

## TURBINE EOLICHE AD ASSE VERTICALE A BORDO: L'ALTERNATIVA SMART ALLE RICARICHE ELETTRICHE SULLE BARCHE A VELA

Lorenzo De Pascalis\*, Giuseppe Starace\*\*

\* Studio di Ingegneria De Pascalis (Melendugno, LE) – lorenzo.depascalis@gmail.com

\*\* Professore Ordinario di Fisica Tecnica, Università LUM (Casamassima, BA) – starace@lum.it

### SOMMARIO

Con lo scopo di ricaricare le batterie che alimentano tutti i servizi di bordo (dalla strumentazione, alla cucina, all'infotainment), un conduttore di un'imbarcazione a vela è costretto inevitabilmente ad avviare il motore endotermico di supporto o collegarsi ai servizi di ricarica elettrica in banchina. Spesso molti armatori scelgono di installare sistemi dotati di moduli fotovoltaici flessibili sulle superfici libere dei ponti o turbine eoliche ad asse orizzontale a poppa. Tali dispositivi, tuttavia, non permettono un'efficace supporto alle batterie in quanto i primi sono costantemente oscurati dalla presenza del sistema velico e dei passeggeri, le seconde devono orientarsi al vento per poter operare. Viene qui proposta una soluzione del tipo eolico ad asse verticale, di concezione Savonius, che non ha necessità di orientarsi al vento e che dispone di una coppia di spunto molto elevata, permettendo alla turbina di ruotare per la maggior parte del tempo di esposizione al vento.

Al fine di determinare le prestazioni energetiche che la caratterizzano, è stata condotta una campagna di simulazioni fluidodinamiche, i cui risultati sono riassunti nel testo. Questi ultimi costituiscono la base per il dimensionamento della turbina Savonius. Il confronto con un modello commerciale ad asse orizzontale conferma, poi, le migliori prestazioni dell'eolico verticale. Infine, il prototipo è stato, infine, progettato meccanicamente e realizzato in alluminio. Attualmente, è in corso una serie di test sperimentali per verificarne le prestazioni in campo e definirne le potenzialità.

### I BISOGNI DI ENERGIA ELETTRICA DELLA NAUTICA A VELA E I VANTAGGI OFFERTI DALL'EOLICO VERTICALE

È risaputo che un'imbarcazione a vela, sfruttando il vento per seguire la propria rotta, non permette la ricarica delle batterie a servizio delle apparecchiature e dei dispositivi elettrici di bordo, se non attraverso l'avvio del motore endotermico di supporto o collegando le stesse batterie ai servizi di ricarica in banchina. Questo aspetto caratteristico della nautica a vela, sia da diporto che d'altura, può considerarsi uno svantaggio in confronto con gli esemplari a motore (motoscafi, gommoni e simili) che, durante la navigazione, assicurano un costante

livello di carica alle batterie per mezzo dell'alternatore elettrico collegato al propulsore. Un deficit, questo, che va via via incrementandosi considerando gli odierni sviluppi dell'elettronica di consumo, dell'automazione e delle nuove tecnologie elettriche in campo nautico. Basti pensare che oggi il consumo giornaliero stimato delle apparecchiature elettriche di bordo (tra strumentazione per la navigazione, la sicurezza e la gestione, elettrodomestici e infotainment) supera i 3 kWh.

Spesso gli armatori scelgono l'installazione di un sistema fotovoltaico composto da moduli flessibili in aderenza alle superfici orizzontali dei ponti dell'imbarcazione. Tuttavia, la necessità di fruire di tutti

