

Dall'Università del Mediterraneo Una diga per generare elettricità grazie al flusso delle onde

Anche i muri di una diga a cassoni sulle coste marine possono produrre energia elettrica, basta progettarli in modo che contengano camere d'aria e turbine. Il resto è compito delle onde. Una nuova diga tecnologica, brevettata da Paolo Boccotti dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria, genera elettricità con un metodo molto semplice: l'onda arriva alle pareti della diga e viene incanalata in un percorso a U fino a una camera d'aria. Qui la spinta dell'acqua comprime l'aria nella camera che a sua volta aziona una turbina self-rectifying. «La turbina ruota sempre, sia quando l'aria è compressa sia quando è decompressa dal flusso che si ritira — spiega Felice Arena, dell'Università Mediterranea e fondatore dello spin-off Wavenergy per la commercializzazione del brevetto —. Le pale si muovono sempre nello stesso verso, sfruttando la corrente d'aria nelle due direzioni».

Questo sistema si chiama Rewec (Resonant Wave Energy Converter) ed è il pronipote evoluto dell'Owc (Oscillant Water Column), già impiegato da parecchi anni. La differenza? Il Rewec è più efficiente del 20-30% rispetto al suo antenato e si adatta alle increspature del Mediterraneo. «È la risonanza ad amplificare l'effetto dell'onda — sottolinea Arena — l'Owc da noi non sarebbe competitivo. A parità di turbi-

na è come spostare un motore da una 500 a una formula 1».

Un chilometro di diga a cassoni in cemento armato produce in media 6-9 mila MWora all'anno nel Mediterraneo contro le 66 mila MWora in California (con onde alte due metri). Questa fonte rinnovabile incorporata in uno sbarramento piace a Renzo Piano che pensa di inserirla nel nuovo porto di Genova. Piace pure all'emirato di Dubai e al Belgio che la



Test Nelle acque di Reggio Calabria

vorrebbero attorno alle isole artificiali. Di sicuro, entro due anni si troverà nel porto di Formia e poi forse a Salerno.

Diversi i vantaggi: primo, la «diga-centrale elettrica» costa il 7-8% in più di quella normale. Secondo, non deturpa il paesaggio portuale perché dall'esterno non si vede nulla. Terzo, attenua gli effetti della tracimazione durante le mareggiate, smorzando il raddoppio dei cavalloni sulle pareti. Infine, non uccide i pesci perché le turbine lavorano sopra il livello dell'acqua. Certo, come tutte le fonti rinnovabili dipende dai capricci del clima: se in mare c'è calma piatta, non va.

Paola Caruso

© RIPRODUZIONE RISERVATA

R I C E R C A

L'energia alternativa delle onde dello Stretto

SUL LUNGOMARE FALCOMATÀ SI INAUGURA OKEANOS LAB, LABORATORIO DI INGEGNERIA MARITTIMA



Quello dell'Università Mediterranea è il laboratorio di ingegneria marittima primo in assoluto ad operare direttamente in mare anziché nelle tradizionali vasche attrezzate con macchine per la generazione di onde. L'idea del laboratorio è strettamente legata alla *teoria di quasi-determinismo* delle onde del mare. Come? Di seguito una breve storia.

La teoria di quasi-determinismo, che introdusse nella prima metà degli anni '80 afferma: se in un punto in mare, nel corso di una mareggiata, si forma un'onda eccezionalmente alta rispetto alla media, allora, per un certo intervallo di tempo tutt'intorno a quel punto, il moto ondoso evolve dalla forma caotica caratteristica della generazione da parte del vento, in una forma ordinata, regolare e, quel che più conta, prevedibile a priori con certezza.

Alla domanda: che cosa ci si può aspettare che accada quando un'onda eccezionalmente alta si forma in un qualche punto in mare aperto? la teoria risponde: con grandissima probabilità ti puoi aspettare che l'onda eccezionale si sia formata perché un ben preciso gruppo di onde è andato a investire in pieno il tuo punto,

al culmine della propria fase di sviluppo. Nel fornire questa risposta, la teoria rivelò per la prima volta l'esistenza in mare di quella struttura fisica ben definita che è il gruppo di onde, e ne svelò in toto la meccanica. Si trattava di una novità affascinante: i gruppi di onde si presentavano come delle famiglie di esseri viventi che avanzano in processione, con i vecchi in testa, gli adulti al centro, i giovani in coda. La teoria rivelava che le onde in seno alla famiglia hanno un ciclo vitale intensissimo: nel giro di pochi minuti nascono, crescono fino ad un massimo,

