



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

Università degli Studi di Padova

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

TESI DI LAUREA

**CARATTERISTICHE ED APPLICAZIONI DELLA
TURBINA IBRIDA DARRIEUS-SAVONIUS DS700**

Laureando:

Jacopo Boem

Matricola 1120259

Relatore:

Giorgio Pavesi

Anno Accademico 2021/2022

Sommario

La seguente tesi propone un'analisi della turbina eolica ibrida ad asse verticale Darrieus Savonius, la quale presenta la combinazione delle due tipologie di pale per ottenere i benefici di entrambe.

Nella prima parte verrà illustrata la situazione energetica globale attuale, per poi analizzare la produzione di energia da fonti rinnovabili, con particolare attenzione per la produzione legata alle turbine eoliche, e quindi alla potenza estraibile dal vento.

Nel capitolo seguente si analizzeranno le specifiche tecniche di suddetta turbina, comparandole con quelle delle tradizionali turbine ad asse verticale, per poi evidenziare i fattori di pregio che la caratterizzano e le condizioni ottimali di funzionamento. Infine sarà esaminata la possibilità di accoppiamento con un impianto fotovoltaico e le relative configurazioni, evidenziando i vantaggi di tale abbinamento e le varianti di installazione con sistemi di accumulo.

Lo scopo di questa trattazione è dunque inizialmente analizzare e paragonare l'efficienza di tale turbina ibrida con le tipologie più tradizionali, per poi considerare un eventuale accostamento ad un sistema fotovoltaico, valorizzando la dualità nella produzione di energia ed i campi di applicazione di questo modello di aereogeneratore.

INDICE

0	ELENCO DEI SIMBOLI	3
1	INTRODUZIONE	7
1.1	Situazione energetica mondiale	7
1.2	Energia eolica	8
1.2.1	Produzione energia eolica globale	8
1.3	Turbine eoliche	9
1.3.1	Portanza e resistenza aereodinamica	10
1.3.2	Turbina Darrieus Savonius	10
2	SPECIFICHE TECNICHE	13
2.1	Caratteristiche meccaniche	13
2.2	Analisi di funzionamento	15
2.2.1	Velocità di esercizio	15
2.2.2	Curve di potenza ed efficienza	16
2.3	Confronto con turbina ad asse orizzontale	17
3	ACCOSTAMENTO AD IMPIANTO FOTOVOLTAICO	20
3.1	Vantaggi nella dualità della produzione di energia	20
3.2	Installazione	20
3.2.1	Sistemi di accumulo	22
3.2.2	Configurazioni possibili	23
4	CAMPI D'APPLICAZIONE	25
4.1	Estrazione da scarichi o ventilazione dell'aria	26
5	CONCLUSIONE	29



ELENCO DEI SIMBOLI

P_{eolica}	Potenza del vento = $\frac{1}{2}\rho Au^3$	[W]
c_p	Coefficiente di potenza = $\frac{P_{eolica}}{P_{estratta}}$	[-]
c_L	Coefficiente di portanza	[-]
c_D	Coefficiente di resistenza	[-]
L	Forza di portanza = $c_L \frac{1}{2} \rho Av_R^2$	[N]
D	Forza di resistenza = $c_D \frac{1}{2} \rho Av_R^2$	[N]
ρ	Densità dell'aria	[Kg/m ³]
A	Area spazzata dal rotore	[m ²]
u	Velocità del vento indisturbato	[m/s]
v_R	Velocità relativa tra vento indisturbato e velocità di macchina	[m/s]
v_n	Velocità nominale	[m/s]
v_{in}	Velocità di cut-in	[m/s]
v_{off}	Velocità di cut-off	[m/s]
P_n	Potenza nominale	[W]
P_{MAX}	Potenza massima	[W]
$P_{estratta}$	Potenza estratta dalla vena = $\frac{1}{2}\rho Au^3 4a(1-a)^2$	[W]
a	Fattore d'interferenza	[-]
λ	Tip Speed Ratio (TSR) = $\frac{\omega R}{u}$	[-]
ω	Velocità angolare	[rad/s]
R	Raggio del rotore	[m]

