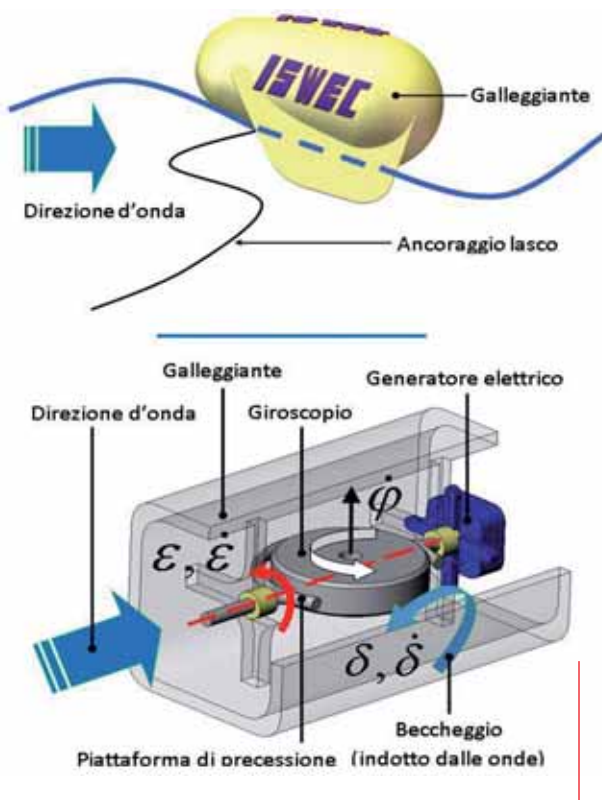


Energia dalle onde



I. Aspetto esteriore (concept)
e vista interna del dispositivo ISWEC.

L'articolo illustra i risultati ottenuti durante le prove in un canale presso il Politecnico di Torino del convertitore giroscopico di energia marina Iswec

(Inertial sea wave energy converter).

Le prestazioni del sistema sono descritte qui sotto.

Interessante la progettazione

Nel panorama delle fonti energetiche alternative, l'estrazione di energia dalle onde marine è oggetto di un crescente interesse da parte della comunità scientifica. Al momento un'architettura definitiva per la produzione di energia non è ancora stata individuata, sebbene numerosi dispositivi siano già stati proposti e studiati [1, 2].

Il convertitore Iswec (Inertial sea wave energy converter) attualmente in fase di studio presso il Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Torino [3, 4], si propone come un convertitore galleggiante che utilizza i fenomeni giroscopici per produrre energia elettrica. In questo articolo si presentano i test sperimentali svolti presso il canale

di prova del Dipartimento di Idraulica del Politecnico di Torino per valutare le prestazioni energetiche del sistema.

Il dispositivo Iswec

Il dispositivo Iswec (figura 1) è composto da un galleggiante monolitico al cui interno opera un gi-

3. Particolari della configurazione sperimentale

roscopio. Il giroscopio è costituito da un volano e da una sospensione che permette sia la rotazione φ del volano attorno al suo asse (moto detto di rotazione propria) sia la precessione ϵ attorno a un asse orizzontale ortogonale a φ . Allineando il sistema verso la direzione dell'onda, sull'asse di precessione ϵ si genera una coppia giroscopica nata dalla combinazione del moto di beccheggio del galleggiante δ e dalla velocità del giroscopio φ . Ponendo un generatore elettrico sull'asse ϵ è possibile utilizzare la coppia giroscopica per produrre energia. L'architettura di Iswec presenta la caratteristica di avere tutte le parti in movimento relativo e necessarie alla generazione di potenza contenute all'interno dello scafo e quindi protette dall'acqua e dall'atmosfera salina. Questo, unito ad altri vantaggi, quali lo scafo monolitico maggiormente resistente alle condizioni marine estreme e l'economico ancoraggio al fondale, fanno del dispositivo Iswec un sistema avente i presupposti per un'elevata durata ed economicità di esercizio.

