ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI

ATTI DEI CONVEGNI LINCEI
266

XI GIORNATA MONDIALE DELL'ACQUA

ACQUA ED ENERGIA

(Roma, 22 marzo 2011)

ESTRATTO

ROMA 2012
SCIENZE E LETTERE
EDITORE COMMERCIALE

MICHELE GRECO [a], GIOVANNI MARTINO [a]

RECUPERO DI ENERGIA DAL MOTO ONDOSO A PROTEZIONE DEL LITORALE IONICO LUCANO

La ricerca e l'applicazione di tecnologie rivolte al recupero di energia da fonte rinnovabile rappresenta la sfida continua degli ultimi anni, soprattutto nella visione di una possibile integrazione di sistemi produttivi a valore ambientale aggiunto. È in tale visione che ricade la continua sperimentazione sull'impiego di dighe a cassoni subacquei, oltre che per la difesa dei litorali, anche per la conversione di energia ondosa in energia elettrica (REWEC1: Boccotti 2003; Boccotti 2004; Arena *et al.* 2003; Arena *et al.* 2004).

Gli importanti contributi, reperibili in letteratura, sulla valutazione dell'efficienza e della stabilità delle barriere di tipo REWEC1 come opere di difesa, forniscono dati interessanti che rivelano ottime rese sia in termini di riduzione dell'energia trasmessa sia di conversione in energia elettrica. In particolare si stima che la barriera sommersa sia in grado di smorzare mediamente al 60% l'onda incidente e, quindi, circa il 40% su base annua dell'energia del moto ondoso che investe la costa. Pertanto, trattandosi di energia che non ritorna verso il mare aperto, la prospettiva di non disperderla ma convertirla in energia elettrica, appare interessante in un contesto, come quello attuale, in cui la ricerca di nuove tecnologie pulite per la produzione di energia elettrica da fonti inesauribili e rinnovabili, possibilmente ad impatto ambientale ridotto, è in continua evoluzione.

La stima del contenuto energetico associato al moto ondoso che, su base annua, ha investito il litorale ionico lucano negli ultimi decenni, ha condotto a risultati particolarmente interessanti che, nella natura del processo, vede valori maggiori nei periodi autunnali e invernali per poi ridursi sensibilmente in quelli estivi. Pertanto la valutazione della potenzialità dell'opera in termini di producibilità elettrica è stata eseguita prendendo in considerazione

[a] Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente – Università degli Studi della Basilicata – Via dell'Ateneo Lucano, 10 – 85100 Potenza.

i soli mesi invernali quando il litorale è investito dalle mareggiate più forti, trascurando il contributo, di minima entità, dei mesi estivi.

La stima della disponibilità energetica associata al moto ondoso può essere effettuata attraverso diverse metodologie: nel presente lavoro è stato utilizzato il metodo CR2 (Filianoti 2000).

Non essendo disponibili rilievi diretti dell'altezza d'onda è stato applicato un modello previsionale di tipo indiretto (Greco *et al.* 2004) automatizzato su piattaforma informatica a partire dai dati anemometrici acquisiti dalla stazione di Ginosa Marina afferente al Centro Nazionale di Meteorologia e Climatologia Aeronautica di Pratica di Mare e riferiti al periodo di funzionamento (01/01/1968 - 30/04/2010).

Disponendo dei dati ricostruiti di altezza d'onda significativa, *Hs*, ognuno dei quali associato ad uno stato di mare vivo (Greco *et al.* 2004, 2010), è stato possibile stimare l'energia media mensile, per unità di lunghezza della costa e per tutte le direzioni comprese nel settore di traversia del paraggio investigato, E_m, mediante la relazione:

$$E_m = N \cdot \Phi_m \cdot \Delta t \qquad (1)$$

dove Δt rappresenta l'intervallo temporale che intercorre tra due registrazioni di stati di vento in grado di generare uno stato di mare vivo, Φ_m è il flusso medio mensile di energia, valutato dalla:

$$\Phi = 0.056 \cdot \rho \cdot g^{1,5} \cdot H_s^{2,5} \qquad (2)$$

con l'ovvio significato dei termini ρ e g. La distribuzione mensile dell'energia media è riportata in figura 1 che evidenza come il flusso maggiore ricada normalmente nei mesi autunnali-invernali con valori massimi prossimi a circa 2000 kWh/m.