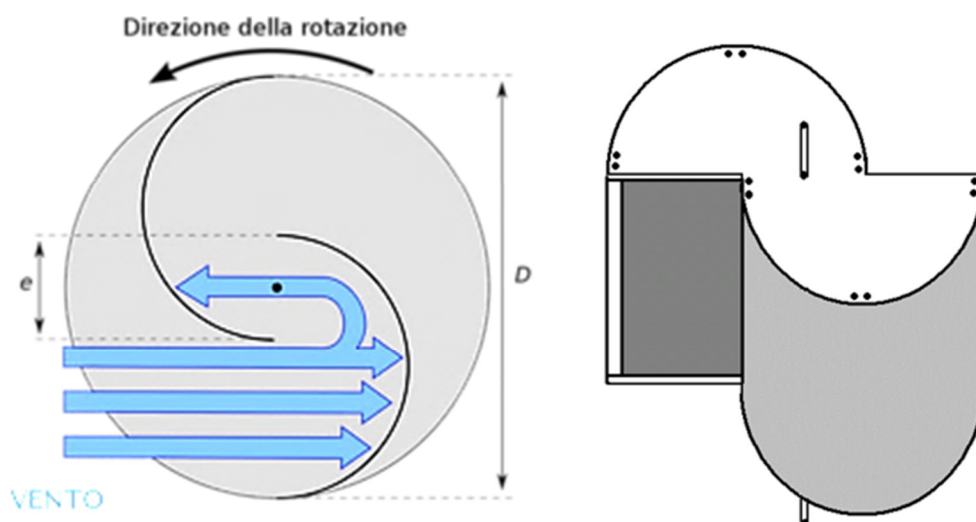


Figura 1 - Schema di funzionamento della turbina Savonius

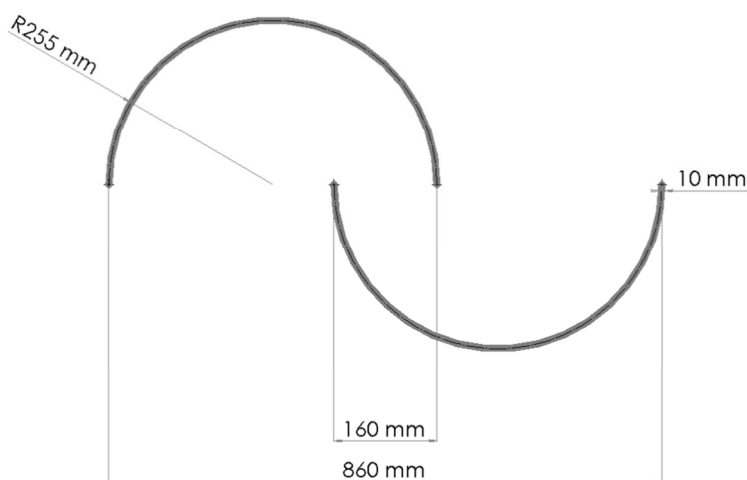


Figura 2 - Caratteristiche geometriche della sezione del rotore

gli spazi, sia interni che esterni, riduce le possibilità di generazione elettrica in conseguenza del forte ombreggiamento dei moduli stessi (albero maestro, vele, occupanti, ecc.).

Un'altra soluzione per produrre corrente elettrica è quella di dotarsi di turbine eoliche ad asse orizzontale, montate generalmente a poppa e capaci di convertire l'energia del vento incidente. Questa tipologia di macchina è, tuttavia, meno adottata dagli armatori e dai proprietari di barche a vela a causa della necessità della turbina di orientarsi al vento prima di essere in grado di produrre corrente elettrica. Nello specifico, le pale devono disporsi nella stessa direzione del vento per poter ruotare. Condizione, questa, estremamente svantaggiosa se si considera il fatto che un'imbarcazione a vela, nella sua rotta, deve spesso variare la sua traiettoria per avanzare.

Viceversa, una turbina eolica ad asse verticale, per sua natura, non ha bisogno di orientarsi per produrre

corrente elettrica: qualsiasi possa essere la direzione del vento incidente, essa ruota. I suoi rendimenti in termini di energia del vento convertita in corrente elettrica sono certamente minori rispetto ai modelli ad asse orizzontale, ma il fatto che riesca a ruotare per la maggior parte di una giornata ventilata colma abbondantemente questo gap di natura fisica.

Viene di seguito proposto un prototipo di turbina eolica ad asse verticale del tipo Savonius (molto comune e abbondantemente sperimentato) studiata appositamente per applicazioni di tipo nautico. Il prototipo, infatti, è stato progettato e dimensionato secondo i risultati ottenuti da un approfondito studio fluidodinamico del suo comportamento quando immerso in una corrente d'aria.

## LA TECNOLOGIA

Prende il nome di Savonius un tipo di turbina eolica ad asse verticale ideata dall'ingegnere finlandese Sigurd

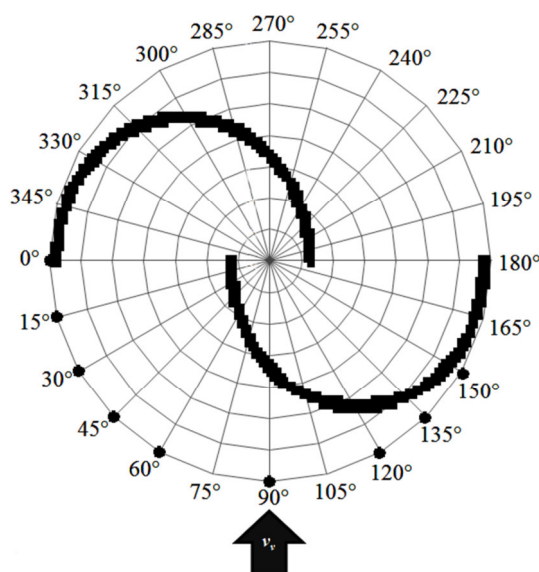


Figura 3 - Suddivisione delle posizioni di rotazione del generatore  
(il cerchio nero indica gli angoli simulati)