Un prototipo in scala 1:45 è stato progettato e realizzato presso il Politecnico di Torino ed è stato provato a secco su di un banco di simulazione d'onda per valutarne le prestazioni. Il banco di simulazione d'onda è composto da un sistema a quadrilatero articolato trasformante il moto di rotazione di un motore in un moto di oscillazione sinusoidale comparabile con quello indotto dalle onde sul galleggiante. L'esito delle prove è stato positivo, dimostrando la capacità di produzione di energia del sistema giroscopico. Il sistema è stato in grado di assorbire 2.22 W a fronte dell'onda nominale a 1 Hz e 2° di ampiezza di beccheggio del galleggiante.

Setup sperimentale

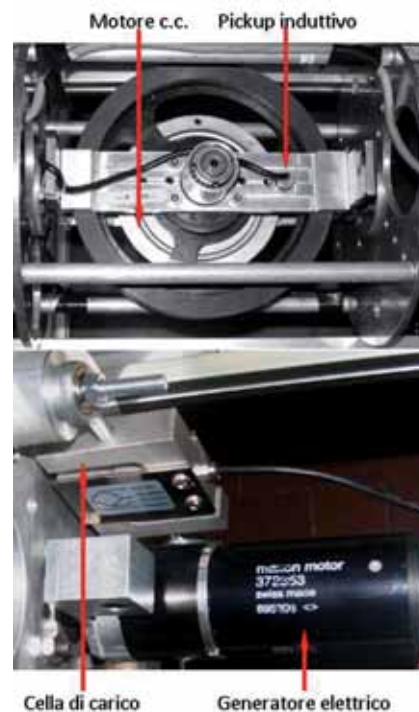
Per poter monitorare lo stato del sistema durante il suo funzionamento, sono stati inseriti trasduttori per la misura delle grandezze meccaniche di maggior interesse. La velocità di rotazione del volano è misurata utilizzando un trasduttore induttivo che rileva il passaggio delle tre razze: misurando la frequenza dell'onda quadra in uscita dal sensore e dividendola per tre è possibile risalire alla velocità di rotazione del volano. La coppia agente sul generatore elettrico è misurata con una cella di carico (Dacell UU-K5, fondo scala ± 50 N)

che collega lo statore del generatore alla struttura portante del dispositivo. Misurando la forza agente sulla cella e conoscendo il braccio a cui essa è posta rispetto all'asse del generatore si risale alla coppia trasmessa. Il generatore elettrico è formato da un motore brushless trifase Maxon EC 40 accoppiato a un moltiplicatore epicicloidale Maxon GP 42C con ingranaggi ceramici ad alta efficienza (rapporto di trasmissione 1:4.3, efficienza 90%) per permettere al motore di generare una tensione di circa 5-7 V a fronte di una bassa velocità di rotazione dell'albero - max. 75 giri/min. La posizione dell'albero del generatore - e quindi dell'asse - è misurata con un encoder Maxon Hedl 5540 con 500 impulsi al giro. L'encoder serve anche come trasduttore del controllore ad anello chiuso (Maxon Epos2 50/5) della coppia assorbita dal generatore elettrico.

Per misurare la posizione dello scafo durante la prova si è usato il sensore micro giroscopico di precisione MTi raffigurato in figura 2 che è interfacciabile con porta seriale o Usb (nel secondo caso il sensore è autoalimentato). L'MTi è in grado di misurare istantaneamente le velocità rollio, beccheggio e imbardata fino a ± 300 °/s e di risalire per integrazione all'orientazione del sensore nello spazio. Il sensore è dotato anche di tre servo accelerometri con fondo scala ± 5 g che misurano le accelerazioni lungo la terna cartesiana di riferimento e possono essere utilizzati per risalire alla posizione del sensore stesso.

I segnali sono stati acquisiti a 1 kHz con una scheda di acquisizione National Instruments Usb 6259 (32 AI e 4 AO a 16 bit, 32 DIO e 2 counter a 32 bit) gestita attraverso Labview (figura 3).