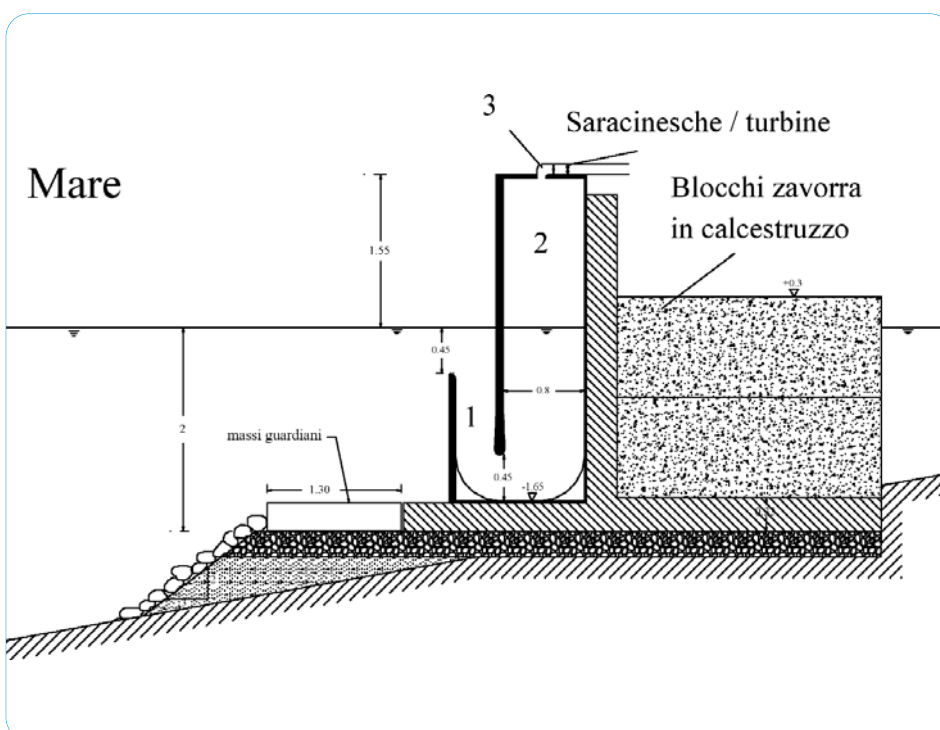
i gruppi di onde si presentavano come delle famiglie di esseri viventi

e poi vanno a morire. In questo modo le famiglie di onde si rinnovano continuamente, come le famiglie degli esseri viventi e, come le famiglie degli esseri

viventi – penso alle grandi casate – le famiglie di onde hanno una parabola storica: una fase di sviluppo che le porta fino al massimo splendore e poi una fase di decadimento.

Naturalmente ero ansioso di verificare se tutto questo era vero o no. La verifica, però, presentava costi proibitivi per noi. Ero dunque in una fase di stallo quando mi resi conto che la soluzione forse ce l'avevo davanti agli occhi. Osservando le piccole onde del mare di Reggio Calabria intuì che esse potevano rappresentare dei modelli in scala ridotta di forti tempeste. Dico *intuì* perché all'inizio mi basai solo su osserva-

zioni visive (traguardavo le piccole onde al loro passaggio per il sostegno di un pontilino) e misuravo i tempi con un cronometro. Feci un primo esperimento di verifica coadiuvato solo da allievi della Facoltà di Ingegneria e trovai una piena conferma: sì, le ondate di Reggio Calabria rappresentavano degli eccellenti modelli in scala ridotta di tempeste, modelli nella corretta similitudine idraulica di Froude la quale, tra l'altro, richiede che la scala dei tempi vada con la radice quadrata della scala delle lunghezze. Tutto ciò avviene spontaneamente a Reggio Calabria per una concomitanza straordinaria di fattori favorevoli che vanno dalla regolarità del