J. Savonius nel 1922 e brevettata nel 1929 [1]. Si tratta di un rotore a due pale (anche tre o quattro negli sviluppi degli ultimi anni [2 – 3]) di forma semicilindrica calettate eccentricamente su di un asse centrale. Come in fig. 1, il rotore assume una forma a S. La pala curva con concavità rivolta nel verso della corrente d'aria accoglie il vento, che la spinge a ruotare. Convoglia, inoltre, gran parte della corrente verso l'interno dell'altra pala, riducendo in tal modo gli effetti di opposizione al vento che essa realizza sul dorso. Le pale sono distanziate eccentricamente proprio per consentire al flusso di attraversare la sezione trasversale della turbina.

I vantaggi della tecnologia risiedono nel rumore ridotto e nella facilità di integrazione sulle imbarcazioni a vela senza snaturarne l'estetica. Data la grande coppia di spunto, il la turbina si avvia anche con deboli velocità

del vento e presenta, a regime, una coppia di torsione elevata, sebbene variabile in modo sinusoidale nel corso della rotazione.

### LE PRESTAZIONI FLUIDODINAMICHE

Il generatore Savonius a due pale è stato sottoposto a simulazione fluidodinamica, impiegando per il calcolo i software commerciali Gambit v. 2.3.16 e Ansys Fluent v. 6.3.26. Il modello prevede la discretizzazione dello spazio attorno al rotore, all'interno del quale la corrente d'aria si muove incontrando le pale.

Le caratteristiche geometriche della sezione del rotore presa in considerazione sono riassunte in fig. 2. Lo spessore delle pale è pari a 1 cm, con ordini di grandezza compatibili con quelli che mediamente assumono i materiali plastici sfruttati nelle applicazioni eoliche con

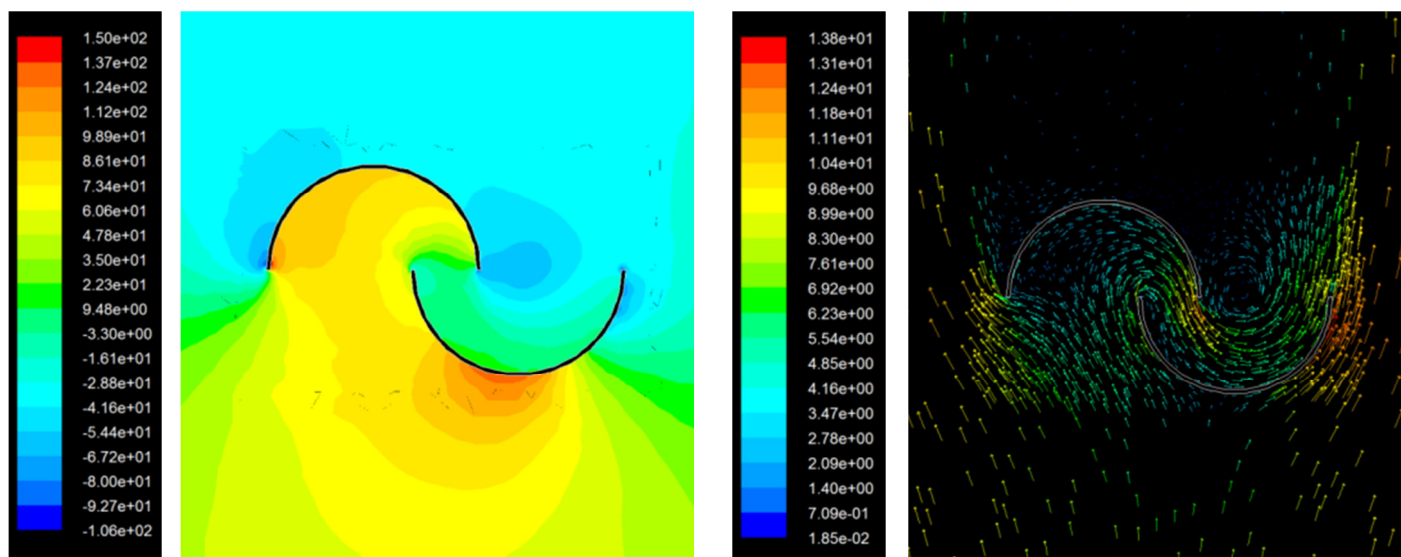


Figura 4 - Pressione statica e velocità del vento attorno al rotore in posizione angolare 0°