2. Il sensore giroscopico MTi



Prove sperimentali

Nel luglio 2009 le prime prove (figura 4) del prototipo sono state eseguite presso la vasca di prova di Edimburgo, ottenendo il risultato di potenza assorbita di 2.06 W e di fattore di assorbimento relativo (il rapporto tra la potenza assorbita e la potenza in ingresso) del 14.3%. Il galleggiante utilizzato in quelle condizioni era una semplice lastra di polimero Divinycell di dimensioni 1200x800x400 mm, con il lato lungo rivolto verso le onde. Sfortunatamente, a causa della ridotta disponibilità temporale della vasca di prova, non è stato possibile provare differenti geometrie del galleggiante e variare le strategie di controllo. Si è quindi deciso di ripetere le prove svolte a Edimburgo presso il canale di prova presente al Dipartimento di Idraulica del Politecnico di Torino (lunghezza 50,4 m, profondità 930 mm e larghezza 630 mm). Il canale è sopraelevato di 850 mm rispetto al pavimento ed è formato da un fondo in acciaio con pareti di Plexiglas. L'onda nominale per la quale è stato progettato il prototipo e corrispondente all'onda di progetto della vasca di Edimburgo è alta 100 mm e ha lunghezza 1,56 m, tuttavia a causa delle caratteristiche di generazione dell'onda nel canale, in queste prove è stato necessario ridurre l'altezza a 80 mm. Il battitore generante l'onda è del tipo a pistone ed è attuato elettricamente tramite un dispositivo a vite-madrevite. Durante lo svolgimento delle prove la profondità dell'acqua è stata impostata a 500 mm per garantire un funzionamento ottimale del battitore. Il sistema è stato ancorato al fondale con un ancoraggio lasco del tipo "float and sinker" che ga-



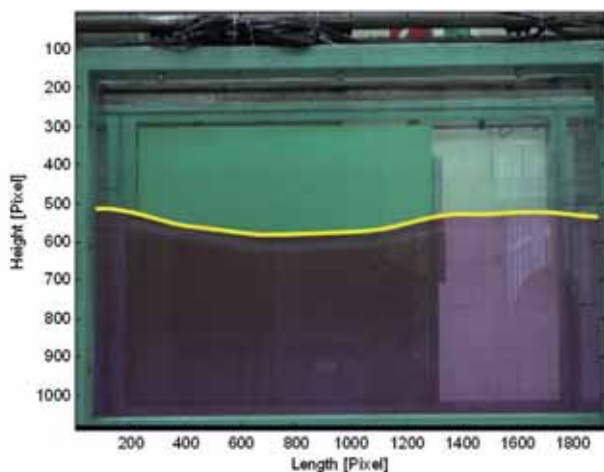
4. Dispositivo e sistema di acquisizione pronti per i test nel canale di prova.

[giri/min]	Velocità di rotazione				
	330	520	1.000	1.500	2.000
Potenza estratta [W]	0.7	0.89	0.41	0.28	0.11
Densità di potenza [W/m]	6.59	7.21	6.54	5.53	5
Potenza in ingresso [W]	3.76	4.11	3.73	3.15	2.85
Fattore di assorbimento relativo	18.6%	21.6%	13.6%	8.7%	3.6%
Angolo di beccheggio [°]	5.9	4.9	2.1	1.2	0.6

Risultati sperimentali.

rantisce un buon posizionamento spaziale, ma al contempo non influenza eccessivamente la libertà di rotazione del galleggiante in quanto è un ancoraggio cedevole. L'onda è stata misurata tramite l'elaborazione delle immagini provenienti da una telecamera ad alta risoluzione (1088 x 1920 a 25 frame per secondo) posta a monte rispetto al dispositivo. La linea gialla in figura 5 mostra un esempio di cattura del profilo dell'onda. La precisione con cui è possibile stimare il profilo dell'onda è di circa 0,5 mm. Tramite l'evoluzione temporale del profilo dell'onda è possibile stimare la densità di potenza dell'onda stessa e quindi calcolare la potenza in ingresso al dispositivo. Nelle prove nel canale il galleggiante è stato ridisegnato in modo da essere più recettivo e instabile rispetto all'onda inci-

