopali rivestiti con la spugna artificiale, senza il gruppo della girante, potrebbero essere posizionati anche all'interno della barriera in modo da ridurre gli interassi fra le turbine e smorzare ancora le correnti marine, adattando in economia sperimentale l'efficienza della barriera.

Peraltro se per smorzare le correnti marine è necessario uscire dalla fascia di calma, più verso la costa, si possono impiegare anche le reef balls. Si contribuisce alla transizione ecologica e si crea valore sociale, nel delicato equilibrio con la transizione industriale specie in Europa.

Tale equilibrio è rispettato dal Energy Reef che, oltre a proteggere le coste in erosione, apre la produzione di elettricità dall'energia del mare, favorendone la diffusione più efficiente in rapporto specie al fotovoltaico e costituire nuove Comunità energetiche rinnovabili (Cer). Il confronto fra il costo del fotovoltaico e la barriera, peraltro da porzionare in termini di ore e di rendimenti di produzione, per l'Energy Reef è supportata anche dalla protezione delle coste. In particolare 3 MW di fotovoltaico occupano circa 1 ettaro (1km x 10 m >> se agri- voltaico), e funzionano molte meno ore (1kW x 1200 ore = 1200 kWh/y), solo di giorno e poco nei nuvolosi inverni, al contrario della più duratura produzione in kWh/y delle barriere di 1 km.

L'uso di moderni *storage* anche per l'energia marina comunque qualificano le *smart grid*.

La validazione della barriera potrebbe negli anni contribuire a sostenere i ritorni sulla curva d'investimento (ROI). Il recupero ad esempio di ettaro 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. Peraltro la barriera di turbine non va realizzata nelle coste dedicate ai surfisti od al transito. 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 a nuovi appalti europei per la protezione delle coste con le barriere proposte.

Ciò 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 Normativa Tecnica NTC2018. In proposito (v. computo metrico) 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 ad esempio di quello dei ripascimenti artificiali.

9 – DESCRIZIONE DEI BENEFICI

La limitazione dell'erosione costiera e *l'aumento per ripascimento naturale* del livello delle spiagge antiallagamento, per arginare l'innalzamento del livello del mare, rappresentano i principali vantaggi economici, sintetizzati nella Tabella 1.

Altro beneficio è prodotto da numerosi piccoli impianti di energia marina rinnovabile, a *basso impatto ambientale* fattibile lungo i litorali, specie riqualificando il paesaggio senza scogliere, oltretutto fotovoltaico ed eolico a terra non sono realizzabili, peraltro anche Nimby, in quanto interferiscono con il diffuso patrimonio forestale, artistico e archeologico italiano.

Si evidenziano poi i *bassi costi di manutenzione* delle barriere, sostenuti dalla produzione di elettricità, nonché la *riduzione della velocità della corrente marina nei due versi superficiale e sul fondale*, con la conseguente naturale deposizione di sabbia in sospensione e conservazione dei rimodellamenti delle dune di risacca delle spiagge, senza sagomature tipo quelle della Figura 3b.

La produzione di energia elettrica, infatti, va tarata solo per smorzare le correnti aventi velocità in eccesso indotte dalle antropizzazioni, mantenendo così la naturale erosione mobile estiva / invernale.

La protezione delle coste tramite tali *frangicorrente* è "*morbida*" con minimi effetti collaterali, al contrario delle scogliere *frangiflutti* e dei ripascimenti che oltretutto richiedono invece i predetti elevati costi di manutenzione stagionale continua (Fig. 17).

L'ubicazione delle turbine nell'ambito della fascia di calma a partire dalla zona di calma e transizione (Fig. 1) di "*chiusura*" indotta della conversione dell'energia offshore / inshore è lontana dalle mareggiate, come le coltivazioni dei mitili, e consente di non esporre i moduli a continue manutenzioni a mare, peraltro ben programmabili con la cosiddetta Intelligenza Artificiale.

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.
- Si sfruttano le *correnti superficiali*, tipo 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 *zona di calma*.
- Il flusso delle correnti marine sulla girante è favorito da un *convogliatore*, e può essere incrementato da un eventuale galleggiamento quasi indifferente, tipo *meduse*, peraltro tolto per semplificare la costruzione.
- 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, specie 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; inoltre non subisce i dissesti di neve e grandine o di crolli di alberi in caso di tempeste; le turbine possono essere antisismiche (tipo galleggianti), ovvero in servizio durante i terremoti.
- La produzione di elettricità delle barriere consente di sostenere i costi della manutenzione, che invece nei ripascimenti e con le scogliere sono una continua spesa annuale o carente con notevoli danni.
- La barriera consente di produrre 3 ÷ 6 MW/km di picco, specie al crescere dell'energia delle onde da 5 kW/m fino a 10 kW/m e del numero di turbine da 50 a 100/km, ovvero almeno da 5 a 10 GWh/anno in media reali.
- Il confronto fra i GWh reali del *fotovoltaico* è ben più vantaggioso per le turbine data la loro valenza meccanica ed i tempi di funzionamento anche di notte e maggiormente d'inverno; peraltro il *fotovoltaico galleggiante* può facilmente sovrapporsi alla barriera proposta, incrementandone la produzione di corrente elettrica.
- La barriera proposta presenta costi paragonabili con l'*eolico offshore* realizzato a Taranto, fondato a 50m di profondità; 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, o in Sicilia, peraltro privi della capacità di protezione delle coste, e con ben minori chilometri di cavi sottomarini.
- La produzione di elettricità può in particolare servire la *ricarica delle barche*, fino alle grandi navi attraccate nei Porti evitando l'emissione di fumi inquinanti dai motori diesel.
- 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 le sensibili penalizzazioni delle oscillazioni dei livelli dei fiumi.

Il *break point* ove le onde si rompono su fondali bassi, come sfruttato dai surfisti, induce proprio le efficaci velocità "pellicolari" delle correnti superficiali sospinte dal vento che si vogliono sfruttare con le turbine *sea energy reef* ad asse orizzontale semi-sommerse.

L'energia elettrica è inoltre prodotta con ore di produzione notturne maggiori rispetto al fotovoltaico, senza considerare l'inverno, le nuvole e lo strato di polvere per carenza di pulizie.

Il tipo e l'estensione delle giranti permettono di aumentare la potenza in ogni turbina, tarandola alle condizioni meteo-marittime del sito da proteggere.

I convogliatori autogirevoli consentono di incrementare il rendimento della barriera (v. computo).

I monoblocchi delle turbine possono essere prodotti, come prima descritto, con i più conveniente nei costi materiali fibrorinforzati o glebanite riciclati (scafi in vetroresina usurati) formati con grandi stampanti 3D (ad esempio Wasp, Massa Lombarda, Ravenna o Ingersol, Milano).

Il funzionamento della nuova difesa consente di eliminare le scogliere in sintonia con gli *appalti tradizionali tarati con il metodo osservazionale e in esclusiva per l'innovazione*.

L'eliminazione delle scogliere evita inoltre *l'eutrofizzazione* (alghe verdi) e la carenza di ossigenazione indotta dai fertilizzanti (ossigeno < 2 mg/l), promuovendo la decontaminazione dei fondali marini. Si attua la *riqualificazione del paesaggio* originario senza scogliere, e si possono poi frantumare i massi trasformandoli in ghiaia consentendo un ripascimento granulometricamente adeguato. Si *eliminarrebbero le cave* a terra di estrazione dei massi, in varie Regioni ormai proibite, tipo Toscana, e inoltre il prelievo di sedimenti, spesso non idonei per i ripascimenti, ricavati dall'estrazione della sabbia in mare con sorbone, anche limi a largo (classazione idraulica geologica) o da cave via terra (non terrazzate a verde), riducendo così danni ambientali significativi.

Si evidenzia inoltre che la *costruzione e manutenzione di convertitori offshore* realizzati nei mari tempestosi (75 kW/m) del nord Europa (Scozia, ecc.), sebbene più produttivi, sono per contro molto più costosi di quelli nel Mare Mediterraneo e non presentano la peculiarità inshore di proteggere le coste in erosione e costituire aree protette.

I vari brevetti descritti all'inizio del resto non solo presentano macchine molto più grandi del presente prototipo, ma non prevedono la protezione delle coste.

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 (Mattn - Regioni 2016, Accademia del Lincei 2018) e dal significativo scioglimento dei ghiacciai su terra (ovvero non galleggianti).

Le aree di allagamento della spiaggia, attualmente in una fascia di 1m spiaggia/10 anni, per le usuali pendenze della fascia di risacca di 3 cm/m copribili da innalzamenti di 3mm x 10anni, sono arginate grazie alla difesa proposta, soprattutto ove il trasporto solido dei sedimenti dei fiumi è basso.

In Italia l'erosione interessa oltre 1200 km di costa, pari a 1/3 delle spiagge sabbiose, con anche ben oltre i 25 m di riduzione media, ovvero con perdite di più di 2,5 ha / km.

Appare competitivo è in proposito il confronto economico con il brevetto danese dei moduli di equalizzazione delle pressioni fra le falde saline/dolci che favorisce il ripascimento naturale specie alle foci dei fiumi, anche con l'ausilio di pompaggi nei tubi filtranti, come fatto (Sic-Ge.po.mar., Roma) a San Rossore (Pisa) per 2 km con 100 tubi in gruppi di 4 ÷ 5 con speciali filtri per trattenere la sabbia e rialzare la spiaggia.

Le barriere forniscono ulteriori vantaggi in quanto, non essendo i fondali sconvolti dalle mareggiate sulle scogliere, consentono di far attecchire i vivai di *posidonia*, partendo dai frutti simili alle olive si fa crescere, durante la vita della barriera, una *prateria marina* che previene l'erosione e favorisce il ripopolamento ittico e il disinquinamento marino. Si ricorda in proposito che la *posidonia* e le lagune *assorbono oltre 10 volte CO₂* più delle foreste ai climi temperati italiani ed ancor più rispetto alle foreste tropicali, specie a parità di età. Ciò fu evidenziato già nel 1971 nella *convenzione di Ramsar*, sul Mar Caspio vicino Teheran, per tutelare il patrimonio delle zone umide, comprendendo anche le fasce di mare fino a profondità di 6 m prossime alle proposte.