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1	Richiesta totale nel mondo di energia primaria.	pag. 7
Figura 2	Produzione mondiale di energia dal vento.	pag. 8
Figura 3	Potenza eolica mondiale.	pag. 9
Figura 4	Design del rotore di una turbina Darrieus-Savonius DS700.	pag. 11
Figura 5	Vista laterale e dall'alto della turbina DS700.	pag. 13
Figura 6	Modello del rotore Savonius a "doppio step".	pag. 14
Figura 7	Modello del rotore Darrieus.	pag. 15
Figura 8	Curva di potenza della turbina ibrida Darrieus-Savonius DS700.	pag. 16
Figura 9	Legame fra il c_p ed il β per i vari modelli di turbina eolica.	pag. 17
Figura 10	Turbina eolica IstaBreeze i-700	pag. 18
Figura 11	Controller e modello di collegamento.	pag. 21
Figura 12	Modelli di batterie al Litio-Ferro-Fosfato.	pag. 22
Figura 13	Modello di installazione eolico e fotovoltaico tipo ONGRID.	pag. 23
Figura 14	Soluzioni urbane innovative della turbina ibrida Darrieus-Savonius.	pag. 25
Figura 15	Soluzione containerizzata per sistema ibrido con turbina DS700.	pag. 26
Figura 16	Estrazione di potenza da scarichi o ventilazione aria con turbina DS300.	pag. 27

INTRODUZIONE

1.1 SITUAZIONE ENERGETICA MONDIALE

L'energia, da sempre fondamentale per lo sviluppo sociale ed economico, è in una costante crescita per quanto riguarda la sua richiesta e produzione, come si evince dalla figura 1, dove è graficata la richiesta mondiale di fornitura energetica e le relative fonti di produzione negli anni.

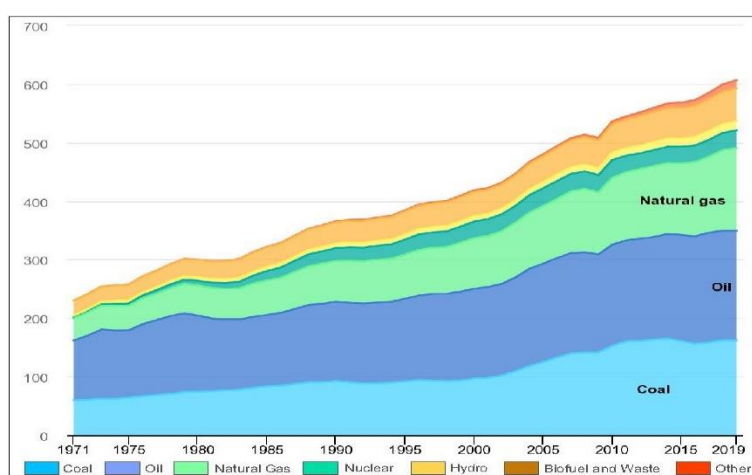


Figura 1: Richiesta totale nel mondo di energia primaria.

Fonte: [1]

Si può notare che dal 1971 la richiesta di energia primaria mondiale è più che raddoppiata, e che la maggior parte della sua produzione, più dell'80% interessa i cosiddetti combustibili fossili, fonti energetiche limitate e destinate col tempo ad esaurirsi, mentre il restante accorpa il nucleare e le fonti rinnovabili; tra le ultime, al giorno d'oggi sono maggiormente diffuse l'idroelettrico e le biomasse, mentre eolico e solare coprono una fetta minore.

Negli ultimi anni, col crescente problema di inquinamento atmosferico, si guarda verso le fonti rinnovabili come un'opportunità di raggiungere l'obiettivo del "Carbon Free World", ovvero un mondo privo emissioni di carbonio, in quanto nell'utilizzo delle rinnovabili per la produzione di energia non vengono emessi gas serra.

