

Alla prova del vento

ERMANNIO GIORCELLI, GIULIANA MATTIAZZO, MATTIA RAFFERO, CARLO ROMANÒ

Sono state realizzate dal Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Torino, alcune prove funzionali per un aerogeneratore di piccola taglia (1,5 kW).

Nella galleria del vento, del Centro Ricerche Fiat, è stata installata una struttura in grado di resistere alle condizioni più avverse. I risultati sono incoraggianti.

Il dispositivo ha dimostrato prestazioni superiori rispetto ad altri di pari taglia

In questi ultimi anni si fa sempre più spesso ricorso a sistemi in grado di generare energia pulita e sostenibile in quanto i problemi climatici e di approvvigionamento delle risorse cui va incontro il nostro pianeta hanno una importanza sempre maggiore. A conferma di ciò, la decisione della Comunità Europea, assieme ad altri Paesi, di recepire gli impegni di riduzione delle emissioni climateranti, così come esposto nel protocollo di Kyoto [1].

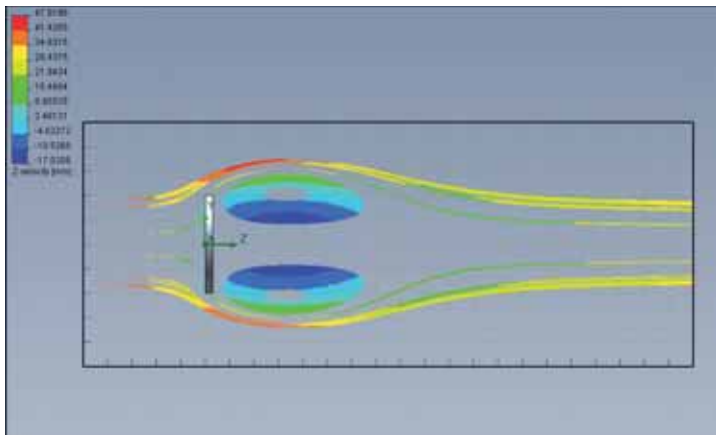
Lo sfruttamento di energia eolica è partito da Paesi che, come la Danimarca e la Germania, presentano alte velocità medie del vento (superiori a 10 m/s). In seguito si è diffuso anche in altri Paesi, tanto che è già

stato superato l'obiettivo europeo al 2010 di 40 GW con una energia prodotta annualmente pari a ¼ del consumo italiano [2]. In particolare, la Danimarca annovera una potenza installata di circa 3 GW e la relativa produzione energetica di 7,3 TWh, corrispondente al 20% del consumo nazionale; la Germania vanta circa 18 GW e la relativa produzione energetica di 35TWh, corrispondente al 7% del consumo nazionale.

Dal punto di vista della risorsa eolica, con velocità del vento di 20 m/s la densità di potenza si avvicina a 5 kW/m². D'altra parte i siti candidati ad ospitare impianti eolici devono presentare una velocità del vento

media di almeno 5 m/s, al di sotto della quale non si avrebbe una effettiva convenienza. In Europa i Paesi più favoriti sono quelli affacciati sul Mare del Nord, quindi oltre alla Danimarca e alla Germania, la Gran Bretagna, la Francia e la Norvegia. In Italia i siti più ventosi si trovano in Puglia, in Sardegna, e sull'Ap-





1. Rotore investito dalla corrente fluida.

Ricerca made in Italy

Il gruppo di ricerca in Meccatronica e Servosistemi del Dipartimento di Meccanica al Politecnico di Torino, cui gli autori afferiscono, svolge attività di ricerca nel campo dei sistemi innovativi di attuazione controllata e dei servosistemi, nei quali sono fortemente integrate le funzionalità degli organi di attuazione meccanica, elettrica e a fluido, dei dispositivi di sensorizzazione e della

pennino, come si evince dall'Atlante Eolico italiano [3].

Nel contesto di questo scenario, in collaborazione con una industria produttrice di turbine per il mercato domestico, con potenze fino a 10 kW, sono state progettate ed eseguite le prove oggetto di questo articolo. Oggetto dei test è la turbina Deltawind 1.5. Questo aerogeneratore con potenza nominale di 1,5 kW utilizza pale con angolo di calettamento fisso in alluminio rivettato, molto più leggere rispetto alle tradizionali. Questa peculiarità, insieme al generatore appositamente progettato per questo utilizzo, porta notevoli vantaggi in termini di velocità di cut-in (minima velocità del vento per cui il sistema riesce a produrre energia), e in termini di rendimento in generale.