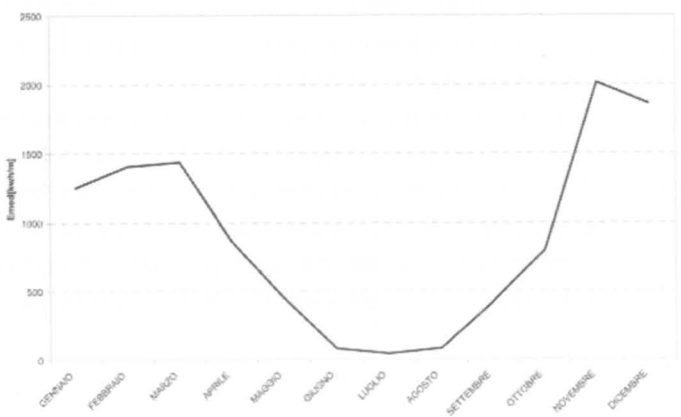

Fig. 1. – Andamento medio mensile dell'energia del moto ondoso incidente.

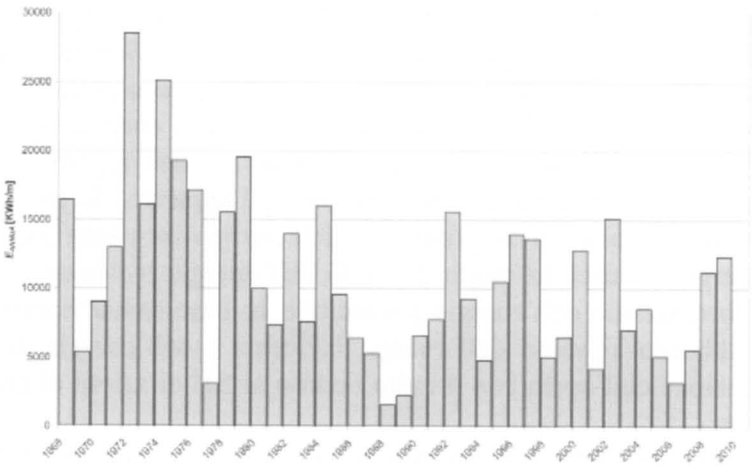

Fig. 2. – Distribuzione dell'energia media annua nel periodo di osservazione.

In figura 2 è riportata la distribuzione dell'energia totale omnidirezionale media annua resa disponibile dal moto ondoso per il periodo di osservazione, che manifesta un accentuato *trend* decrescente, attestandosi sul valore medio di circa 11000 kWh/m.

Il risultato ottenuto, derivato dal metodo indiretto, appare coerente con quanto rilevato da Filianoti (2000) nell'analisi globale condotta a partire dai dati ondametrici della rete nazionale (RON).

La figura 3 riporta la distribuzione su base stagionale del contributo energetico medio annuo che evidenzia come nell'ultimo decennio i contributi maggiori provengano dal periodo autunnale a fronte di inverni sensibilmente miti.

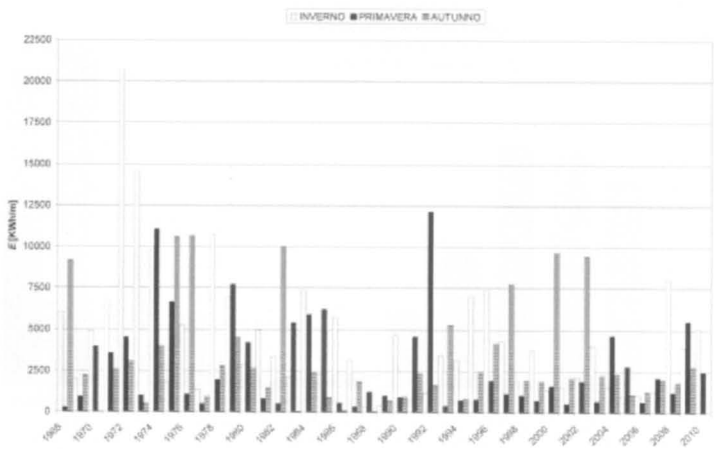

Fig. 3. – Distribuzione dell'energia media annua su base stagionale.