1.2 ENERGIA EOLICA

Tra le principali fonti di energia primaria rinnovabile troviamo il vento, sfruttato per la sua energia cinetica da turbomacchine motrici, le quali estraggono energia meccanica che sarà poi utilizzata da un generatore per ottenere energia elettrica.

La potenza eolica estraibile da una vena indisturbata è direttamente proporzionale all'energia cinetica del vento e vale

$$P_{eolica} = \frac{1}{2} \rho A u^3 \quad [\text{W}], \quad (1)$$

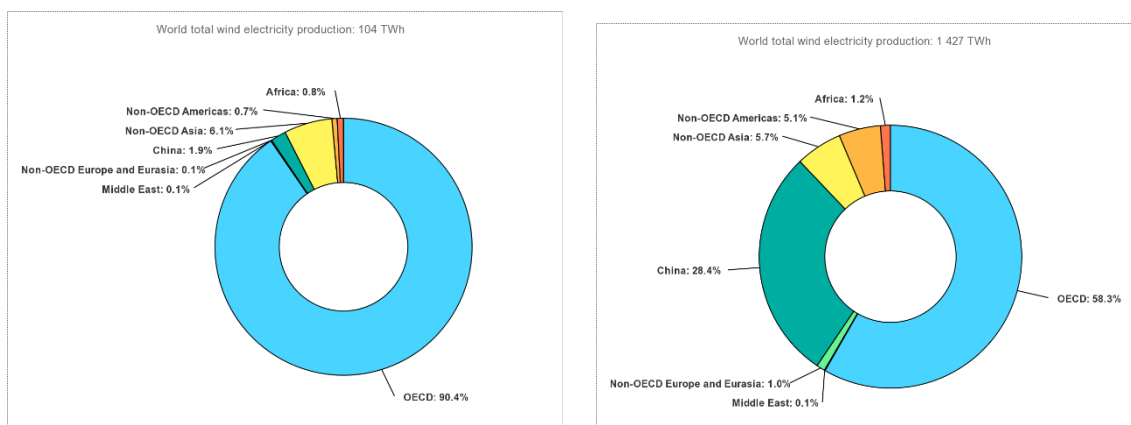
dove ρ è la densità dell'aria, A è la sezione del rotore e u è la velocità del vento.

Non tutta l'energia eolica è convertibile in energia meccanica, infatti esiste un limite di conversione enunciato dalla legge di Betz, la quale afferma che suddetto limite è del 59.3%, ovvero il valore massimo assumibile dal coefficiente di potenza c_p .

Le turbine eoliche si differenziano tra di loro in base alla tipologia di asse, verticale (VAWT) o orizzontale (HAWT), e allo sfruttamento della risorsa eolica, ovvero se la macchina lavora attraverso la resistenza aerodinamica o la portanza aereodinamica.

1.2.1 Produzione di energia eolica globale

La produzione globale di energia tramite aereogeneratori è in netta crescita di anno in anno, come visualizzato dalla figura 2 dal 2005 al 2019 si è più che decuplicata, passando da 104 TWh a 1427 TWh, segnale che il settore eolico è in continuo sviluppo grazie all'avanzamento delle nuove innovazioni per la realizzazione di turbine sempre più efficienti.