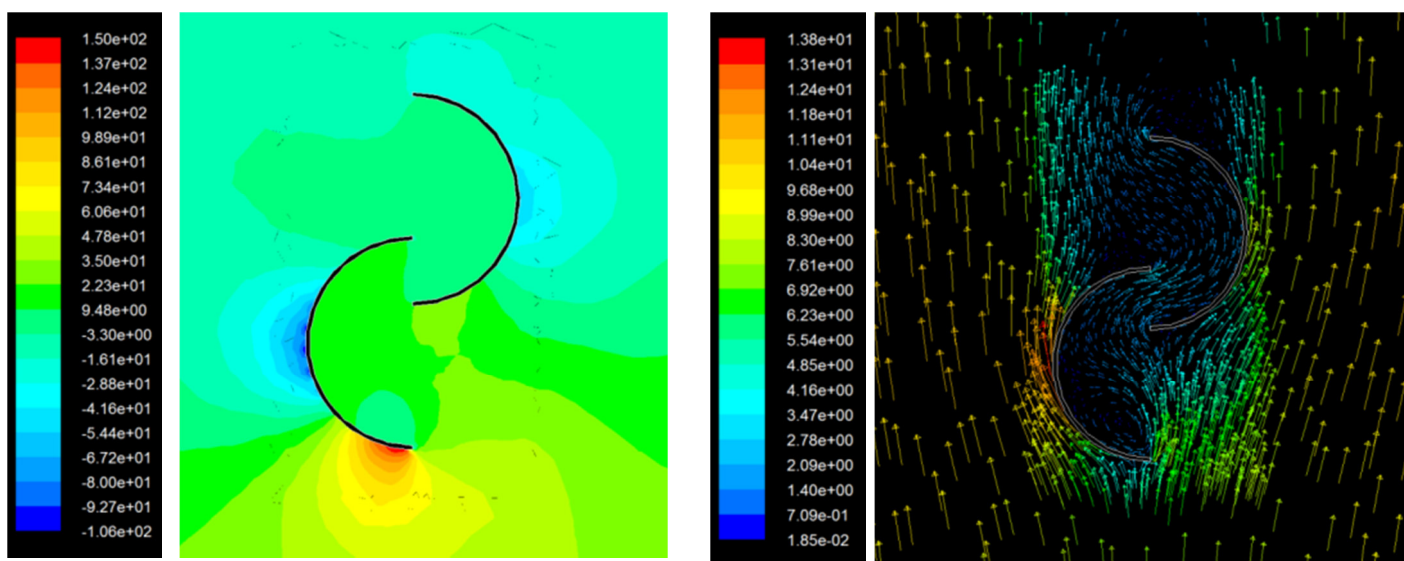


Figura 5 - Pressione statica e velocità del vento attorno al rotore in posizione angolare 90°

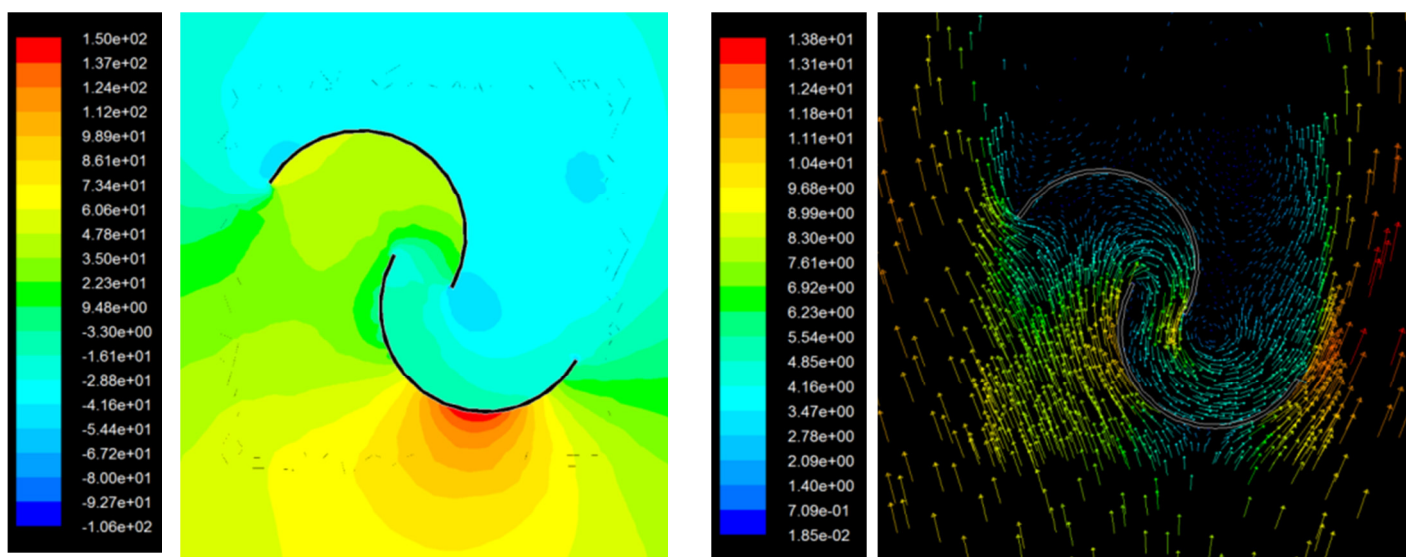


Figura 6 - Pressione statica e velocità del vento attorno al rotore in posizione angolare 150°