I recenti risultati proposti a livello di sviluppo tecnologico degli impianti tipo REWEC, a corpo sommerso, propongono valori del rendimento decisamente in aumento con capacità di assorbimento prossima al 50% dell'energia annuale incidente e percentuali in resa di energia elettrica fino al 30% dell'energia disponibile. Sulla base di tali dati reperibili in letteratura, si è ipotizzato un comportamento dell'apparato di trasformazione che fornisse valori di assorbimento dell'energia incidente pari al 40% e dell'energia elettrica in uscita del 25% dell'energia incidente, ottenendo così la distribuzione dell'energia producibile su base annua riportata in figura 4, abbinata ai valori dell'energia incidente e dell'energia dissipabile per interazione dell'opera con il moto ondoso ai fini di azioni di protezione della costa.

Proprio quest'ultimo aspetto rimarca la valenza del sistema REWEC in relazione alla possibilità di maturare azioni di mitigazione del moto ondoso e del relativo effetto erosivo, operando un recupero energetico a favore della produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile. Il problema, in tale visione, sposta i criteri di valutazione dall'ambito prettamente tecnico e tecnologico a quello economico finanziario, richiedendo la determinazione delle condizioni di bilanciamento tra l'entità degli investimenti da mettere in campo per la realizzazione di siffatti sistemi di produzione energetica, ivi comprese le risorse per la manutenzione e la gestione ordinaria, e l'ammontare dei ricavi corrispondenti alla vendita dell'energia prodotta ed alla corrispondente incentivazione che il sistema normativo nazionale rende disponibile.

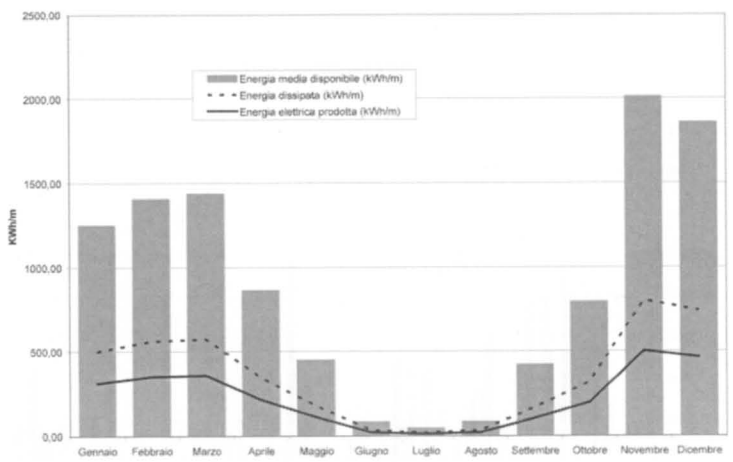

Fig. 4. – Raffronto mensile dell'energia media producibile e delle aliquote dissipabili e recuperabili in energia elettrica per metro lineare di costa.

A partire dall'ipotesi di poter operare un'azione di mitigazione del moto ondoso incidente la costa mediante barriere soffolte, con riferimento ai dati sopra discussi relativi al paraggio ionico lucano, si propone un'analisi economico-finanziaria di massima redatta secondo lo schema analitico di cui alla parte II allegato alla Delibera CIPE del 27 maggio 2005, a cui le Amministrazioni Pubbliche devono attenersi per poter accedere all'assegnazione a carico delle risorse di cui all'art. 13, comma 1, della legge n.166/2002 "Disposizioni in materia di infrastrutture e trasporti" in linea più generale, a valere sui fondi di cui all'art. 1, comma 7, lettera f, del decreto legislativo n. 190/2002 "Attuazione della legge 21 dicembre 2001, n. 443, per la realizzazione delle infrastrutture e degli insediamenti produttivi strategici e di interesse nazionale" e s.m.i., nonché con riferimento al regime di incentivi e tariffazione di cui alla Legge Finanziaria 2008, così come modificata dalla Legge 99 del 23/7/2009 e s.m.i.