S'impedisce poi lo sradicamento dei vivai (Marsella 1986) come accaduto nei tentativi prospicienti le scogliere o addirittura il soffocamento della crescita delle praterie a causa del seppellimento con i ripascimenti artificiali.

La *vita ultraventennale* delle barriere consente l'accrescimento delle praterie marine anche rigogliosamente sovrapposte tipo dune sommerse o *matte* di *posidonia*, o anche barriere di ostriche, che presidiano l'erosione e possono poi consentire di *trasferire le barriere* 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 nuotatori delimitando la nautica da diporto e favorendo l'antica 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 poi la sicurezza notturna.

Lo *stoccaggio* dell'energia può essere idraulico, mediante turbine inverse che pompano acqua ad un'altitudine maggiore, se vicino alla costa come è tipico nell'Appennino; interessante è anche lo stoccaggio di aria compressa o l'impiego di contrappesi specie idraulici in membrane sommerse o la produzione d'idrogeno o *la salamoia* (§ 14), oltre all'uso meno concorrenziale degli accumulatori, in modo da ridurre l'aleatorietà della produzione di corrente rinnovabile.

Si evita il complesso uso delle terre rare per gli elettrodi delle batterie con aperture di miniere e di questioni geopolitiche che spesso sono diventate di "rapine" ambientali e specie sociali.

Con le barriere proposte si contribuisce poi a mitigare il rilascio di CO₂ e specie il particolato emesso dai carburanti (HC, NOX, CO, PM), altrettanto se non più pericoloso dell'effetto serra, e pertanto da sviluppare per igienizzare l'aria anzitutto nelle grandi città.

L'energia marina può servire anche per pompare *acqua desalinizzata* da membrane osmotiche adagate su fondali a largo (§ 14), come realizzato a Perth in Australia, e specie nelle aree in via di desertificazione e carenti di acquedotti.

È possibile poi dotare la barriera di una serie di reti e 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 vicino alle spiagge e ben più estesi di quelli galleggianti.

Tale raccolta sarà particolarmente utile anche disponendo le *barriere davanti alle foci dei fiumi* che veicolano a mare i rifiuti di plastica gettati indiscriminatamente lungo tutto l'alveo, peraltro intercettabili anche tramite panne lungo le sponde, come ad esempio in corso nell'Aniene.

Per inciso si noti che i fondali vicini alle foci dei fiumi cambiando continuamente la salinità del mare e il trasporto solido non sono adatti alla crescita della posidonia.

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*" esposte 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 (§ 2), 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 degli accumulatori, 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.

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 potrebbero inoltre dare un sensibile contributo alla *riduzione delle discariche di barche relitto* e dei 300 kg plastica/auto riciclandone in materiali compositi e favorendo la riduzione della crisi delle *industrie automobilistiche e nautiche riconvertendole in fabbriche di turbine marine*.

Si potrebbe contribuire al cogente sviluppo della *Transizione Ecologica*.

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

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 disincrostazione è prevenuto dalle protezioni marine standard (*biofouling*) e dal fatto che i monoblocchi convogliatore-pale possono essere rimossi per la pulizia e la manutenzione periodica e per effettuare la lubrificazione, programmabile con l'AI.

La manutenzione è peraltro prevista affidabile anche annualmente ai subacquei, facilitati anche dal ballatoio e dall'esigua immersione subito sotto il livello dell'acqua.

Le turbine, specie in materiali leggeri, hanno periodi propri trascurabili per cui hanno anche un periodo di oscillazione § 7.2.3) che non risente della risonanza, ovvero $T \div 0 < T_{\text{Tirreno}} \div 3s$ fino all'armoniosa frequenza della risacca per cui le turbine sono *antisismiche* e funzionanti in caso di terremoto, specie per emergenza a terra da venti forti, navicate eccezionali o alluvioni.

Inoltre le barriere smorzano i maremoti, quando le onde anomale non sono ancora esaltate dai bassi fondali, e costituiscono una sorta di cintura di sicurezza sacrificale a prevenzione dell'inondazioni degli abitati. Peraltro le onde anomale nel Mediterraneo sono a largo dalla costa di solito di altezze decimetriche e soprattutto i tempi di ritorno T_R di un tale evento sono rari se confrontati con la vita di riferimento dell'opera $V_R \ll T_R$ comporta una probabilità di rischio V_R/T_R bassissima.

Le onde anomale s'innalzano fortemente e subdolamente solo su bassi fondali vicino alle coste e soprattutto nel ritirarsi possono trapiantare grandi masse.

Solo per mitigare la lettura e suscitare la curiosità si evidenzia che un'onda frange con lunghezze circa 7 volte l'altezza, una torre non subisce instabilità se è alta 7 volte la base d'incastro, del resto siamo alti 7 volte la lunghezza dei piedi e non a caso 7 è simbolo di completezza e perfezione in varie religioni.

I cavi sottomarini sono poi significativamente non suscettibili ai danni causati da tempeste e da nevicite, come quelli terrestri e sono ben più corti di quelli offshore, posti in Italia almeno oltre 12 miglia (22 km) dalle coste.

La registrazione con telewattmetri dei kWh sulle barriere integra inoltre le misure meteo-marine notevolmente carenti in Italia in quanto si basano solo su pochi mareografi di cui vari fuori uso, anche per mancanza di manutenzione.

Per inciso è poi epocale la sproporzione fra la fondamentale elaborazione mondiale dei bigdata climatici satellitari e i carenti dati meteorologici locali misurati a terra e sottocosta, nonché le portate dei fiumi minori, per prevedere gli effetti microclimatici specie su ristretti bacini imbriferi, secondo gli storici canoni dell'Idrologia. Peraltro si stanno per inviare satelliti Mtg I1 con risoluzioni fino a 500 m e che coprono l'intero mondo ogni 10 minuti.

Si evidenzia infine che la produzione di energia dal mare proposta è confrontabile economicamente con quella dei convertitori ISVEC-ENI-MORE 2020, aggiornati a pendolo PEWEC (Sannino 2022) che con onde da 10 kW/m fornirebbe 525 kW con dimensioni 15 x 23 x 7,5 m e 1000 t di zavorra, confrontabili con quelle di 10 dei moduli proposti di potenza equivalente, e ben minore peso.

Comunque significa per l'Italia avere *energia rinnovabile "a kilometro zero"* e ridurre le importazioni da fossili, ovvero da costose materie prime di cui siamo carenti.

In particolare alla barriera può fare da supporto ad un impianto *fotovoltaico galleggiante, integrato anche dalle superfici delle cuffie* sulle giranti, in modo di accrescerne la produzione di elettricità.

Gli effetti ambientali dannosi collaterali, che hanno tutte le altre produzioni di energia elettrica e persino idroelettrica, sono inoltre trascurabili con la barriera proposta, inoltre si ribadisce non c'è il vantaggioso accoppiamento con la protezione delle coste ed i relativi benefici economici.

10 - BENEFICI DA INCREMENTI DELLA PRODUZIONE DI ELETTRICITÀ

In Italia a fine 2025 sono installati, con sensibili incrementi recenti, circa 12 GW eolici (23 miliardi kWh/y) e 40 GW fotovoltaici (46 miliardi kWh/y) su un consumo totale di circa 312 miliardi kWh/y.

Si evidenzia che in Italia il contributo delle rinnovabili alla *domanda di consumo di elettricità* nel maggio 2025 è stato il 55,9% (Terna), inoltre il trasporto da lontano verso ove manca energia è immediato, al contrario del gas, le rinnovabili presentano pertanto un enorme potenzialità.

Il rapporto costi/benefici in base alla sempre più urgente necessità di produrre energie rinnovabili può essere oltretutto migliorato incrementando le barriere di turbine marine.

L'estensione della a barriera è peraltro interrotta per i passaggi delle imbarcazioni in base alle esigenze di navigazione verso la costa e naturalmente è dotata di lampade di segnalazione.

Naturalmente con la massima fitta continuità dei moduli della barriera si può ottenere anche la massima efficienza anti-erosione e produzioni > 10 GWh/anno

Si servirebbero numerose abitazioni e si eliminerebbero sensibili tonnellate di CO₂ da termoelettrico a gas. Peraltro per azzerare nel 2050 gli attuali mondiali 37 miliardi ton. di CO₂ /anno, bisognerebbe ridurre circa 0,5 miliardi teq/y di petrolio (1 tep = 6,841 barili = 11,63 MWh).

Il costo delle turbine è compensato oltretutto 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 in particolare tecnicamente confrontabile con i giganteschi eolici offshore specie galleggianti da 14 MW di picco. In proposito eolico offshore, specie galleggiante, presenta delicati problemi di sicurezza delle fondazioni e necessita di grandi quantità di materiali con problemi di approvvigionamento e di manodopera, specie per i montaggi a largo; tali aspetti 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 pertanto presenta minori rischi dei convertitori offshore, una maggiore durata e soprattutto minore *manutenzione* essendo la profondità del fondale di posa circa 10m, anziché ancorato a centinaia di metri come gli eolici offshore galleggianti di recente proposti. I moduli galleggianti della barriera sono *automaticamente adattabili alle oscillazioni delle maree*, peraltro contenute nel Mediterraneo, o spostamenti eccezionali. Il prototipo descritto comunque presenta tecnologie che appaiono confrontabili con il mini-idroelettrico realizzato sull'Arno, ma con produzione di GWh/y circa doppie. Si evidenzia inoltre che l'Energy Reef non è soggetto alle grosse oscillazioni delle piene e delle magre fluviali, nonché all'usura da trasporto solido.