5. Image processing sul profilo dell'onda.



dente. Il canale tuttavia è largo solo 630 mm - a fronte dei 1200 mm di larghezza del galleggiante usato a Edimburgo - e inoltre l'onda disponibile è ad altezza ridotta: per cui anche la potenza in ingresso è ridotta, essendo essa proporzionale alla larghezza del galleggiante e al quadrato dell'altezza d'onda. In definitiva, a causa di queste condizioni di prova, anche la potenza assorbita sarà probabilmente minore della potenza nominale. Il dato importante comunque è che il fattore di assorbimento relativo migliori rispetto alle prove di Edimburgo. Tra le prove svolte durante la campagna di test, la serie più interessante è quella riportata in tabella. La velocità di rotazione del volano è stata fatta variare per vedere le interazioni fra il sistema giroscopico e l'onda. Si può notare che per la forma del galleggiante considerata, la potenza massima assorbita è pari a 0,89 W quando il volano ruota a 520 giri/min, circa un quarto dei 2.000 giri/min previsti a progetto. Questo è un risultato molto interessante perché in queste condizioni per assorbire circa il 40% della potenza nominale si è usato il 25% delle capacità inerziali del sistema. Quindi, con un galleggiante analogo ma con larghezza pari a 2,5 volte quella attuale, ci si può aspettare di assorbire il 100% della potenza nominale con il 62,5% della velocità di rotazione. Inoltre, il fattore di assorbimento relativo è migliorato del 51%, passando dal 14,3% al 21,6%.

Conclusioni

Il risultato principale della sperimentazione è quello riguardante la possibilità di assorbire la potenza

desiderata con una velocità di rotazione del volano minore di quella prevista. Questo risultato è stato ottenuto principalmente grazie a un buon design dello scafo e ha riscontri importanti perché il costo del dispositivo e l'energia necessaria a mantenere il volano in moto sono proporzionali alle dimensioni e alla velocità di rotazione del giroscopio. L'obiettivo principale che ci si è posti durante la progettazione del dispositivo in scala 1:8 è stato quello di ridurre le perdite per attrito necessarie al mantenimento del giroscopio in rotazione a meno del 10% della potenza prodotta [5]. Per ottenere tale risultato è stato necessario l'utilizzo di cuscinetti ceramici e di una camera a vuoto per la rotazione del volano mantenuta a 10 mbar di pressione assoluta.

G. Bracco, E. Giorcelli, G. Mattiazzo - Politecnico di Torino, dipartimento di Meccanica.

Bibliografia

- [1] Muetze, A.; Vining, J. G.: Ocean Wave Energy Conversion – A Survey. Proc. of Asme Conference Forty-First las Annual Meeting, Tampa (Usa), 2006, Vol. 3, pp. 1410- 1417.
- [2] Falcão, António F. O.: Ocean Wave Energy Conversion: a Brief Review, Proc. of Workshop on Ocean Energy, May 2010, Lisbon.
- [3] Bracco G.; Giorcelli E.; Mattiazzo G.: Iswec: progettazione di un modello in scala per vasca di prova. *Progettare*, 2010, Vol. 341, Issn 1125-1549.
- [4] Bracco, G.; Giorcelli, E.; Mattiazzo, G.: Experimental testing on a one degree of freedom wave energy converter conceived for the Mediterranean Sea, TMM 2008, Liberec (Czech Republic), September 2008.
- [5] Bracco, G; Delprete, C; Giorcelli, E.; Mattiazzo, G.; Rosso, C: Iswec: progetto di un prototipo in scala, Atti del 1° Congresso Nazionale del Coordinamento della Meccanica Italiana, giugno 2010, Palermo.