In particolare la stima è stata implementata trascurando gli elementi legati alla gestione del capitale, senza identificare gli indicatori di redditività, poiché l'obiettivo risiede nel valutare l'opportunità di realizzare tale intervento in termini finanziari, in relazione alla alternativa principale di costruire un'opera energeticamente equivalente in termini di abbattimento del moto ondoso ma "passiva" ai fini del recupero, quale può essere una semplice opera soffolta. In quest'ultimo caso, infatti si presentano solo due voci di costo principali che sono quella di investimento e quella di manutenzione annua.

Il metodo applicato è quello dei flussi scontati, secondo cui tutti gli effettivi ricavi ed esborsi monetari generati dal progetto durante la sua vita utile sono aggregati e scontati e sintetizzati nel solo indice di perfomance del VAN.

Nel caso specifico, l'analisi è stata effettuata a prezzi ipotizzati costanti durante la vita utile dell'opera e senza individuare un indicatore sintetico di rendimento, in quanto, in una visione sperimentale del sistema proposto, non si vuole pervenire ad una verifica della remunerabilità del capitale investito, ma bensì valutare, con l'andamento del rapporto costi/ricavi operativi rispetto alla producibilità energetica del sistema a cassoni (al netto della possibilità di usufruire di altri benefici "finanziari"), il valore aggiunto alla protezione del litorale che tale sistema consentirebbe comunque di ottenere.

Il VAN è stato stimato dalla relazione:

$$VAN = -I + \sum_{k=1}^{n} \frac{R_k - C_k}{(1+i)^k} + \frac{V_r}{(1+i)^n} \qquad (3)$$

con I l'investimento iniziale, R_k e C_k rispettivamente ricavi e costi annui, i il tasso di inflazione medio, fissato a 1,67% quale media degli ultimi tre anni.

Oltre ai costi di investimento, stimati sulla base di analisi di mercato, sono stati considerati quelli per la manutenzione delle opere e della componentistica, pari al 2,5% annuo dell'investimento iniziale attualizzato all'an-

no generico, e per la sostituzione dei componenti a vita "breve" rispetto all'orizzonte temporale, ossia per la sostituzione delle apparecchiature elettroniche e delle turbine, per le quali è stata assunta una vita utile di 12 anni. Nel flusso di cassa questa voce, pari al 10% del valore delle apparecchiature, è stata imputata una tantum al dodicesimo anno di esercizio.

Si è considerato opportunamente il valore residuo delle opere pari al 60% dell'investimento iniziale attualizzato al ventesimo anno, in quanto, a fine periodo, il sistema continua a funzionare come semplice opera di protezione che garantisce circa la fruibilità del litorale alle economie turistiche comunque presenti.

La produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile, è regolamentata nelle sue voci, in riferimento al regime di incentivi e tariffazione, dalla Legge Finanziaria 2008, così come modificata dalla Legge 99 del 23/7/2009 e s.m.i.

Le opzioni attuabili in relazione agli incentivi possono essere di due tipi alternativi, i certificati verdi (CV) e la tariffazione omnicomprensiva (TO). Nella Tabella 1 si riporta, sinteticamente, in relazione alla potenza ed alla produttività media annua ipotizzata su una barriera di lunghezza unitaria, le aliquote di incentivi ed il relativo costo minimo garantito di vendita dell'energia prodotta (Pmgcv e Pmgto).

TABELLA 1 – *Regimi di incentivazione per piccoli impianti.*

L	1	m	
Eas	2,68	MWh/m	Energia media annua
Ea	2,68	MWh	
Pmedia annua	0,31	kW	
Certificati Verdi			
dalla Tabella 2 allegata alla Legge Finanziaria 2008, così come modificata dalla Legge 23/7/2009 n. 99			
Ei	2,68	MWh	
k	1,80		
Ecv = k*Ei	4,82	MWh	
Durata CV	15	anni	
Pcv	112,82	€/MWh/anno	(aggiornato 2010)
Icv	543,87	€/anno	
Tariffa Omnicomprensiva			
dalla Tabella 3 allegata alla Legge Finanziaria 2008, così come modificata dalla Legge 23/7/2009 n. 99			
Ei	2,28	MWh	
Vto	340,00	€/MWh/anno	
Ito	773,99	€/anno	
Prezzo minimo garantito dal GSE al produttore			
per impianti < 500 MWh annui			101,80 €/MWh
Pmgcv	272,64	€/anno	
Pmgto	231,74	€/anno	