macchine di piccola potenzialità ad asse verticale.

La velocità del vento incidente è scelta pari a 10 m/s come di norma nel dimensionamento dei generatori eolici di piccole dimensioni [4]. Come in fig. 3, l'angolo di rotazione del rotore è stato discretizzato in step da 15°.

I risultati del calcolo fluidodinamico mostrano campi di pressione statica e velocità del vento attorno al rotore come illustrati in alcune immagini esemplificative dalla fig. 4 alla fig. 6, al variare della posizione angolare.

Sfruttando i valori di pressione e velocità ricavati, al variare del punto sulle varie superfici di ogni pala nel quale è applicata la pressione, viene a determinarsi un valore di forza  $F$  (scomposta lungo gli assi  $x$  e  $y$ ) che produce una coppia puntuale favorevole o sfavorevole al moto della turbina (fig. 7). Essendo i punti di applicazione della pressione discretizzati sulle superfici, queste ultime sono suddivise nelle superfici unitarie indicate

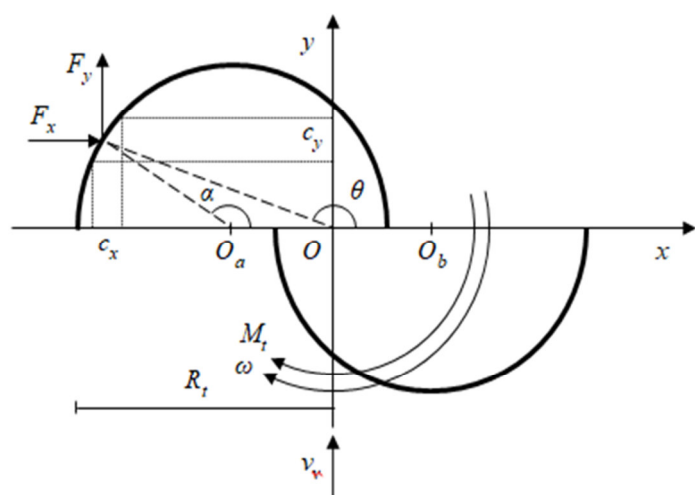


Fig. 7 - Grandezze geometriche e dinamiche della sezione trasversale della turbina Savonius

con  $c_x$  e  $c_y$  e lungo di esse vengono integrate le forze agenti.

In fig. 8 è illustrato il diagramma polare della coppia complessivamente generata dalla turbina al variare della posizione angolare.

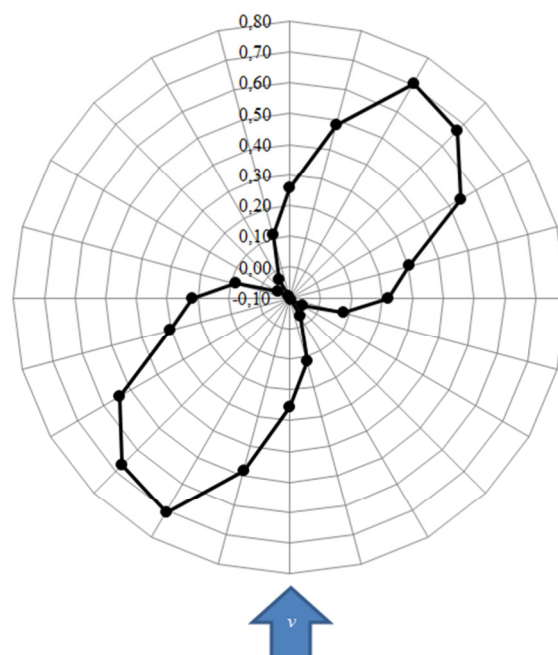


Figura 8 - Diagramma polare della coppia complessivamente generata dalla turbina Savonius