a) Produzione mondiale di energia da eolico 2005

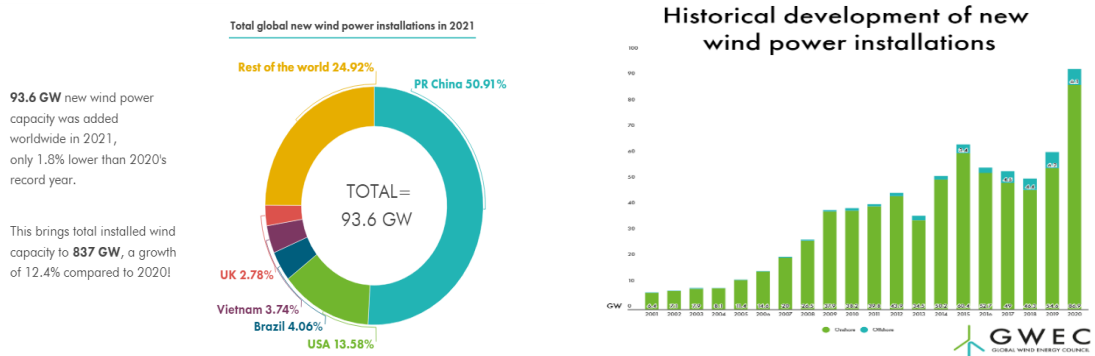
b) Produzione mondiale di energia da eolico 2019

Figura 2: Produzione mondiale di energia dal vento.

Fonte: [1]

Ne segue che a livello mondiale ogni anno la capacità eolica cresce, la quale, come graficato nella figura 3, è aumentata nel 2021 di 93.6 GW, minore solo del 1.8% rispetto a quella aggiunta nel 2020.

Questo aumento porta la capacità globale eolica installata ad un totale di 837 GW, segnando un incremento del +12.4% dal 2020.



a) Capacità eolica mondiale installata nel 2021

b) Incremento annuale della capacità eolica

Figura 3: Potenza eolica mondiale.

Fonte: [2]

Sebbene gli ultimi due anni siano stati segnati da una pandemia a livello internazionale, i dati suggeriscono che il settore eolico è comunque in rapida ascesa, sia per produzione di energia elettrica sia per installazione di nuove infrastrutture in tutto il mondo.

1.3 TURBINE EOLICHE

Come già accennato nel capitolo 1.2, gli aereogeneratori possono essere ad asse orizzontale o ad asse verticale.

I primi sono caratterizzati da un rendimento maggiore, il loro limite principale consiste nel dover essere orientate frontevento.

Le turbine ad asse verticali presentano rendimenti minori rispetto alle precedenti, mentre i vantaggi principali sono di aver un buon funzionamento sia con alte che con basse velocità del vento e di non aver bisogno di una particolare direzione di esso per poter lavorare.

Un'ulteriore distinzione, valida per le HAWT, sta nel classificarle come sopravento o sottovento, in base alla posizione del rotore e al metodo di allineamento della turbina con la direzione del vento, se è presente un "timone" in coda o se le pale stesse sono conformate per sopperire a questo compito di allineamento.

1.3.1 Portanza e resistenza aereodinamica

Un'altra classificazione è stabilita dal principio di sfruttamento della vena ventosa, ovvero se lavorano utilizzando la portanza oppure la resistenza aereodinamica.

La distinzione fra le due sta nella direzione in cui agisce la forza rispetto a quella del flusso; se agisce parallelamente alla direzione del flusso si dice resistenza, se agisce perpendicolarmente si dice portanza.

La forza di portanza viene definita come

$$L = c_{L\frac{1}{2}} \rho A v_R^2 \quad [\text{N}], \quad (2)$$

mentre la forza di resistenza è

$$D = c_{D\frac{1}{2}} \rho A v_R^2 \quad [\text{N}], \quad (3)$$

dove v_R è la velocità relativa, ovvero la differenza fra la velocità del vento indisturbato u e la quella della macchina, ρ ed A sono rispettivamente la densità dell'aria e l'area spazzata, mentre c_L e c_D sono i coefficienti di portanza e resistenza, che variano in base all'angolo fra la direzione di v_R e la corda della pala e in base alla forma del profilo palare dell'aereogeneratore.