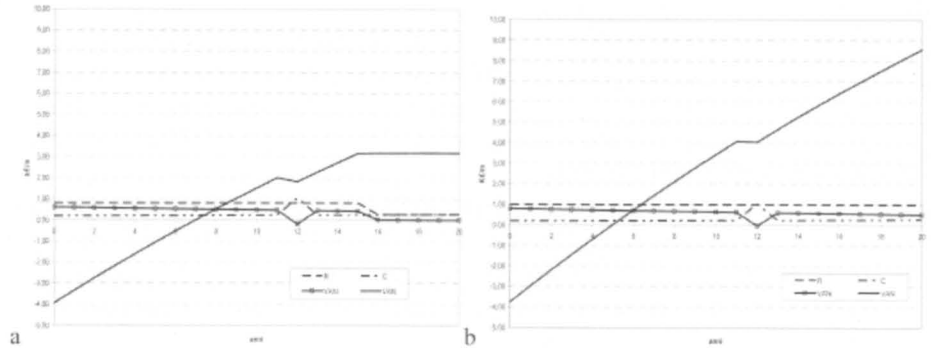

Fig. 5. – Il VAN secondo il regime di incentivazione a certificati verdi (a) e tariffa omnicomprensiva (b).

In particolare, con riferimento alla figura 5, data la dimensione e la potenza in gioco di circa 30 kW per 100 m di barriera, il sistema diviene particolarmente interessante nell'opzione di regimi di incentivazione del tipo a tariffa omnicomprensiva, che pone al sesto anno il punto di equilibrio, sempre nelle more delle ipotesi semplificative della presente analisi finanziaria. Del resto è immediato riconoscere che la redditività del sistema, nell'ipotesi di certificati verdi, si riduce sensibilmente allo scadere del quindicesimo anno di esercizio a cui corrisponde la cessazione degli incentivi.

Bibliografia

Arena F., Filianoti P., 2003. *A New Kind of breakwater for converting wave energy into electrical power*. In: *Fifth European Wave Energy Conference (EWEC), Ireland, Sept.*

Arena F., Filianoti P., 2004. *On a new wave absorber: the results of a small scale field experiment*. In: *Atti del XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, vol. 3: 493-502.

Boccotti P., 2003. *On a new wave absorver*, Ocean Engineering, 30: 1191-1200.

Boccotti P., 2004. *Dighe marittime che convertono l'energia ondosa in energia elettrica e "barriere" invisibili per la difesa delle coste*. In: *Atti del XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Vol. 3: 511-517.

Filianoti P., 2000. *La disponibilità di energia ondosa su varie aree del pianeta*. In: *Atti del XXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*.

Filianoti P., Camporeale S.M., 2005. *A linearized model for estimating the performances of sea wave energy converters (REWEC)*. In: *Proc. of the 6th European Wave and Tidal Energy Conference. University of Strathclyde, Glasgow, UK.*

Filianoti P., Piscopo R., 2006. *Sulla efficienza e stabilità di barriere sommerse Rewec 1 per la difesa costiera*. In: *Atti del XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*: 125.

GRECO M., MARTINO G., GUARIGLIA A., 2011. *Valutazione dell'indice di erosività marina applicata al litorale ionico lucano*, in revisione per la rivista L'Acqua.

GRECO M., MAURO A., MARTINO G., 2004. *Sviluppo, implementazione e validazione di una metodologia innovativa di previsione indiretta degli stati di mare nel lungo periodo*. In: *Atti del XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Vol. 3: 793-800. Ed. Bios.

GRECO M., MAURO A., MARTINO G., D'ERCHIA A., 2008. *Protezione costiera e produzione energetica. Applicazione al litorale jonico lucano*. In: *Collana Editoriale Studi e Ricerche, Autorità di Bacino della Basilicata: Coste Prevenire, Programmare, Pianificare. Atti del Convegno Nazionale di Maratea, 15-17 maggio 2008*, vol. 4: 159-168.

ISSN: 0391-805X
ISBN: 978-88-218-1053-4

SAGGIO CAMPIONE GRATUITO:
fuori campo applicazione IVA ed esente
dal documento di trasporto (art. 2, c. 3,
lett. d), del DPR 26/10/1972, n. 633
e DPR 14/8/1996, n. 472

€ 50,00