Setup sperimentale

Le prove sono state condotte presso la camera climatica della galleria del vento del Centro Ricerche Fiat. È stato necessario progettare un telaio strumentato per il supporto del generatore e per il rilevamento dei dati. Il calcolo preliminare della struttura si basa sulla teoria di Betz [4,5], secondo la quale si considera l'aerogeneratore come un disco di diametro pari a quello del rotore investito dalla corrente fluida (figura 1).



In questo caso si può stimare la forza scaricata sull'ostacolo come:

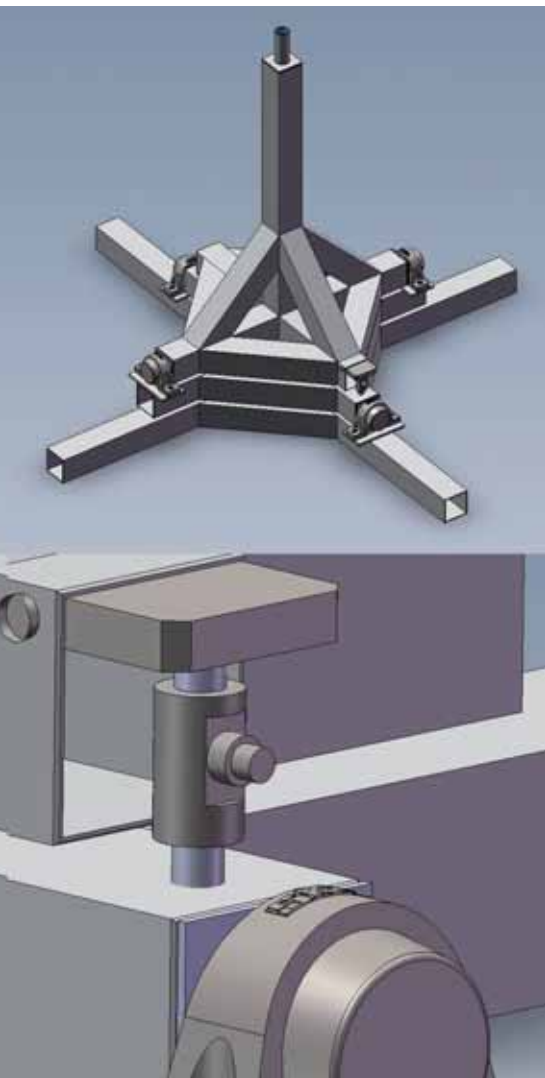
$$F = \frac{1}{2} \rho v^2 S$$

dove: F= forza agente sull'ostacolo; e= densità dell'aria; v= velocità della corrente fluida; S= superficie investita dalla corrente.

Questa trattazione semplificata conduce a una sovrastima della forza assiale, permettendo di formulare ipotesi conservative per il dimensionamento delle strutture di sostegno del generatore.

Inoltre note la potenza del generatore e la sua velocità di rotazione massima, si può anche stimare il momento di reazione che si genera tra statore e rotore, pari al momento di incastro misurabile alla base. Va

parte di controllo. Applica le proprie competenze, tra le altre, nelle aree di ricerca relative ai dispositivi per lo sfruttamento delle fonti energetiche rinnovabili. In particolare in tale ambito, opera nel campo dei sistemi per la produzione di energia da fonte eolica, solare e marina (moto ondoso) con attività sia di tipo numerico sia sperimentale. www.polito.it. Nel 2009 il Politecnico di Torino ha compiuto 150 anni: una lunga tradizione, che lo porta oggi ad essere riconosciuto come una delle prime università tecniche d'Italia e del mondo. Lo testimoniano le classifiche, che vedono l'ateneo al 7° posto in Europa per l'ingegneria (classifica Jiao Tong University) e al 1° in Italia per internazionalizzazione e studi tecnici (classifiche Vision e Censis).