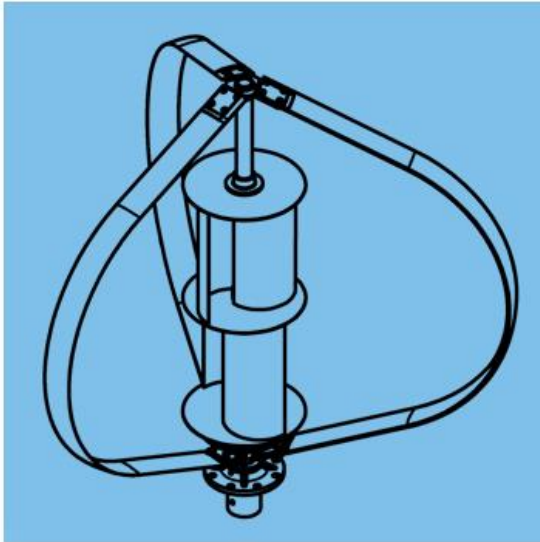
Di norma le turbine che sfruttano la sola resistenza aereodinamica presentano un'efficienza minore rispetto alle altre.

1.3.2 Turbina Darrieus – Savonius

La turbina ibrida Darrieus-Savonius che andremo a considerare combina le due tipologie di rotore per ottenere i benefici di entrambi i modelli, essendo il principio di funzionamento delle pale Savonius a resistenza e quello delle Darrieus a portanza.

Le turbine Savonius estraggono minore potenza rispetto quelle a portanza, poiché nel loro funzionamento la velocità di rotazione delle pale non può superare quella della corrente ventosa, ma col vantaggio di avere una bassa coppia di avviamento.

La turbina Darrieus invece presenta un'efficienza superiore, estraendo maggiore potenza dal vento, con lo svantaggio di non essere auto-avviante e di necessitare di un motorino elettrico per raggiungere la velocità minima di funzionamento, questo problema nella turbina ibrida viene sanato dal rotore della Savonius che presenta ottime capacità di avviamento, di seguito verranno riportate le specifiche tecniche e la componentistica di una turbina DS700, di cui viene riportata in figura 4 il design del rotore.



a) *Rappresentazione grafica del rotore*



b) *Vista interna del rotore dall'alto*

Figura 4: Design del rotore di una turbina Darrieus-Savonius DS700.

Fonte: [5]

SPECIFICHE TECNICHE

In questo capitolo verranno analizzate le specifiche e caratteristiche tecniche di una turbina modello Darrieus-Savonius, in particolare del modello “DS700”.

2.1 CARATTERISTICHE MECCANICHE

Il rotore dell’aereogeneratore presenta un diametro di 1.93 metri per un’altezza di 1.59 metri, del peso complessivo di 60 kilogrammi, l’area spazzata del rotore è di circa 2 metri e normalmente viene fissata su di un pilastro dai 2 ai 6 metri di altezza.

Esso si compone, come rappresentato in figura 5, di 3 pale di Darrieus attaccate a due piastre di fissaggio, una superiore ed una inferiore, un sistema di Savonius posizionato sul palo centrale del rotore, uno smorzatore o ammortizzatore, essenziale per ridurre al minimo le vibrazioni e quindi la rumorosità, ed un generatore trifase a magneti permanenti di tipo direct drive, il quale viene accoppiato ad un convertitore bistadio AC-DC-AC, che serve per portare la tensione e la frequenza del generatore al valore di rete ed in fase con la rete stessa.