## CONFRONTO CON LE TURBINE AD ASSE ORIZZONTALE

I risultati del calcolo fluidodinamico non tengono conto del rendimento meccanico  $\eta_m$  del sistema (stimabile mediamente attorno al 97%), né di quello elettrico  $\eta_e$  del generatore (generalmente pari a circa il 96%). A questo occorre aggiungere anche uno scostamento  $w$  dei valori ricavati da simulazione con quelli reali della

turbina ipotizzato pari al 10%. Tenendo in considerazione tali fattori di penalizzazione, la potenza elettrica della turbina può essere calcolata come

$$P = \frac{1}{2} C_p \eta_m \eta_e (1 - w) \rho_a A_t v_v^3$$

Per definire le potenzialità della turbina Savonius, le sue prestazioni sono poste in confronto con un sistema molto diffuso sul mercato: la turbina ad asse orizzontale per applicazioni nautiche di simili potenzialità del modello LVM Aero4gen (fig. 9) [5], avente un diametro del rotore di 87 cm e un'area spazzata pari a circa 0,59 m<sup>2</sup>.

Affinché le due turbine esaminate abbiano la stessa area di rotore, occorre che la Savonius presenti un'altezza  $H$  e un diametro  $D$  entrambi pari a 77 cm.

Alla luce di ciò, in fig. 10 viene illustrato il diagramma di confronto tra le potenze elettriche generate dalle turbine al variare della velocità del vento.

Si osservi come, a velocità del vento ridotte, la turbina ad asse orizzontale generi potenze maggiori rispetto a quella ad asse verticale; accade l'opposto superata indicativamente un flusso della corrente di 8 m/s.

Considerando una velocità nominale del vento di 10 m/s, in tab. 1 sono riassunte le prestazioni delle turbine



Figura 9 - Turbina ad asse orizzontale LVM Aero4gen

considerate.

Il confronto non tiene conto del maggior tempo di rotazione della Savonius alle basse velocità del vento. Aspetto benefico che conduce a una produzione elettrica superiore.

Dati i vantaggi conseguibili con l'impiego di una tale turbina ad asse verticale, essa può trovare applicazione a bordo di imbarcazioni a vela di lunghezza minima di 10 m, fermo restando comunque il fatto che per imbar-

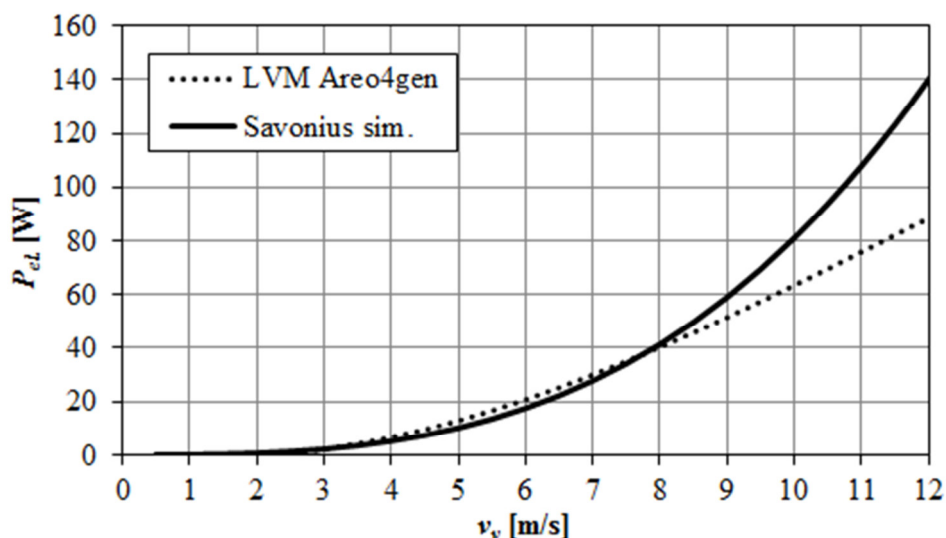


Figura 10 - Diagramma della potenza al variare della velocità del vento per le turbine Savonius simulata e LVM Aero4gen

Tabella 1 - Confronto tra le prestazioni della turbina Savonius a due pale simulata e la turbina ad asse orizzontale mod. LVM Aero4gen per una velocità del vento di 10 m/s

Parametro	Savonius a due pale	LVM Aero4gen
Potenza	80,99 W	63,45 W
Coefficiente di potenza	26,41%	17,43%
Tensione di esercizio	12 V	
Corrente elettrica prodotta	6,75 A	5,29 A