In Italia si è programmato un incremento della potenza delle rinnovabili, specie nel Mezzogiorno, dai predetti attuali oltre 50 GW ai 70 GW, ovvero da 90 a 125 miliardi di kWh/anno, a cui l'energia marina potrebbe dare un contributo che potrebbe essere interessante anche all'eolico offshore, tanto che potrebbe essere preso in considerazione integrativa dall'Associazione di categoria Aero. È realistico incrementare le rinnovabili in vari decenni e in media in tutte le Nazioni. Mirati piani d'investimento nell'innovazione contribuirebbero inoltre alla salvaguardia dell'ambiente marino ed alla costruzione del capitale sociale locale (*Prosumer*).

Si può, a titolo di similitudine, 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 l'investimento sulla scommessa di una buona riuscita della Ricerca è ampiamente proporzionata ai benefici che si otterrebbero. In proposito l'investimento, inizialmente pubblico, per il modulo prototipo può essere realizzato da una start up o dalle famose Aziende italiane nel campo nautico esperte in vetroresine, mentre quello per la barriera potrebbe essere integrato da un'idonea *Impresa di Opere Marittime* usufruendo del vantaggio di unificare appalti sia per produrre elettricità sia quelli per scogliere e ripascimenti artificiali, o di prolungamento dei moli. Peraltro studi di Ricerca universitari (ad es. Dicca, Galleria del vento Giovanni Solari Genova) possono sostenere le attuali analisi preliminari con simulazioni di calcolo fluidodinamico (CFD) e analisi strutturali dinamiche basate sui dati del sito prescelto. E la realtà è più importante dell'idea (Evangelii Gaudium § 231).

Appaiono appropriate anche 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...".

11 - BENEFICI DA INCREMENTI DELLO SMORZAMENTO DELLE ONDE

Urge un cambiamento dei criteri di smorzamento delle onde tipo le barriere di turbine proposte.

Come prima evidenziato le scogliere frangiflutti esaltano le onde delle mareggiate e scompaginano le batimetrie dei fondali, come ben comprovato con i rilievi satellitari (Esa, Sentinel), fino ai recenti MER (Marine Ecosystem Restoration).

Persino le integrazioni delle scogliere con ripascimenti artificiali tramite grosse granulometrie, la cui efficienza smorzante è stata comprovata nel laboratorio di Bari, nel caso di coste molto modificate non sono efficaci, come verificatosi a Marina di Pisa invasa dai sassi durante violente mareggiate.

Si noti peraltro che in tali casi, davanti alle foci dei fiumi con forti correnti torbide e profondi dragaggi che le disperdono a largo, le barriere di turbine proposte non funzionerebbero.

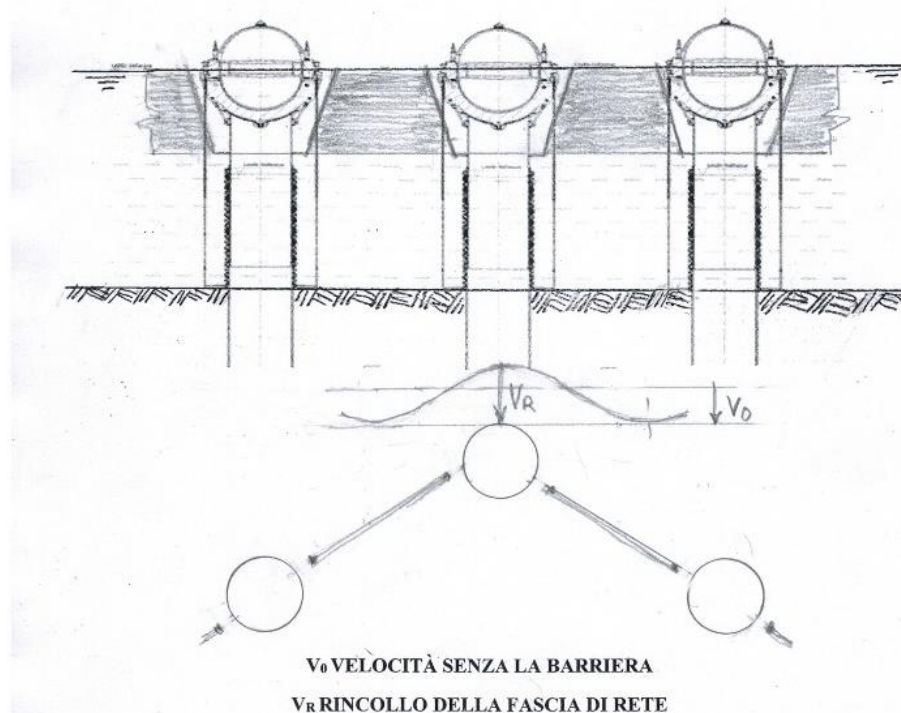


Figura 5b – Eventuale barriera continua tramite eventuali reti a maglie fitte tese, o idonei schermi indipendenti, o allevamenti di cozze od ostriche fra i convogliatori, anche con l'ausilio di supporti su pali integrativi, in modo di aumentare il ricollo delle correnti nei convogliatori.

La variazione della direzione delle correnti incide anche diagonalmente, *longshore drift*, sulla spiaggia erodendola, fenomeno che peraltro può essere smorzato con particolari disposizioni della barriera di turbine. Si evidenzia inoltre 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 composita riflessione sopraflutto alla barriera.

Il rischio dell'appalto sperimentale, specie nei riguardi della protezione delle coste, maggiore con gli interassi fra i monopali di Fig. 5a, è contenuto realizzando in più fasi gli accorgimenti continui della Fig. 5b da proporzionare con la profondità del fondale. In particolare l'articolazione planimetrica dei monopali in *continuità* può essere resa collaborante per forme tridimensionali affiancando opportunamente fra le giranti degli schermi frangiflutti.

Tali pali potrebbero anche sostenere una banchina nastriforme tipo lungomare a largo per essere usata in modo analogo agli alberghi galleggianti in ferroceemento ideati da Pierluigi Nervi nel 1932.

EFFETTI RIFLETTENTI DELLE ONDE INDOTTI DALLA BARRIERA

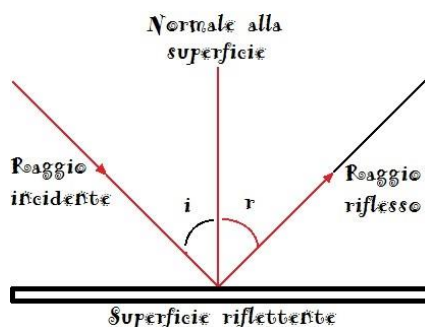


Figura 13 Schema delle onde incidenti e riflesse

Il dimensionamento e in particolare l'articolata forma della distribuzione planimetrica della barriera può basarsi anche sul fenomeno della *risonanza per ottenere la massima riflessione delle onde* e la maggiore protezione contro l'erosione delle coste. Sono in proposito studi alla Sorbona di Parigi (Leo Paul Euvé, 2023) ed all'Imperial College di Londra (Sebastien Guenneau, 2023).

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.

Per sfruttare al massimo le orrenti l'articolazione in pianta di eventuali moduli a schermi fissi può essere inclinata del rapporto fitotattico di 137,5° ispirato alla distribuzione delle foglie per ridurre al massimo l'ombra reciproca che ostacola la produzione della clorofilla.

Tale scelta inoltre dell'interasse dei moduli consente anche di variare la composizione delle onde dalla barriera verso la costa accentuandone lo smorzamento e la perdita di energia, in modo da incrementare il ripascimento naturale.

Si può ipotizzare di realizzare, come prima sperimentazione, una barriera con 30 moduli centrali ad *interassi* ad esempio di 12 m e due tratti laterali ciascuno con 10 moduli ad interasse da 20 m, per complessivi 50 moduli lungo 760 m, peraltro inizialmente senza gli schermi /fig. 5b).

L'uso di convogliatori autogirevoli, anziché fissi, consente di incrementare notevolmente i rendimenti della barriera e di realizzare distribuzioni planimetriche lineari (fig.13b) dei moduli anziché articolata zig-zag (fig.10 a) o con la predetta angolazione fitotattica.

La barriera inoltre può avere in planimetria una conformazione parabolica o esagonale per favorire la riflessione dell'energia delle onde a largo e contenere l'energia erodente.

La figura 13b evidenzia anche il *massimo raffittimento dei moduli*, eventualmente rinforzati a terne, tipo briccole, per sperimentare i rendimenti antierosione, testandoli proprio dove finiscono le scogliere ed ove l'erosione è esaltata.

Nel computo metrico sono riportate varie note costruttive e in particolare nella prima sperimentazione della barriera per economia si possono non realizzare i cavi sottomari ed impiegare dei telewattometri per misurare i kWh dei rendimenti della produzione di elettricità

Sempre per economia si possono anche testare solo un numero ristretto di generatori, essendo lo scopo prevalente della sperimentazione quello di rilevare l'efficienza antierosione della barriera la cui innovazione necessita di una sussidiarietà della spesa pubblica per poi validare il ROI che consente di accedere a lproject financing.