IL REWEC3 è una diga a cassoni, di nuovissima concezione, in grado di convertire l'energia ondosa in energia elettrica. La diga comprende al suo interno un polmone d'aria. L'acqua entra ed esce dal generico cassone attraverso un condotto verticale (1) che si estende lungo tutta la parete lato-mare, e il polmone d'aria (2) agisce come una molla. Una turbina self-rectifying (cioè una turbina che ruota sempre nello stesso verso quale che sia il verso della corrente) è posta in un tubo (3) che collega il polmone d'aria all'atmosfera. L'impianto (polmone d'aria e condotto verticale) è proporzionato in modo da entrare in risonanza con i mari fondamentali per forza e frequenza di verifica. La struttura non solo può produrre energia elettrica, ma funziona anche meglio come diga perché, assorbendo energia, riduce l'amplificazione delle onde verso il largo.





vento locale che genera le ondate (il cosiddetto "vento di canale"), all'estensione giusta del tratto di mare sul quale tale vento agisce, all'orientamento della costa: la costa è orientata SW-NE e dunque risulta naturalmente protetta dalle onde di mare-lungo che provengono dall'imboccatura Sud dello Stretto.

Quando nel 1988 mi resi conto della peculiarità del mare di Reggio Calabria, decisi di effettuare la verifica della teoria di quasi-determinismo direttamente lì: sui modelli in scala ridotta di mareggiate, anziché sulle mareggiate vere. In questo modo i costi crollavano e l'esperimento diveniva economicamente possibile. Feci montare in mare una batteria di tralicci secondo una geometria opportuna; ciascun traliccio sosteneva strumenti di misura delle onde. La mia idea era: se le famiglie di onde esistono davvero, prima o poi una famiglia dovrà passare per la batteria di tralicci. L'esperimento ebbe pieno successo nel senso che diverse famiglie di onde caddero, per così dire, nella trappola, e gli strumenti rivelarono che esse erano strutturate, avanzavano e si trasformavano proprio come previsto dalla teoria di quasi-determinismo. I risultati furono pubblicati sulle principali riviste internazionali sia nel campo della meccanica dei fluidi, sia nel campo dell'ingegneria marittima. La teoria di quasi-determinismo prevede

che un'onda eccezionalmente alta al largo di una diga foranea, con grandissima probabilità, si formi per la collisione di due famiglie: una in rotta verso terra e

l'altra in rotta di ritorno verso il mare aperto dopo avere subito una riflessione speculare (tipo palla da biliardo) ad opera della diga: nel punto di largo dove le due famiglie si scontrano, lì si forma un'onda gigantesca. *Gigantesca* si intende, rispetto

alla media della mareggiata. Anche qui: vero o falso, sì o no? Per verificarlo, con un gruppo di allievi, montammo una piccola diga foranea, in super-economia e disponemmo trenta strumenti di misu-

ra delle onde nello specchio acqueo antistante. Anche questa volta l'esperimento portò ad una piena conferma.

Il successo di quei primi esperimenti mi indusse a rilanciare la posta. Pensai che forse nel mare di Reggio Calabria, era addirittura possibile eseguire gli studi sui modelli in scala ridotta delle strutture marittime. Fino ad allora le prove sui modelli in scala ridotta delle strutture marittime erano state eseguite solo nelle vasche di laboratorio attrezzate con macchine per la generazione di onde. Fu così che per la prima

La qualità del modello idraulico che si ha nel laboratorio naturale di Reggio Calabria è così superiore alla qualità che si riesce ad ottenere nelle tradizionali vasche

volta in assoluto nel maggio 1992 il modello in scala 1:50 di una grande piattaforma petrolifera del mare del nord veniva posto in mare, a Reggio Calabria, e in mare veniva studiato il comportamento della piattaforma sotto l'azione di forti tempeste anch'esse in scala ridotta. L'anno seguente fu la volta del modello in scala 1:50 di un viadotto sottomarino studiato per collegare Sicilia e Calabria. L'anno ancora successivo fu la volta di un modello in scala ridotta di un molo.

La qualità del modello idraulico che si ha nel laboratorio naturale di Reggio Calabria è così superiore alla qualità che si riesce ad ottenere nelle tradizionali vasche, che mi fu possibile capire veramente a fondo la meccanica delle sollecitazioni su quei diversi tipi di struttura. Non solo, mi fu possibile scoprire alcune leggi generali sulle sollecitazioni del mare su corpi isolati di grandi dimensioni. In particolare, il motivo generale per cui la forza delle onde su un corpo isolato di grandi dimensioni è più grande dell'ordine del 100% rispetto alla forza esercitata su una massa d'acqua equivalente per volume e forma al corpo solido.

sono in corso le prove su un nuovo tipo di diga foranea, di mia invenzione, in grado di convertire l'energia delle onde in energia elettrica

I risultati degli esperimenti sui modelli in scala ridotta delle strutture marittime furono pubblicati in una serie di articoli sulla rivista internazionale *Ocean Engineering*.