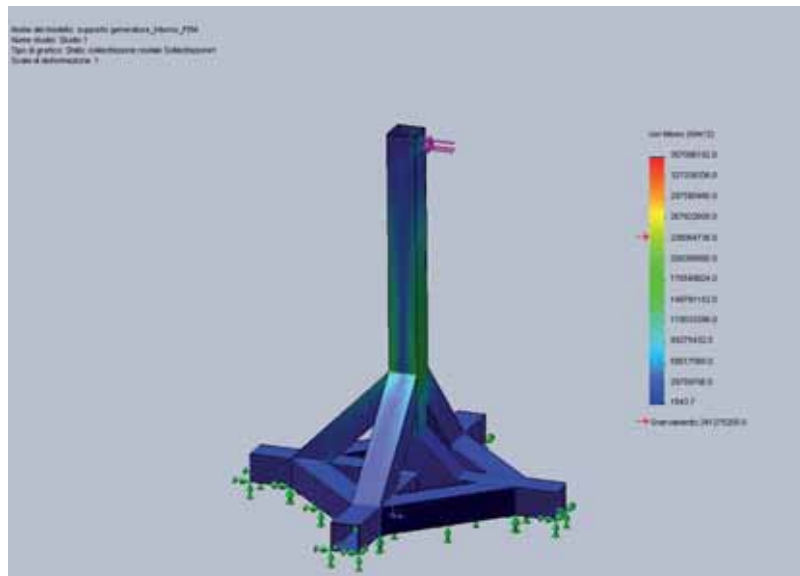


2. Progetto CAD della struttura.

notato che in caso di vento forte è previsto un dispositivo di sicurezza grazie al quale il generatore si inclina di 45° riducendo la superficie esposta all'azione del vento ad $\frac{1}{4}$ del valore nominale.

Si potrebbe ripetere la stima della spinta assiale consentendo di ridurre le dimensioni degli elementi della struttura, ma si è scelto di mantenere un'ipotesi più conservativa per tutelarsi anche da un improbabile mancato intervento del suddetto dispositivo di sicurezza.

Data la stima delle forze agenti sul generatore, in particolare la spinta



3. Verifica strutturale statica agli elementi finiti.

assiale, si è progettata una struttura in acciaio saldato in grado di resistere alle condizioni più gravose. La struttura è composta di tubolari a sezione quadrata in acciaio, ed è vincolata a terra mediante due giunti rotoidali in grado di trasmettere alle celle di carico le sollecitazioni che si vogliono misurare. L'obiettivo di questi giunti non è quindi quello di lasciare dei gradi di libertà alla struttura, bensì quello di mantenere inalterate le forze scaricate verso terra che vanno a sollecitare le celle di carico (figura 2).

Al termine del progetto del componente è stata eseguita una verifica strutturale statica della sua resistenza al carico previsto, tramite un programma di calcolo agli elementi finiti (figura 3). Si prevede di misurare la forza assiale esercitata dal vento sul rotore mediante una cella di carico posta a terra, mentre una seconda cella di carico rileva il momento di incastro necessario ad equilibrare la coppia statorica.

I valori misurati dovranno poi essere elaborati in base alla geometria

del supporto per ottenere le grandezze desiderate. Si è dunque in grado di stimare le forze che le celle di carico andranno a rilevare, e quindi di decidere il fondo scala di tali strumenti.

La misura di deformazione delle pale durante il funzionamento del generatore eolico è stata effettuata applicando opportunamente alcuni estensimetri: l'acquisizione dei segnali è stata effettuata mediante un sistema di trasmissione dati wireless [6,7].

Questo sistema consente la libera rotazione del generatore eolico durante le prove sperimentali senza ricorrere ai classici contatti striscianti. E' stato dunque progettato un supporto su cui vincolare il sistema di trasmissione wi-fi tale da rispondere al meglio alle esigenze di robustezza strutturale, facilità di integrazione sul rotore eolico e bassa interferenza con la dinamica del sistema.