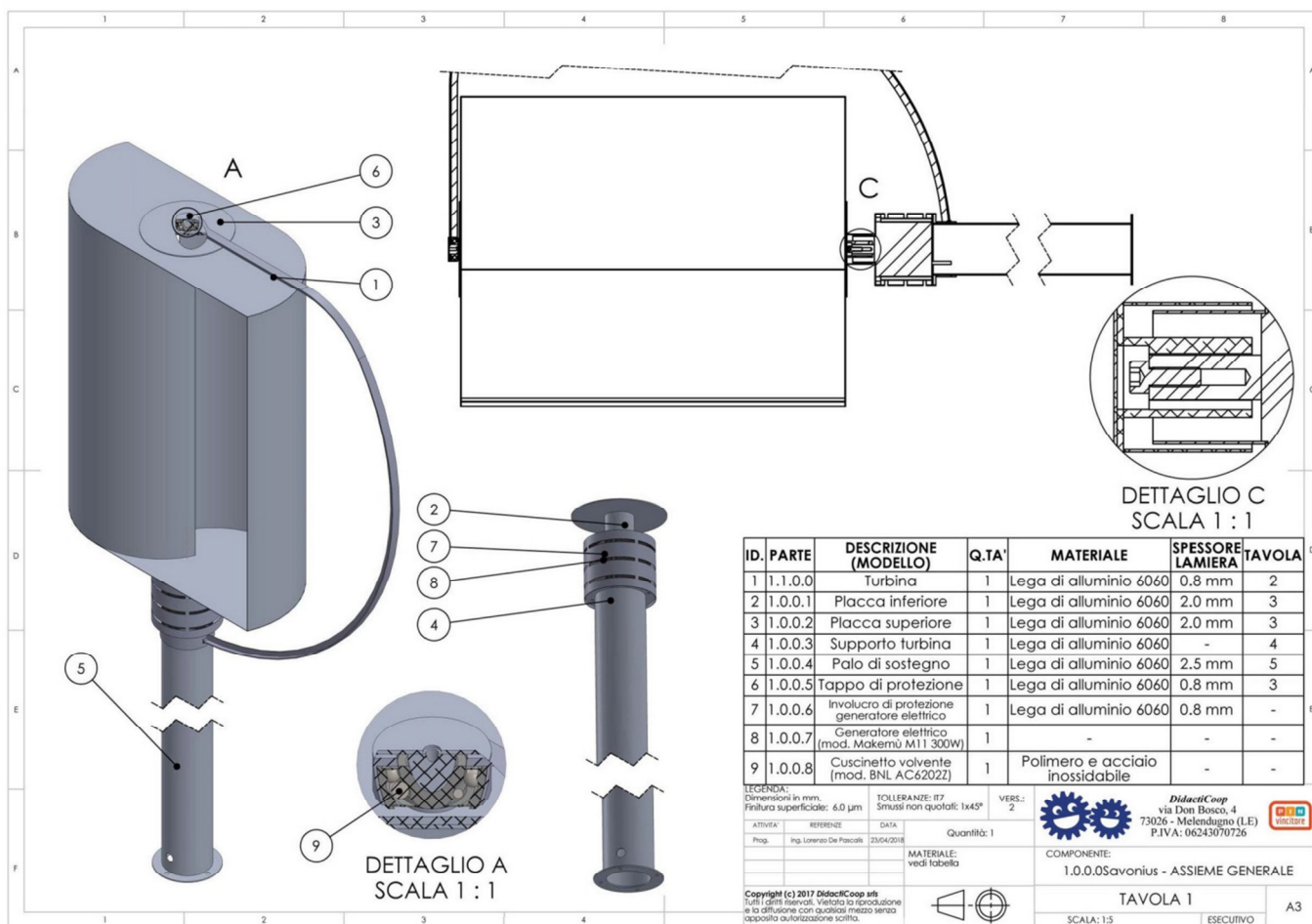


Figura 11 - Assieme costruttivo della turbina eolica nautica Savonius

cazioni di dimensioni di molto superiori è possibile incrementare secondo necessità gli ingombri del rotore.

Come detto, l'ulteriore vantaggio della Savonius, a differenza delle turbine ad asse orizzontale, risiede nel fatto che non sono necessari i sistemi di orientamento delle pale e di arresto per alte velocità del vento, dato che, per natura fisica intrinseca, la Savonius è impossibilitata a raggiungere elevate velocità di rotazione.

## IL PROTOTIPO

Il calcolo e il dimensionamento fluidodinamico ha condotto alla progettazione e alla realizzazione della macchina eolica di cui all'assieme costruttivo di fig. 11. Il prototipo, realizzato interamente in alluminio, è illustrato in fig. 12. Alla base delle pale della turbina è collegato (con interposizione di cuscinetto reggispira a sfere) un generatore elettrico a magneti permanenti della potenza nominale di 300 W.

In fase di realizzazione, al fine di incrementare la stabilità alla rotazione della sezione di sommità del sistema, sono stati previsti n. 3 braccetti di sostegno.

Allo stato attuale di sviluppo, il prototipo sta conducendo una campagna sperimentale di testing in campo.