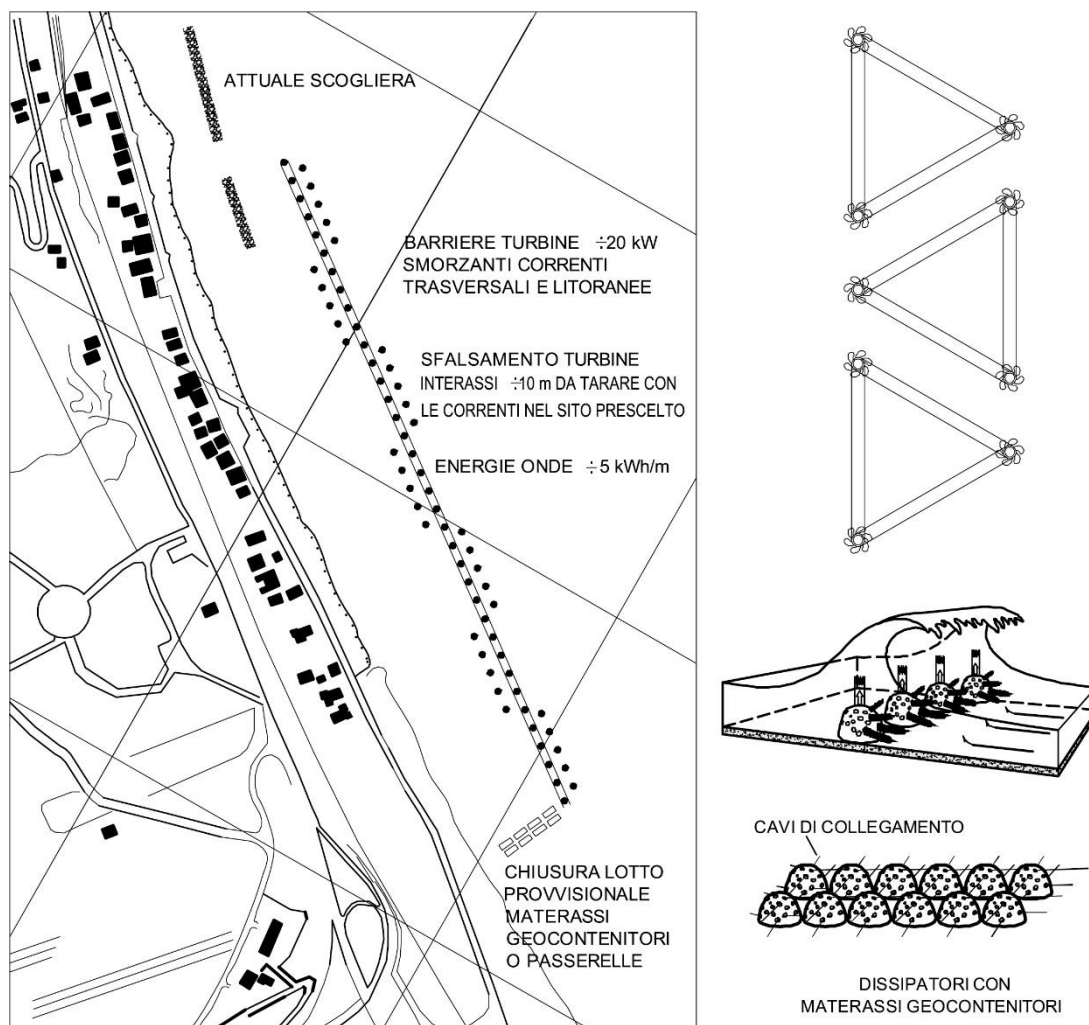


Figura 13b Planimetria della barriera lineare, o parabolica per incrementare la riflessione a largo dell'energia delle onde, con i convogliatori su campane flottanti auto-orientati verso le correnti prevalenti; si schematizza anche la planimetria a proseguimento di una scogliera, che esalta l'erosione, con i moduli più fitti per sperimentare l'efficacia antierosione e l'eventuale rinforzo per collaborazione fra i moduli a terne, tipo briccole.

12 - BENEFICI DA MITIGAZIONE DEI PARAGGI E DELL'INSABBIAMENTO PORTI

Un interessante uso delle barriere energizzate è quello di smorzare le correnti indotte dalla modifica dei paraggi causata dalla costruzione dei tanti porti, specie turistici in Italia in media 1/15 km, con erosione delle spiagge vicine ed insabbiamento dell'insenatura.

Ulteriore elevata fonte di erosione è causata dalla carenza di trasporto solido alle foci dei fiumi, dalle dighe o i rilevanti dragaggi delle foci per realizzare profondi pescaggi alle grandi navi provocando la forte dispersione dei trasporti solidi a largo.

La tipica vicinanza in Italia dei porti alle foci aggrava le erosioni delle spiagge e l'inquinamento.

Nei casi non troppo alterati, l'Energy Reef va adattato alla batimetria ed agli angoli prevalenti dei venti e delle correnti e in particolare alle correnti litoranee sia verso nord sia verso sud.

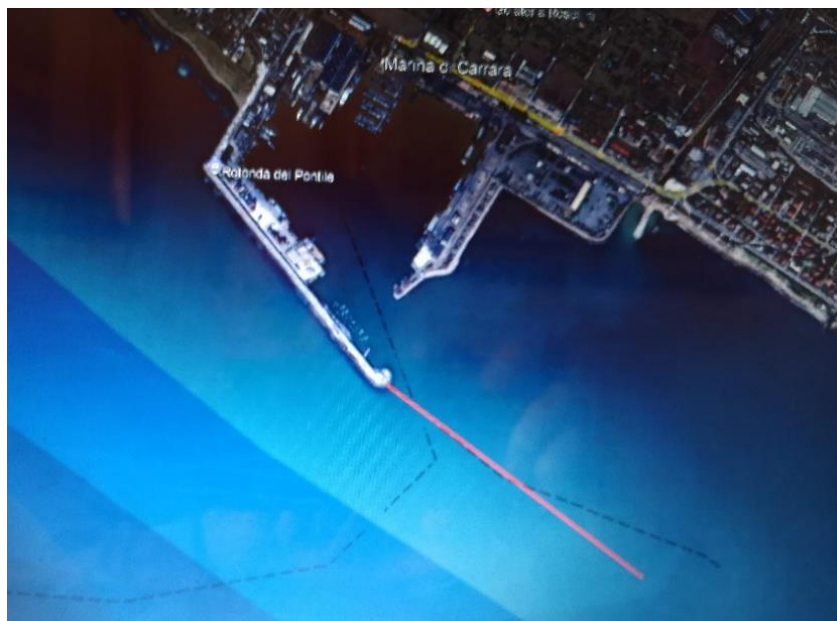


Figura 14 Protezione di un porto, ad esempio Marina di Carrara, anziché con il prolungamento del molo, con il rimodellamento morbido tramite la barriera energizzata, schematizzata dalla linea rossa a solo titolo esplicativo.

Nella Fig. 14 è schematizzata una barriera energizzata a protezione del porto di Marina di Carrara, al posto dei previsti prolungamenti dei rigidi moli sopraflutto e sottoflutto, in modo da cercare di mitigare sperimentalmente gli spostamenti delle sabbie sui fondali, evitando insabbiamenti ed erosioni delle spiagge vicine.

Fra un modulo e l'altro si simula il filtraggio delle correnti, come fatto dai Romani nel porto di Ventotene completamente scavato nel tufo, lasciandolo però su archi sommersi o pertusi per il passaggio delle correnti marine, con il fine di equilibrare gli apporti solidi in sospensione ed evitare l'insabbiamento, verificatosi poi dopo l'attuale cementificazione. La barriera serve poi per fornire elettricità alle barche ormeggiate nel porto, facendo eventualmente diventare i proprietari anche consumatori (*Prosumer*) dell'elettricità delle turbine.

13 - BENEFICI DA RIFORMAZIONE MARINA TRAMITE VIVAI DI POSIDONIA

Le barriere di turbine, Fig. 10, mitigando le correnti marine, possono favorire l'attecchimento della posidonia, passibile invece di subire estirpazioni a causa delle erosioni in fondali non protetti.

Per i vivai si possono usare geo-stuoie, Fig. 15, tipo idro-semina dei prati armati con l'attecchimento delle radici per stabilizzare le scarpate, o la semina delle olive di mare della posidonia come sperimentato ad Ischia dal Centro Anton Dohrn, pioniere nel settore.

Si segnala che vari vivai non protetti furono estirpati dalle mareggiate, specie davanti a scogliere frangiflutti che arrivano persino a scavare avvallamenti nel fondale od a soffocare la posidonia coprendola con le sabbie sconvolte e accumulate, modificando completamente la batimetria.



Figura 15 Esempio di vivaio di posidonia realizzato nel Golfo degli Aranci in Sardegna dal Worldrise, zero CO₂ ed EarthEcho (foto Igor D'India.) e analoghi vivai Centro Anton Dohr ad Ischia.

14 - BENEFICI DALL'ALIMENTAZIONE PER LA PRODUZIONE DI ACQUA COLCE

Un particolare uso delle barriere energizzate è quello di alimentare le pompe per far fluire a terra acqua dolce da membrane osmotiche, Fig. 16, poste a largo a profondità di 50 m.

La naturale elevata pressione idrostatica, sbilanciata dal pompaggio dall'interno delle membrane, mitiga i costi degli impianti di dissalazione a terra, ulteriormente ridotti dall'erogazione per la pompa di aspirazione di elettricità ($\approx 3 \text{ kW/m}^3$) prodotta dalle limitrofe barriere di turbine marine sopra descritte; inoltre l'impianto è a temperatura circa costante anche per la nanofiltrazione.

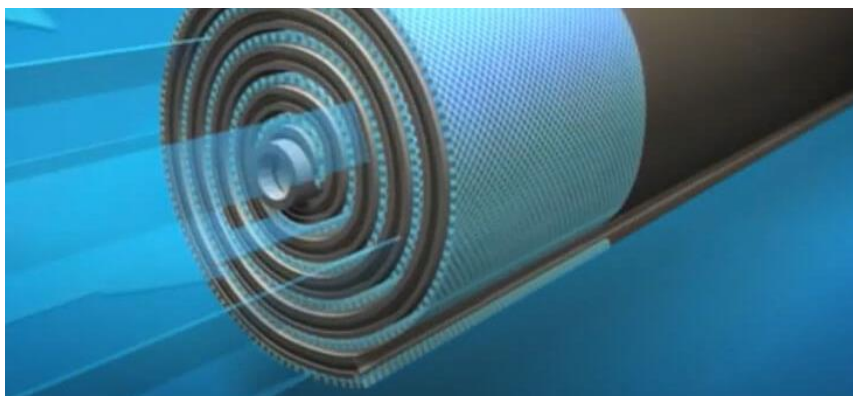


Figura 16 - Dissalatore sottomarino da adattare con batterie di membrane osmotiche a circolazione inversa generata dalla differenza della naturale pressione idrostatica dell'acqua salata e la depressione per pompaggio dell'acqua dolcificata dall'attraversamento della membrana (Acquo.it).