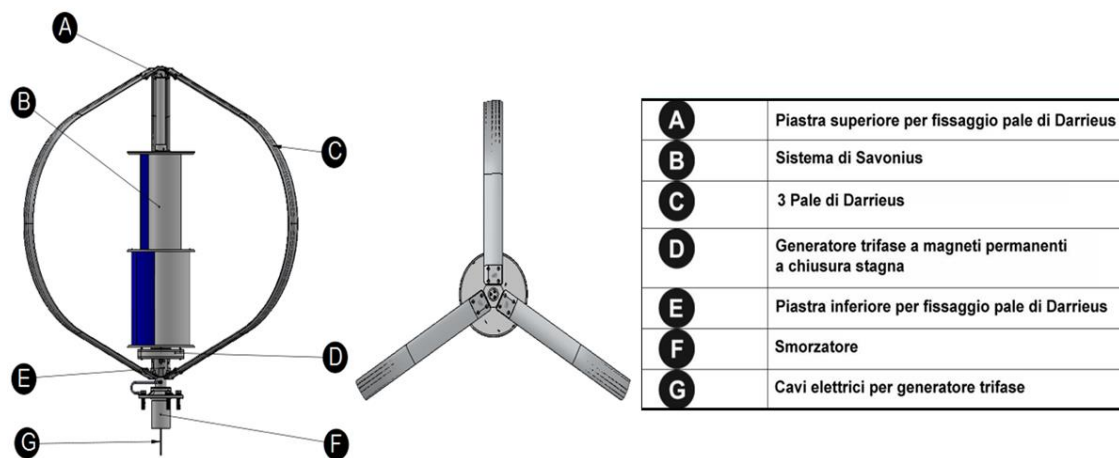


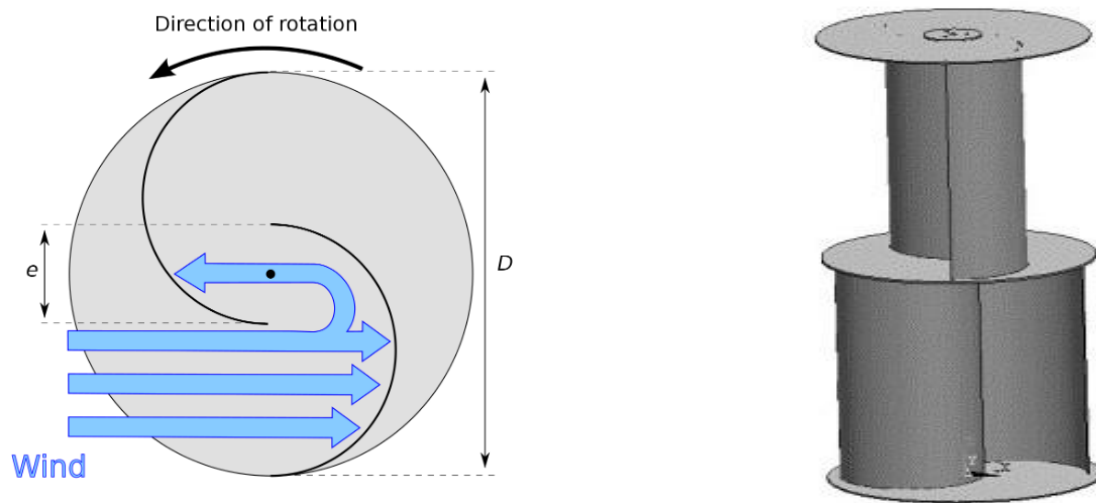
Figura 5: Vista laterale e dall’alto della turbina DS700.

Fonte: [5]

Il sistema Savonius consiste in un certo numero di pale rotoriche a sezione semicircolare, tendenzialmente due o tre, montate di solito verticalmente su un albero o su una struttura rotante.

Nella turbina ibrida il rotore Savonius può essere montato nella parte superiore del rotore Darrieus, nella parte inferiore oppure, come nel nostro caso, al centro rotore Darrieus, in quanto è stato dimostrato essere la configurazione ottimale dato che il rotore Savonius fornisce il valore più alto del coefficiente di potenza.

La turbina ibrida DS700 presenta un rotore Savonius “a doppio step” con due pale semicircolari, come riportato in figura 6.