Figura 12 - Prototipo della turbina Savonius

I primi risultati mostrano una produzione energetica in linea con quella simulata e determinata dal confronto con la turbina ad asse orizzontale. Tuttavia, occorrerà proseguire oltre nelle prove prima di definire le effettive prestazioni della macchina.



## CONCLUSIONI

La fastidiosa necessità di avviare il motore endotermico per ricaricare le batterie di un'imbarcazione a vela o, equivalentemente, il bisogno di collegare le stesse ai servizi elettrici di banchina, conduce da tempo armatori e conduttori nautici ad adottare sistemi quali moduli fotovoltaici flessibili incollati sui ponti o turbine eoliche ad asse orizzontale montate a poppa. I primi, tuttavia, scontano una scarsa resa energetica a causa dei forti ombreggiamenti (vele, occupanti, ecc.), le seconde, per generare corrente elettrica, hanno bisogno costantemente di orientarsi al vento durante una rotta a traiettoria variabile dell'imbarcazione.

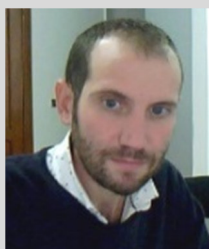
Con il fine di ovviare a questi svantaggi, una turbina eolica ad asse verticale del tipo Savonius e delle dimensioni compatibili con la navigazione a vela è stata sottoposta ad una campagna di simulazioni fluidodinamiche, i cui risultati hanno mostrato una produzione elettrica compatibile con i fabbisogni di bordo e, in confronto con un modello commerciale ad asse orizzontale di simili potenzialità, migliori prestazioni nel campo di velocità del vento tipiche della nautica a vela. Più in particolare, una più elevata coppia di avvio, la necessità di non doversi orientare al vento e l'impossibilità per natura fisica della turbina di raggiungere velocità di rotazione pe-

ricolosamente alte hanno premiato le prestazioni della stessa nel confronto con l'omologa ad asse orizzontale.

La successiva fase di progettazione e realizzazione del prototipo in alluminio dotato di generatore elettrico a magneti permanenti da 300 W ha permesso di condurre una campagna di testing sperimentale in campo (attualmente ancora in corso) che permetterà di valutare le effettive prestazioni della macchina.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Savonius S.J. (1929), *Wind Rotor*, US Patent 1766765-A.
- [2] Grinspan A.S., Saha U.K., Mahanta P. (2004), *Experimental Investigation of Twisted Bladed Savonius Wind Turbine Rotor*, RERIC International Energy J., **5(1)**, 1-9.
- [3] Menet J.L. (2004), *A Double-Step Savonius Rotor for Local Production of Electricity: a Design Study*, Renewable Energy, 29, 1843-1862.
- [4] Saha U.K., Thotla S., Maity D. (2008), *Optimum Design Configuration of Savonius Rotor through Wind Tunnel Experiments*, J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, **96**, 1359-1375.
- [5] [http://facility.unavco.org/project\\_support/polar/suport/aero4gen\\_manual.pdf](http://facility.unavco.org/project_support/polar/suport/aero4gen_manual.pdf)



L'ing. **Lorenzo De Pascalis**, PhD in Sistemi Energetici e Ambiente, si occupa di impiantistica, di analisi e ottimizzazione energetica, di ambiente e di sicurezza. Ha sviluppato negli anni la sua attività professionale collaborando con enti pubblici, università, dipartimenti di ricerca, imprese di tutte le dimensioni e partner privati, con lo scopo di fornire

ai propri clienti servizi di progettazione, direzione dei lavori, consulenza, coordinamento e supporto nella definizione e nella gestione di progetti complessi.

Opera attivamente nel campo dell'istruzione pubblica e della formazione professionale. È autore di numerosi articoli di ricerca, monografie, testi di studio e manuali pubblicati in ambito nazionale e internazionale.

**Giuseppe Starace**, ingegnere meccanico e PhD in Sistemi Energetici e Ambiente, è ordinario di Fisica tecnica presso il Dipartimento di ingegneria dell'Università LUM e vanta una vasta produzione scientifica. Ha preso parte a diverso titolo a numerosi progetti di R&S&I. Ha lavorato nell'impresa privata con esperienze all'estero. Svolge attività libero professionale. Opera valutazioni per conto dell'EIC, agenzia della Commissione Europea. È consulente della Regione Puglia, Presidente del CTS del Distretto Produttivo "La Nuova Energia", componente dell'Osservatorio Regionale sull'Idrogeno, Innovation Manager UNI 11814, EGE UNI 11339 e Certificatore MIMIT delle Spese di Ricerca, Sviluppo e Innovazione. È titolare di 10 brevetti nazionali e internazionali.