I dissalatori sono praticamente gli unici che possono fornire *acqua dolce* alle aree desertiche prive di piogge, ($< 250 \text{ mm/anno}$) ed in questo l'Italia può collaborare attivamente specie con i Paesi Arabi e per lo studio di membrane autopulenti e dello scarico della salamoia. Si segnala anche l'innovativo storage *Sizable Energy* funzionante tramite pompaggio di salamoia a livello mare per poi riversarla a gravità su turbine in profondità sul fondale marino.

15 - CRONOPROGRAMMA DELLA SPERIMENTAZIONE

15.1 - FASE A – EFFICACIA PRODUZIONE DI ELETTRICITÀ MODULO PROTOTIPO

Scelta della spiaggia da proteggere e permessi della Capitaneria di Porto.

Rilievo della fascia offshore/inshore tramite dati meteo marittimi dei paraggi e geo-batimetrici specie dell'ubicazione sul fondale della barra di sabbia mobile da integrare con la barriera.

Misure correntometriche tramite droni marini (Fig. 2) strumentati per rilevare l'ubicazione più efficiente per la barriera di turbine nella cintura di calma da shoaling con il minimo impatto sulle mareggiate e quindi minimi costi specie di manutenzione.

Adattamento del modulo al fondale prescelto tramite progettazione esecutiva del prototipo.

Costruzione di un modulo con turbina in vera grandezza (Fig. 7) da parte di Ditte tipo un'*Azienda Elettromeccanica* e/o una in *Carpenterie nautiche*, con materiali di glebanite fibrorinforzata per stampante 3D e rivestita con *biofouling* per il convogliatore e per la girante a 7 pale fisse collegate alla scelta commerciale dei generatori a 24 poli.

Prove penetrometriche e infissione a tubo aperto di grande diametro del mono-palo.

Varo a mare del modulo montando girante e convogliatore sulla campana flottante inserita telesopicamente nel mono-palo di fondazione.

Pompaggio della campana per la registazione a livello tramite sub da parte dell'*Impresa Lavori Marittimi* che gestirà specie la fase B.

I moduli sono monitorati con correntometri, pressimetri e fibre ottiche e televattmetri nella fase iniziale di risprmo dei cavi sottomarini.

Monitoraggio dell'efficienza delle turbine in base alle oscillazioni delle correnti inshore reali, con durate dell'ordine verosimilmente semestrale ovvero di 180 giorni/anno = 4320h/anno, maggiori dell'eolico a terra e più simile all'eolico offshore.

Eventuale adattamento del progetto iniziale per migliorane l'efficienza.

Certificazione della produzione di energia rinnovabile da parte della *RSE Ricerca Sistema Energetico*, in qualità di ente indipendente.

15.2 - FASE B – EFFICACIA DELLA PROTEZIONE DELLE COSTE DELLA BARRIERA

Costruzione della barriera (Fig.10) tramite i predetti moduli opportunamente conformati planimetricamente o integrati lateralmente tramite pali-attinie artificiali (Fig. 11b) per smorzare staticamente le correnti superficiali e spugne artificiali in glebanite infilate a ciambella nel palo e adagate sul fondale per smorzare le correnti erodenti di ritorno.

Tutto da rendere di serie in caso di successo della sperimentazione senza scogliere.

Eliminazione di scogliere frangiflutti da parte dell'*Impresa di Lavori Marittimi*.

In proposito il monitoraggio del rendimento, oltre che sulla produzione di energia elettrica della barriera, s'incentra specie sull'efficacia antierosione del tratto di spiaggia non più protetto dalle 3 ÷ 4 scogliere tolte e pertanto sottoposta al massimo degli effetti erodenti collaterali da parte delle scogliere vicine.

Alla luce del monitoraggio se necessario la barriera può eventualmente essere rinforzata integrando i moduli di turbine, o al limite si possono ripristinare le scogliere tolte (Fig. 10) lasciando che la barriera sia comunque un dissipatore dell'energia marina da controllare con più mareggiate.

Nel caso invece dell'auspicata riuscita della prova si possono macinare a pietrisco i massi delle scogliere tolte e finire di togliere le altre scogliere per integrare la protezione del tratto di spiaggia prospiciente le barriere con un ripascimento artificiale, con granulometrie molto idonee per non essere asportate dalle mareggiate invernali.

Si ripristina il paesaggio naturale e si costituisce un'area protetta per un vivaio di poseidonia.

16 – ANALISI COSTI/BENEFICI SOCIO-ECONOMICI

È evidente che il grande fermento innovativo sulla produzione di energia marina (§1) trova innegabili ostacoli competitivi iniziali nel confronto con i costi delle produzioni fossili e con le gravi perduranti speculazioni specie pompando limi prelevati a largo sulle spiagge.

In merito peraltro la riconversione ecologica proposta con la produzione di energia marina, anche rispetto alle altre fonti rinnovabili, presenta i vantaggi economici tutti peculiari dovuti anche al recupero delle spiagge (§ 6) e specie agli attuali aumenti dei costi dell'energia.

PRINCIPALI BENEFICI DELL'ENERGY REEF

LA PRODUZIONE DI CORRENTE ELETTRICA TRAMITE LE BARRIERE DI TURBINE SFALSATE CRESCE FINO A **10 GWh/km** SPECIE IN MARI TIPO SARDEGNA CON 10 kW/m

RECUPERO DELLE SPIAGGE IN EROSIONE TRAMITE UNA **DIFESA «MORBIDA»** CHE TENDE ANCHE AD **1 Ettaro/km** IN POCHI ANNI.

LA BARRIERA E' **CONCORRENZIALE** CON LE ALTRE FONTI RINNOVABILI E SPECIE CON LE IMMENSE **PALE EOLICHE OFFSHORE GALLEGGIANTI** (FONDALE > 100 m), IN QUANTO OFFRONO UNA BEN MAGGIORE SICUREZZA (FONDALE A 10 m), E RECUPERO DELLE SPIAGGE INVECE ASSENTE CON TUTTI GLI ALTRI CONVERTITORI DI ENERGIA DI CONSEGUENZA PIU' COSTOSI.

IL **CONFRONTO CON I GWh REALI DEL FOTOVOLTAICO** E' BEN PIU' VANTAGGIOSO PER LE TURBINE DATA LA LORO VALENZA MECCANICA ED I TEMPI DI FUNZIONAMENTO ANCHE DI NOTTE E MAGGIORMENTE D'INVERNO.

LE SEMIPALE DELLE GIRANTI FLOTTANTI SEGUONO LE **OSCILLAZIONI DEI LIVELLI** DEL MAREE, PERALTRO RIDOTTI RISPETTO A QUELLE DEGLI STORICI MULINI FLUVIALI, MESSI FUORI USO DAPIENE E MAGRE.

LE **GIRANTI** PERALTRO S'ISPIRANO A QUELLE FLUVIALI O DEI MULINI, LASCIANDO META' DELLE PALE IN ARIA E META' CHE ATTINGONO LE CORRENTI SUPERFICIALI MASSIME.

IL **FLOTTAGGIO** CONSENTE DI AUTO-ORIENTARE IL CONVOGLIATORE VERSO LE CORRENTI PREVALENTI

LA BARRIERA, AL CONTRARIO DELLE SCOGLIERE FRANGIFLUTTI REALIZZATE IN ITALIA SU CIRCA 1300 km DI COSTE, DELIMITA UN'AREA PROTETTA, TIPO LAGUNA, E CONSENTE DI IMPIANTARE DEI **VIVAI DI POSEIDONIA**.

SI EVIDENZIA CHE LA POSEIDONIA **ASSORBE CO2** IN MISURA ALMENO 10 VOLTE MAGGIORE DELLE PIANTE A TERRA NEI CLIMI TEMPERATI ITALIANI ED OLTRE CON CLIMI TROPICALI.

L'**ASSORBIMENTO DI CO2** OFFRE UN ALTRO VANTAGGIO PER LA CURVA D'INVESTIMENTO E IL PROGETTO POTREBBE INSERIRSI IN QUELLO MER DELL'ISPRAPROPRIO PER LO SVILUPPO DELLA POSEIDONIA..

I **COSTI DI APPALTO** USUFRUISCONO DELL'UNIFICAZIONE DEI COSTI PER LA PROTEZIONE DELLE COSTE E DEI PORTI CON QUELLI PER LA PRODUZIONE DI ELETTRICITA'

I **COSTI DI MANUTENZIONE** DEI RIPASCIMENTI ARTIFICIALI E DELLE SCOGLIERE SONO OGNI ANNO MOLTO ELEVATI IN QUANTO SPESSO DANNEGGIATI DALLE MAREGGIATE, SPECIE CON RIPASCIMENTI ARTIFICIALI CON GRANULOMETRIE NON IDONEE.

I COSTI DELLA MANUTENZIONE NELLE BARRIERE PROPOSTE SONO INVECE **PERIODICAMENTE COPERTI** DALLA PRODUZIONE DI ELETTRICITA'.