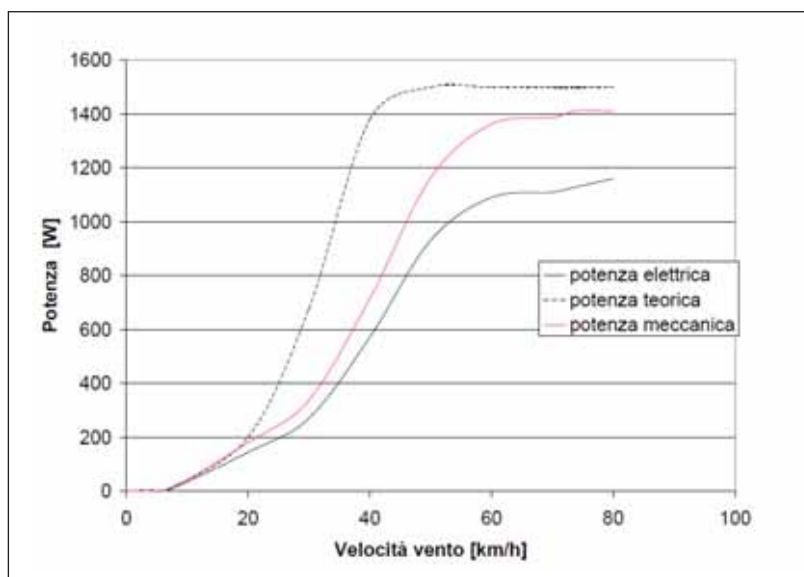
Tale supporto, una volta abbinato con il sistema di acquisizione, è stato equilibrato in laboratorio aggiungendo una serie di masse modulari, in modo da non indurre sbilancia-



4. Sistema di acquisizione dati.



sizione dati wireless.



5. Curve di potenza del generatore eolico.

menti e quindi vibrazioni quando messo in rotazione. L'antenna del dispositivo wireless è stata montata in corrispondenza dell'asse del rotore, in questo modo si sono limitati i possibili problemi di trasmissione dovuti ad un eccessivo spostamento del punto di emissione del segnale durante le prove (figura 4).

Le prove

Si è stabilito di sottoporre l'aerogeneratore a velocità di vento crescenti fino a 22 m/s, distribuite in 11 intervalli all'interno dei quali le grandezze di interesse vengono acquisite considerando condizioni di regime del vento dopo un transitorio di 20s. Tramite una interfaccia di controllo dei sistemi di acquisizione realizzata in ambiente Labview si gestisce il processo di acquisizione andando a modificare i vari parametri di sperimentazione.

Dopo aver opportunamente filtrato i disturbi, i valori acquisiti vengono elaborati in modo tale da esprimere gli andamenti della spinta assiale, della coppia erogata e della potenza generata al variare della velocità del vento. Infine, dai dati sperimentali

rilevati e dal comportamento teorico, è stato possibile costruire le curve di potenza relative al generatore (figura 5).

Cosa dire

Rispetto ai dati riportati nella letteratura di riferimento, il dispositivo ha dimostrato prestazioni superiori rispetto ad altri di pari taglia, infatti la velocità di cut-in, pari a 1 m/s, ed i rendimenti ottenuti risultano essere migliori rispetto a quelli di altri dispositivi di pari dimensioni citati in letteratura. Il problema più evidente riscontrato riguarda la non costanza del rendimento al variare della velocità del vento. Si può notare dalle curve di potenza, che si passa da un rendimento elevato a basse velocità, a rendimenti via via inferiori per velocità crescenti. Questo aspetto sarà oggetto di ulteriori indagini al fine di trovare una zona di lavoro ottimale, per cui potrebbero essere necessari ulteriori test in galleria del vento.

E. Giorcelli, G. Mattiazzo, M. Raffero, C. Romanò - Dipartimento di Meccanica, Politecnico di Torino.

BIBLIOGRAFIA

- "Small wind turbines: The unsung heroes of the wind industry", *Refocus*, v 3, n 2, p 30-36, 2002, doi:10.1016/S1471-0846(02)80025-7
- Thomas Ackermann and Lennart Söder "An overview of wind energy-status" Royal Institute of Technology, Department of Electric Power Engineering Electric Power Systems, Teknikringen 33, S-10044 Stockholm, Sweden, 2002
- Università degli studi di Genova, dipartimento di Fisica, "Atlante Eolico dell'Italia", 2002
- D. Le Gourieres, "Energia Eolica, teoria progetto e calcolo pratico degli impianti", Masson Italia Editori, Milano 1985
- P.Gipe "Wind Power for home and Business" Isbn 0-930031-64-4
- <http://www.ni.com/> consultato il 20-02-2009
- Pedersen, K. O. H., Hansen, K. S., Paulsen, U. S., and Sørensen P., "Wind Turbine Measurement Technique – an Open Laboratory for Educational Purposes," *Journal of Wind Energy*, Vol.11, pp. 281-295, 2008.
- Experimental Methodologies for the measurement of wind turbines performance, *Proceedings of the Asme 2010 10th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis, Esda2010 July 12-14, 2010, Istanbul, Turkey*