In Italia tali risultati sono alla base dell'impostazione innovativa delle istruzioni per la progettazione dei frangiflutti, emanate dal Ministero dei Lavori Pubblici.

Visti i risultati degli esperimenti, l'Università Mediterranea, la Provincia, la Camera

di Commercio di Reggio Calabria ed il Consorzio ASI si sono costituiti in consorzio per la realizzazione di un laboratorio stabile di ingegneria marittima. Il laboratorio recentemente ultimato consta di una struttura di circa 300mq ad appena 20 metri dalla battigia, di una spiaggia e dello specchio acqueo antistante, in consegna demaniale.

Attualmente nello specchio acqueo del laboratorio sono in corso le prove su un nuovo tipo di diga foranea, di mia invenzione, in grado di convertire l'energia delle onde in energia elettrica. Si tratta di un impianto di 16 metri di lunghezza, 4,5 di larghezza, 3,5 di altezza, con 27 pistoni ad acqua da 0,6 x 0,8 metri che, sotto l'azione delle onde, comprimono e decomprimono altrettanti polmoni d'aria.

La preparazione dell'esperimento ha richiesto due anni di lavoro a me ed ai miei allievi, prof. Felice Arena, prof. Pasquale Filianoti (formidabile il suo apporto a tutto campo) e al ricercatore ing. Vincenzo Fiamma. La gestione dell'esperimento è effettuata dallo stesso gruppo coadiuvato dai dottorandi ing. Alessandra Romolo, ing. Saveria Meduri e ing. Riccardo Piscopo.

Paolo Boccotti



IL GRUPPO DI RICERCA



Paolo Boccotti (1952, Genova), ordinario di Costruzioni Marittime dal 1976. Autore di più di 70 articoli scientifici, parte dei quali pubblicati sulle riviste internazionali *Journal of Geophysical Research*, *Journal of Fluid Mechanics*, *Ocean Engineering*, *Applied Ocean Research*, *Meccanica*. Autore dei volumi "Idraulica Marittima" UTET, 1997, e "Wave Mechanics for Ocean Engineering", Elsevier Science, 2000. Titolare di diversi brevetti di impianti marittimi, sia in Europa, sia negli USA.



Felice Arena (1968, Reggio Calabria), è professore straordinario di Costruzioni Marittime presso la facoltà di Ingegneria della Mediterranea. Allievo del prof. Paolo Boccotti, laureato nel 1992 con lode in Ingegneria Civile. Autore di oltre sessanta memorie pubblicate in prestigiose riviste internazionali (tra cui *Journal of Fluid Mechanics*, *Physics of Fluids*, *European Journal of Mechanics*, *Ocean Engineering*, *ASME Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, *International Journal of Offshore and Polar Engineering*). Coordinatore del Collegio dei docenti del dottorato di ricerca in Ingegneria Marittima, sin dalla sua istituzione, nel maggio 2003.



Pasquale Filianoti (1971, Reggio Calabria), professore associato nel settore delle costruzioni idrauliche e marittime. Laureato con lode in ingegneria civile nel 1994 presso la Mediterranea. Dal 1997 presta servizio presso la Facoltà di ingegneria di RC, prima come ricercatore e dal 2001 in qualità di docente. Ha partecipato a tre delle campagne sperimentali (1994, 2001 e 2005) condotte nello Stretto di Messina dal prof. Boccotti. Dal 2005 dirige il laboratorio di ingegneria marittima *OkeanosLab* sul lungomare di Reggio Calabria.



Vincenzo Fiamma (1967, Reggio Calabria), ricercatore confermato presso il dipartimento di Meccanica e Materiali dell'Università Mediterranea. Ha iniziato la sua attività dal 1991 partecipando all'esperimento RC 1991 sulla riflessione delle onde di mare, in qualità di tesista e si è laureato nello stesso anno. Fa parte del gruppo di ricerca diretto dal prof. Boccotti, impegnato nel nuovo esperimento sulla conversione dell'energia ondosa in energia elettrica.



Lo staff di Okeanos nel 2002