LE BARRIERE DI TURBINE **IMITANDO QUELLA CORALLINA** SONO POSIZIONATE LONTANO DALLE MAREGGIATE, MINIMIZZANDO I RISCHI DI DANNI, E GLI INTERVENTI DI MANUTENZIONE

LE **SCOGLIERE** RICHIEDONO L'USO DI CAVE DI ROCCIA CHE IN VARIE REGIONI SONO STATE CHIUSE PER IL RISPETTO AMBIENTALE, CONSIDERAZIONI ANALOGHE VALGONO PER I **RIPASCIMENTI ARTIFICIALI**, SPECIE DA PRELIEVI FINI A LARGO CON SORBONE CHE OLTRETUTTO SCONVOLGONO I FONDALI PIU' DELLE RETI A STRASCICO

LE SCOGLIERE ANALOGAMENTE PROVOCANO DOCUMENTATI FORTI SCONVOLGIMENTI DEI FONDALI E DESERTIFICAZIONE DELLE PRATERIE MARINE, TANTO CHE IN VARI STATI USA SONO STATE **PROIBITE**.

SI PROPONE INOLTRE DI TOGLIERE LE ATTUALI SCOGLIERE E FARE LA **RICONVERSIONE CON LE BARRIERE** DI TURBINE, SPECIE ANCHE PER LA **RIFIQUALIFICA DEL PAESAGGIO**.

SI ATTUA ANCHE L'**INNALZAMENTO DEL LITORALE** PER CONTRASTARE QUELLO IN ATTO DEL MARE ED INOLTRE IL **DISINQUINAMENTO** DA ALGHE E PLASTICHE, NONCHE' L'INTEGRAZIONE CON LE ACQUACOLTURE.

LE BARRIERE SONO **ANTISISMICHE** ED EROGANO CORRENTE IN CASO DI EMERGENZA CON PIU' SICUREZZA DELLE CENTRALI E RETI A TERRA, ANCHE IN CASO DI ALLUVIONI O FRANE O FORTI NEVICATE E VALANGHE

IL PROGETTO COME OPERA MARITTIMA SI PUO' AVVALERE DEL DIMENSIONAMENTO DELLE SCOGLIERE SOFFOLTE A CUI SI POSSONO ASSIMILARE LE BARRIERE FILTRANTI CHE VANNO INOLTRE BEN INTERVALLATE IN MODO DA CONSENTIRE IL **RIPASCIMENTO NATURALE** E RIPRISTINARE TRAMITE I VIVAI DI POSEIDONIA ED ANCHE I RIVESTIMENTI DEI MONOPALI CON SPUGNE ARTIFICIALI PER GLI HABITAT ITTICI.

Il costo del *modulo prototipo sperimentale in vera grandezza a mare* è affidato alla valutazione degli appaltatori in base all'allegato computo e specie in base alle indagini ed ai rilievi della profondità del fondale e delle velocità delle correnti offshore/inshore. I costi si articolano principalmente in: simulazione, costruzione, materiali di prova, permessi, cantiere, varo, sicurezza, spostamento scogliere, monitoraggio e manutenzione biennali ed elaborazioni dati mensili, nonché adattamenti e riparazioni. Il costo della Ricerca sperimentale può essere incrementato per studiare

l'efficacia allo smorzamento delle correnti superficiali tramite le *attinie artificiali* e sul fondale tramite le *spugne artificiali* ambedue fisse su monopalo (fig. 11b).

In particolare per i costi assicurativi si attua la prevenzione rapida dalle effrazioni tramite allarmi collegati dalle variazioni dell'erogazione della corrente.

Il costo della *barriera prototipo* è ammortizzabile in base alle entrate di seguito delineate ed è riducibile al crescere della produzione in serie ed al crescere dei kW/m del sito prescelto.

L'uso di smorzatori fissi alternati alle giranti va valutato anche alla luce del contenimento dei costi.

Ipotizzando una potenza media del 50% della potenza massima della barriera di 50 moduli con 100 turbine (Fig. 8) si ottengono $15 \times 100 = 1,5$ MW che, per circa 4000 ore o 50 % annue, producono 6 GWh/y corrispondenti ad almeno 1 milione €/anno, che però con i vertiginosi aumenti degli ultimi anni possono far crescere molto sia le spese che le entrate.

Sulle rinnovabili senza storage vanno temperati gli effetti dal prezzo marginale del gas.

Essendo la vita delle barriere dell'ordine di 25 anni, si avvierebbe una favorevole ripresa economica delle attività balneari, con recuperi delle dimensioni delle spiagge erose di vari ha / km.

Si realizzerebbe infatti un importante riconversione della *spending review pubblica* e il significativo vantaggio economico attraverso il recupero in media di almeno 1000 €/m²/anno di spiaggia per gli stabilimenti balneari riqualificati per i turisti, rendendo molto competitiva la proposta.

Oltre alle entrate da energia elettrica si può arrivare *per ogni m/km di spiaggia ad 1 milione €/anno fino a oltre 10 milioni in pochi anni* di recupero, anche promuovendo un *contributo di scopo*.

Il finanziamento pubblico, come per le autostrade, potrebbe partecipare agli utili,

Analogamente con 100 moduli e 200 turbine si possono produrre fino a 20 GWh/y e incrementare fortemente i 1000 m²/km/y per ogni metro di spiaggia non più erosa, raddoppiando le entrate annue.

Altra importante entrata viene da forte assorbimento di CO₂ dalla poseidonia protetta.

Nella fase innovativa iniziale peraltro *più che tali ritorni da ROI* è necessaria la forte *sussidiarietà del finanziamento pubblico* che realizzerebbe *importanti risparmi* in manutenzione delle scogliere e dei ripascimenti e in *prevenzione dei danni da mareggiate specie in coste di alto valore*.

L'iter burocratico (Permessi Soprintendenza, Capitaneria di porto, ecc.) e la progettazione esecutiva e soprattutto la costruzione si ipotizza sviluppabile in meno di 2 anni, per rientrare poi nel Pnrr con appalti collaudati. Il finanziamento pubblico/privato si potrebbe ammortizzare nei tipici tempi bancari e continuare a rendere nell'ordine di altri 20 anni con manutenzione periodica, con enorme potenzialità di lavoro nel campo della Green Economy. Si promuovono Benefit Company e una cruciale riconversione industriale con una produzione in serie che innescerebbe anche una tipica sensibile riduzione dei costi.

Il confronto poi fra i *costi di 1 kilometro di barriera* e i costi dei *mega-eolici offshore* da 3 MWp, in appalto nel Mar di Taranto del 2019 da 8.200.000 € (approssimanti il fotovoltaico), consente di desumere che un modulo da 2 turbine piccole da 30 kWp di picco corrisponderebbero a 200.000 €, sensibilmente da incrementare in base all'aumento dei costi degli ultimi anni.

Il confronto è ancor più competitivo con i *giganteschi eolici offshore galleggianti* da 15 MW proposti 27 a Civitavecchia e 62 galleggianti a 25 ÷ 40 km da Budoni da parte di Falk-Blue Float.

Si evidenzia che l'eolico offshore galleggiante alto oltre 250 m è passibili di rollii, beccheggi e imbardate, inoltre su fondali profondi i rischi di rottura degli ancoraggi sarebbero disastrosi.

Analogo confronto è con il *mini-idroelettrico fluviale* ad esempio ciascuno da 4.000.000 € e 0,8 MW in costruzione sull'Arno con costi per un modulo da 60 kW di 300.000 €/2019.

Si auspica inoltre un *confronto fra Energy reef* e i vari convertitori marini, anche tipo ISWEC-Eni, PEWEC-Enea (§1), sostenuti da finanziamento pdi grandi Enti..

Il confronto poi con i costi del *fotovoltaico* analoghi ai predetti, 3 MWp/km richiede 1 ettaro di estensione, senza considerare iinterassi di montaggio/anutenzione ed inclinazioni, con erogazioni solo diurne e a bassa produzione < 1 MWp proprio d'inverno, e che comporta il costo dell'impianto di accumulo, oltretutto con 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. Considerando i rendimenti e le durate si evidenzia che 10 MW fotovoltaici erogano in media 10 GWh/y mentre la barriera proposta 40 GWh/y

Ai fini solo antierosione sono peraltro meno costose le nuove “trappole sabbiose invernali” (Teti), testate lungo il litorale di Torre Guaceto (Bari), assimilabili peraltro alle protezioni naturalistiche delle dune, ma senza i predetti vantaggi di produzione di elettricità. Analogamente nel caso di vento forte che spazza la sabbia per contrastare l’erosione della spiaggia si usa anche spruzzare acqua.

Per inciso sia consentita una forte digressione sul confronto con le spese di sola ricerca sperimentale riguardanti la *fusione nucleare*, ad oggi di 13 miliardi €, che promette produzioni praticamente illimitate, lascia però la possibilità di fondi ben più piccoli per la produzione di energia marina che, pur se *decisamente minore*, potrebbe essere sfruttata subito proteggendo centinaia di chilometri di spiagge in erosione.

Realizzazioni in corso nel mondo riguardano invece le moderne centrali a *fissione nucleare* dell’ordine dei 100 MW (costi intorno a 12.000.000 €/MW) anziché 1000 MW in modo da avere il fondamentale raffreddamento in emergenza in pochi minuti e tramite barre di uranio rigenerate con scorie residue solo all’1% depositate in bunker (soluzione ancora solo proposta in Italia per i rifiuti radioattivi, lasciati in depositi provvisori!). I costi oltretutto sarebbero contenuti se si riciclasse l’uranio militare (radiato al 92%) in civile (radiato al 5%), nell’importante ricordo del progetto Mox di Edoardo Amaldi (*STES Atti 1992*) ottenendo una quantità enorme di elettricità e il disarmo delle testate nucleari, trasformando biblicamente le armi in falci.

Le testate a Ghedi ed Aviano sono altrimenti indistruttibili, ma abbiamo paura solo del civile, mentre produrrebbero un “mare” di corrente elettrica senza CO₂, recuperando inoltre le enormi spese militari. I pericoli apocalittici di guerra sulle centrali atomiche civili, per la sicurezza antiterrorismo, si possono realizzare proprio nei bunker sotterranei militari, realizzando un concreto disarmo.

Si supera lo svantaggio da uranio, ma con >> GWh/y, assente con le rinnovabili, ma << GWh/y.

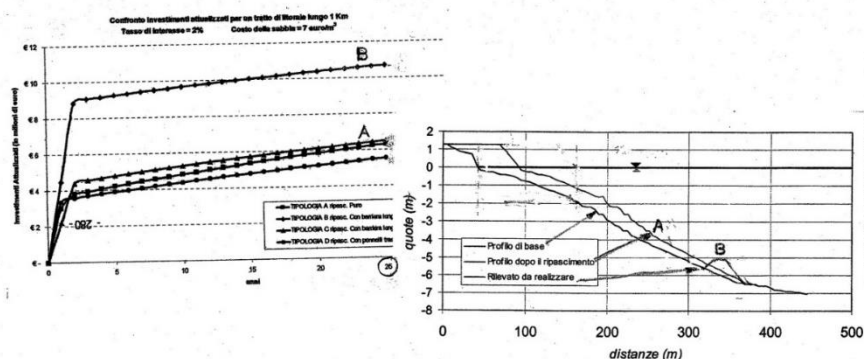


Figura 17a Costi dei ripascimenti artificiali e delle scogliere emergenti

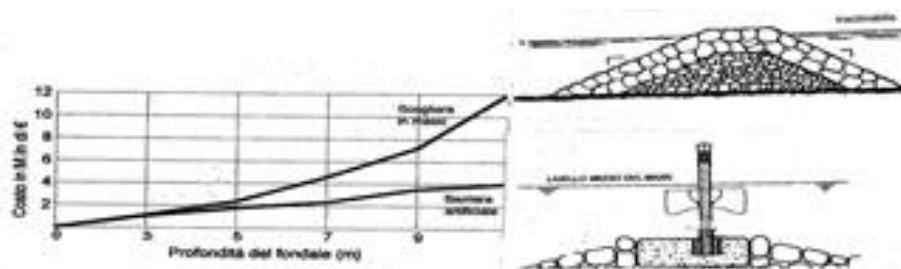


Figura 17b Competitività dei costi barriere/ scogliere con la profondità del fondale

Tornando alla produzione di *energia eolica* in Italia è poi prossima ai 10 GW, con un ulteriore interessante contributo dato dalla sopra descritta estesa produzione di *energia marina*, coadiuvata dallo storage. Questo aiuterà sia la green economy globale-locale delle energie rinnovabili sia soprattutto la protezione delle spiagge sabbiose con le nuove barriere.

Si noti che anche le turbine mosse da colonne oscillanti installate nei cassoni del molo di Civitavecchia (20 kW) o nei muri di sottoscarpa del lungomare a Lipari (10 kW) non consentono tali vantaggi economici del recupero delle spiagge erose come con le barriere.

L'investimento per 1 km di costa è incrementabile a seconda dell'energia cinetica marina in eccesso da smorzare, ma con conseguente significativo incremento di energia elettrica, in base all'estensione e al numero delle giranti. Solo per sorridere la protezione dalle correnti marine dovute a 50 giranti/km si potrebbero assimilare alle 50 nereidi che nella mitologia greca presiedevano la calma del mare.

Si noti che al crescere della profondità del fondale basta allungare con poca spesa la lunghezza del palo (Fig. 17b), ben al contrario delle scogliere che hanno sezioni trapezoidali invece con pendenze dele scarpate rapidamente crescenti, specie per resistere alle forze di filtrazione erodenti.

I costi iniziali di 1 km di *ripascimenti artificiali*, congruamente estesi come in fig. 17a, nel 2017 erano di 4 milioni €, anche incrementati dalla realizzazione di una *scogliera soffolta* per proteggere il ripascimento dallo scalzamento al piede, nella *fascia simile a quella di ubicazione della barriera*.

I costi di manutenzione sono poi crescenti linearmente ogni nuova stagione balneare, anche tali stime vanno riformulate in base agli aumenti dei prezzi, specie della sabbia, negli anni recenti.

I *costi attuali delle scogliere e dei ripascimenti*, in carenza d'inerti di qualità e chiusura delle cave, sono ancor più paragonabili con quelli della nuova barriera proposta.

I costi poi delle *manutenzioni stagionali*, tipo ricarica dei massi scoscesi (rifioritura o primaverizzazione) o nuovi ripascimenti dopo ogni inverno con scalzamenti devastanti causati dalle mareggiate, sono sicuramente maggiori di quelli della barriera proposta.

Il *controllo in opera* delle quantità di progetto, specie dei ripascimenti, richiede inoltre per essere validati, di misurare i m³ depositati tramite rilievi batimetrici finali di precisione e la conformità planimetrica e granulometrica delle sabbie con quella preesistente sulla spiaggia naturale.

BARRIERA SPERIMENTALE DA 50 MODULI

Articolati lungo 760 m ipotizzati a 300 m dalla costa

interassi di prova 200 m da 20 m, 360 m da 12 m, 200 da 20 m

RILIEVI BATIMETRICI

6 tramite drone marino dopo ogni mareggiata (tipo plugging)

su una superficie del fondale di 20 ettari

ENERGIA ONDE MARE TIRRENO = 5 kW/m

LARGHEZZA CONVOGLIATORE - GIRANTE 4,8 m

POTENZA UTILIZZABILE TURBINE MODULO 50 % 60 Kw = 30 kW

TEMPI DI EROGAZIONE 50 % anno = 4000 h

ENERGIA PRODOTTA 50 MODULI = 6 GWh/anno

ENERGIA ONDE MARE DI SARDEGNA 10 kW/m → 10 GWh/anno

Figura 18 Esempio di barriera sperimentale (v. planimetria parabolica nel computo)

I costi delle barriere dipendono anche dall'interasse di ogni modulo disponibile a pettine per "filtrare" le perdite di carico delle correnti marine; la lunghezza complessiva è diradabile nei casi in cui si può smorzare meno energia cinetica, con conseguente riduzione dei costi delle barriere.

La sperimentazione (§ 6) si può anche articolare in 2 fasi: la prima mirata all'efficienza elettrica delle turbine con un modulo prototipo, la seconda, ben più importante, mirata all'efficienza della barriera antierosione, con rapporto benefici/costi della ricerca potenzialmente molto vantaggiosi.

La valutazione dell'*efficienza antierosione* della barriera, proprio nello spirito del metodo osservazionale, nel caso dell'adeguamento, può prevedere l'integrazione di altri moduli di rinforzo, anche ridistribuendo e concentrando quelli realizzati, in modo da arrivare al collaudo.

In caso di successo l'appalto può essere esteso all'eliminazione di tutte le scogliere prospicienti al litorale, con riqualificazione del paesaggio, seguito possibilmente dalla predetta macinazione per il ripascimento artificiale idoneo, integrato anche dai dragaggi dei porti e dai rimodellamenti dei fondali, nonché da un'estensione del uso della barriera di turbine.

In proposito si evidenzia che la riconversione proposta potrebbe difendere molti km di spiagge, cominciando a sostituire i 1291 km di scogliere, e con un contributo di produzione rinnovabile di circa 10.000 GWh/anno (10 miliardi kWh/y), ovvero 1/30 di quelli che si consumano in Italia, favorendo lo sviluppo della *Transizione Ecologica*.

È notorio peraltro che le rinnovabili non possono coprire i consumi totali, specie se si confrontano con i 75 miliardi di m³ di gas ($\approx 11 \text{ kWh/m}^3$).

Si può poi usufruire dei vantaggi fiscali riguardanti le startup innovative, da sostenere con *fondi pubblici/privati (fundraising)* specie da parte di consorzi di *gestori di stabilimenti balneari, e dei proprietari di posti barca*, ovvero dei principali fruitori dei vantaggi economici delle barriere che recuperano spiagge.

L'esito positivo della sperimentazione aprirebbe la possibilità di ripristinare le storiche cooperative edilizie o un azionariato diffuso sostenuto dalle grandi liquidità inutilizzate, in quanto bloccate spesso da timori di speculazioni.

La durata di vita delle barriere di turbine consente 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.

Le turbine non producono poi rifiuti (economia circolare) in quanto i monoblocchi possono essere riciclati per la produzione di nuove turbine oppure, mentre sono ancora in servizio, possono essere *trasferiti a protezione di altri litorali*. Tale circostanza è infatti molto fattibile *dopo la ricrescita della poseidonia e delle ostriche*, specie in forma di vegetazione sovrapposta (*matte*) che costituisce le preziose dune sommerse naturali antierosione.

In ogni caso rimane la funzione di smorzamento statico della barriera, anche se non è energizzata, come collaudato da decenni con il tipo Ferran (1980) sulla spiaggia di S. Maria di Potenza (MC).

Si ribadisce che i moduli su mono-palo possono essere impiegati anche per sostenere degli smorzatori fissi tipo attinie da estendere per 200 m ai lati della barriera supposta a 500 m dalla costa, attinie (Fig. 11b) anche senza turbine.

Altri 200 m possono essere smorzati su fondali più bassi alle estremità delle barriere tramite i materassi tipo *reef ball* (Fig. 11b) (Reef Ball Foundation in Athens, Georgia, USA) che spruzzano l'acqua verso l'alto per spezzare le correnti, o con elementi forati tipo *Tecnoreef* (Ferrara) o *Oceanus* (Budoni), effettuando anche un'interessante sperimentazione con varie protezioni, tipo *spugne artificiali*.

Le turbine diventano quindi particolarmente competitive dal punto di vista economico nella *riconversione dell'attuale difesa tradizionale* in quanto si ribadisce che la manutenzione annua è sostenuta dalla produzione di corrente elettrica.

Tale produzione contribuisce inizialmente poco alla progressiva transizione ecologica da fonti fossili a rinnovabili è invece *molto valida per rinnovare subito gli appalti delle Opere Marittime rendendoli veramente ecologici*.

Il costo delle prove, togliendo poche scogliere, è ampiamente giustificato dal fatto che aprirebbero i predetti possibili interessanti sviluppi economici.

Si evidenzia che un rilevante finanziamento in Europa e in Cina per la produzione di energia marina (WEC Wave Energy Converter) è in pieno sviluppo.

17 – CRITERI DI RICERCA SPERIMENTALE E APPALTO

I criteri dovranno naturalmente rispettare il nuovo regolamento degli appalti europei, con particolare riguardo al criterio sperimentale incentrato sull'iniziale Ricerca dell'efficienza del prototipo, su poi il *confronto con altre soluzioni* specie sui *costi di manutenzione* che sono ben temperati dalla produzione di elettricità e non sono periodicamente a carico della spesa pubblica.

Importante criterio dei nuovi appalti europei è quello del *PFTE Progetto di Fattibilità Tecnico Economica* che sostituisce il Progetto Preliminare ed in cui si confrontano le varie proposte alternative rispetto a quelle in progetto specie per il rispetto urbanistico e ambientale. In particolare va redatto lo stralcio del documento (*DOCFAP Documento di Fattibilità delle Alternative Progettuali*, prodromico del *DIP Documento d'Indirizzo alla Progettazione*) per mezzo del quale si è giunti alla pianificazione del luogo dell'intervento, e la relativa localizzazione, riportando anche *altre soluzioni possibili*.

In tale ottica la nuova barriera è confrontata sia con le scogliere ed i ripascimenti artificiali o la protezione naturalistica delle dune per la protezione delle coste sia con il fotovoltaico e l'eolico, specie offshore galleggiante, per la produzione di energia rinnovabile.

Si evidenzia che la proposta (§ 4) di riconvertire con la nuova barriera di turbine un appalto di ripascimento o scogliere o pennelli, rivelatisi inefficaci a protezione di spiagge erose; può essere attuata *in esclusiva* da parte della stazione appaltante in quanto usufruirebbe della licenza d'uso *Energy Reef* ad esempio tramite intenti convenuti con i progettisti del prototipo titolari della proprietà intellettuale, per cui vige il deposito legale al CNR e del Brevetto.

Molto interessante è anche la costituzione di una Benefit Corporation che temperi la gestione profit con quella non profit per la salvaguardia dell'ambiente.

Tale possibilità dell'esclusiva è richiamata per favorire l'impresa che avvia la procedura di realizzazione nello spirito della *ricerca sperimentale* sulla nuova barriera di turbine, soprattutto con apertura verso articolati sviluppi delle protezioni in sostituzione delle scogliere e ripascimenti artificiali.

In proposito si allega un computo metrico che va integrato con un convenuto *capitolato di qualità* per valutare i costi che devono essere oggetto di selezione per l'aggiudicazione poi in esclusiva.

Il successo della ricerca è fortemente attuabile raffittendo il numero dei moduli, per cui si potrebbe arrivare al *collaudo partendo da 100 moduli/km* o diradandoli poi a seconda del tratto da proteggere.

Si può soprattutto usufruire del *metodo osservazionale* NTC2018 consentito ad esempio per consolidare le frane o le gallerie, o specie come già si è attuato con altri interventi antierosione.

Ciò può essere sviluppato da un *Consorzio Energetico-Turistico pubblico/privato* di gestori degli stabilimenti balneari e dei posti barca (*outcome funds*). Ciò essendo finalmente stati avviati in Italia i decreti attuativi per le *Comunità Energetiche* e con i permessi delle Soprintendenze si spera favoriti dal recupero del paesaggio costiero deturpato dalle scogliere.

L'attualissimo problema delle *concessioni balneari*, circa 30.000, incamerabili dello Stato alla scadenza demaniale, deve basarsi sulla stima dei beni immobili realizzati, naturalmente non abusivi ed ecologicamente sostenibili e nel rilascio e manutenzione anche delle spiagge libere a riserve naturali, favorite dal proposto recupero del litorale eroso.

Proprio il sostegno alla costruzione della barriera antierosione ed energizzata, offre un valore aggiunto alla prelazione sulle concessioni e può essere supportato da un consorzio di gestori,

Vanno ripresi gli esempi di Comunità energetiche già attuate in Italia, tipo Azienda Energetica Prato con 1443 soci e 21 GWh/anno da mini centrali idroelettriche, passibili peraltro di carenze di acqua che sono assenti invece a mare.

Peraltro le norme italiane, al contrario di quanto fatto in passato o permesso in tante altre Nazioni, consentono Comunità con potenza non più limitata ad 1 MW di cabina primaria del Consorzio, peraltro in via di nuovi sviluppi della rete e degli stoccaggi e specie della *quota di costo autonomo di vendita del kWh*.

Comunque 1 MW corrisponde a pochi moduli proposti che con un funzionamento di 4000h/anno alimentano una Comunità in media di 1500 famiglie, o colonnine di ricarica rapida delle barche e della auto, rendendole più facilmente attuabili e ripartite sul territorio.

L'iniziativa se validabile è fattibile anche con finanziamenti privati e di singoli cittadini, come realizzato in vari *Comuni virtuosi*, specie nel campo del riciclo dei rifiuti, con la *progettazione partecipata anche per contratti di foce dei fiumi, estesi di recente alle coste*.

La Regione Lazio sta promuovendo la *Sea Blue Economy* partecipando al Mistral programma Interregionale del Mediterraneo, che prevede anche lo sviluppo dell'energia dal moto ondoso a cui le Aziende previste nel sopradetto cronoprogramma possono usufruire del progetto *Energy Reef*.

Si evidenzia che nel rispetto dei canoni di *appalto europeo* la scelta dei maggiori costi dei moduli per rispettare la qualità e durata ad esempio della glebanite è molto compensata dalla riduzione dei *costi di manutenzione e riciclo*, che diventa rigenerazione e riuso.

Le barriere potrebbero poi servire, come una sorta di guard rail, per la cosiddetta autostrada del mare per la storica navigazione turistica sottocosta per principianti.

Il confronto poi con la manutenzione di 25 anni di ripascimenti e scogliere sistematicamente asportati dalle mareggiate e decisamente a vantaggio delle nuove barriere.

Si evidenzia la riduzione dei costi di 2 appalti in *1 solo di protezione coste e produzione di energia*.

Le barriere sono pertanto competitive nei costi specie di manutenzione e soprattutto si ribadisce che diventano ampiamente convenienti, rispetto alle altre rinnovabili se si considerano: la copertura dei costi tramite la produzione di corrente e i grandi vantaggi economici nel recupero delle spiagge erose specie da parte dei gestori degli stabilimenti balneari: *Comunità energetico-turistiche tipo Prosumer*.

18 – AUDIT, PREVENZIONE E TRANSIZIONE ECOLOGICA

Il controllo, specie satellitare, dei *1291 km di difese rigide* ne ha evidenziato la scarsa efficacia e i danni fino alla desertificazione dei fondali, tanto che in vari Stati USA le scogliere sono state proibite.

Fondamentale è l'audit (ISO9000) dell'attendibilità dell'efficacia delle nuove barriere proposte, in particolare nel recupero delle spiagge non vanno considerarsi i $\pm 5m$ di erosione/ripascimento naturale inverno/estate, oscillazione media. Ben maggiore è l'erosione della maggior parte dei 3.300 km di spiagge, in particolare sabbiose e specie di larghezza minore di 50 m (ISPRA 2020 - 2022).

L'auspicato successo della ricerca sperimentale iniziale, tenendo conto che nessun intervento sui dissesti idrogeologici è a rischio zero, apre una via alla *prevenzione* per la protezione delle coste.

L'inefficacia delle scogliere, sperimentata con gli sconvolgimenti dei fondali registrati con i rilievi satellitari, evidenzia l'importanza di sperimentare nuove proposte per arginare e prevenire l'erosione delle coste.

Si ribadisce che la realizzazione della barriera opportunamente fitta davanti ad un tratto di scogliere tolte (Figure 10) consente di accelerare la prova riguardante l'efficacia della nuova protezione e consentire di passare dalla ricerca al collaudo.

La produzione di energia marina, peculiare per l'Italia circondata dal mare, favorisce il cruciale *rilancio di REpowerEU* contribuendo la transizione pressata dalla politica industriale verde USA, specie del GNL al posto del gas della Russia, e dalla produzione dei pannelli fotovoltaici in Cina.

Fondamentale è lo sviluppo dell'innovazione sostenuto dalla spesa pubblica sussidiata poi dai privati in modo da partecipare agli sviluppi socio-economici, come prima descritto (§ 16).

BIBLIOGRAFIA

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).

CHERDVONG SAENGSPAVANICH, and Co-Authors (2022) *Environmental impact of submerged and emerged Breakwaters*, Volume 8, Issue 12, Kasetsart University, Bangkok Thailand.

GNRAC Gruppo Nazionale di Ricerca sull'Ambiente Costiero (2025) *La rigenerazione costiera come fattore chiave per l'adattamento ai cambiamenti climatici*, Ecomondo, Rimini.

JACK EMILY (2010), *Coastal Erosion and the Ban on Hard Structures*, NCPedia. State Library of NC.

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.

SUPINO G. (1965) *Idraulica generale* Editrice Patron, Bologna.

UNEP (2008) Protocol on integrated coastal zone management in the Mediterranean; e GIDAC Gestione Integrata per la Difesa e l'Adattamento della Costa, Regione Emilia Romagna.

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, e Poster.

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@sigeaweb.it

Pubblicazioni e Documentazione on line di Energy Reef www.steseoetica.it