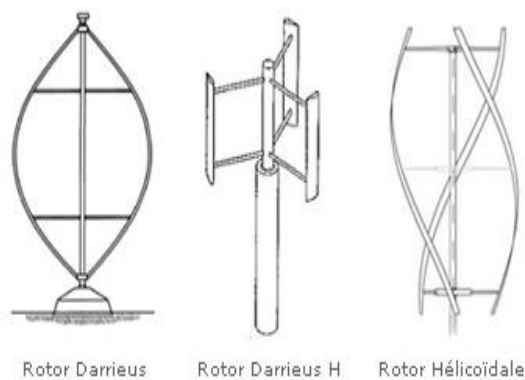
a) Sezione del rotore e canalizzazione del flusso ventoso

b) Design del rotore a doppio step

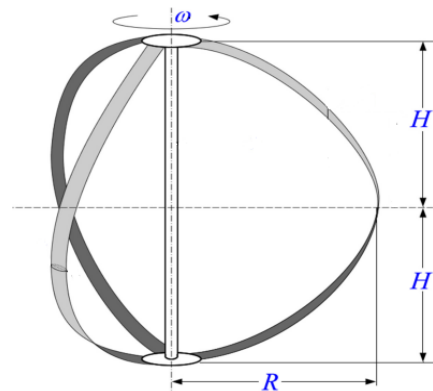
Figura [6]: Modello del rotore Savonius a “doppio step”.

La turbina Darrieus si presenta solitamente con le pale del rotore a forma di C, il che attribuisce alla macchina un tradizionale aspetto “a frullino”, ma ci sono altri tipi di layout delle pale, come a forma di H o a forma elicoidale.

Presentano di norma 2 o 3 pale ma se ne trovano versioni anche con più elementi, nella successiva analisi di funzionamento della turbina DS700 abbiamo il rotore Darrieus composto da 3 pale a forma di C.



a) Tipologie di pale per turbina Darrieus



b) Grandezze della turbina Darrieus a frullino

Figura [7]: Modello del rotore Darrieus.

Gli aereogeneratori a portanza hanno un'efficienza superiore rispetto quelle a resistenza ed un coefficiente di coppia minore a parità di dimensioni, ma possono ruotare più velocemente; inoltre questa tipologia di turbine possono estrarre energia già con venti molto deboli e funzionare con per flussi ventosi con la componente verticale della velocità di intensità rilevante.

Attraverso studi sperimentali è stato dimostrato come il numero delle pale influenzi le prestazioni della turbina, infatti minore è il numero di pale, maggiore risulta la prestazione del rotore.

2.2 ANALISI DI FUNZIONAMENTO

2.2.1 Velocità di esercizio

Un rotore eolico ad asse verticale di tipo Darrieus-Savonius combinato presenta molti vantaggi rispetto ai singoli rotori, avendo un'efficienza superiore rispetto alla turbina Savonius ed un'elevata coppia di spunto rispetto al rotore Darrieus.

È stato verificato che il design ibrido mostra pienamente la capacità di avviamento automatico in tutte le posizioni azimutali, grazie alla presenza nella parte rotorica del sistema Savonius.

La turbina DS700, che ha un'area spazzata A dal rotore di 2 metri quadri, grazie alle sue caratteristiche presenta una velocità di cut-in v_{in} di 2.2 m/s, ovvero il valore minimo di velocità del vento per l'avviamento ed inizio produzione di energia, una velocità di cut-off v_{off} di 15 m/s, ossia il valore di velocità massimo oltre il quale la turbina deve essere frenata, in modo meccanico o elettrico, per non compromettere i componenti meccanici

o la durata della vita dell'aereogeneratore, ed una velocità nominale di funzionamento v_n di 12 m/s, a cui corrispondono 405 rpm della macchina.

2.2.2 Curve di Potenza ed efficienza

Quando la turbina lavora a velocità nominale del vento v_n , ovvero a 12 m/s, essa produce una potenza nominale P_n di 700 Watt, mentre presenta una potenza massima raggiungibile P_{MAX} di 1000 Watt ed inizia a produrre circa 100 W quando la velocità del vento tocca i 6 m/s con la turbina già avviata.

Viene rappresentato graficamente nella figura 8 la curva di potenza del modello DS700, dove viene correlata la produzione di energia e la velocità del vento.

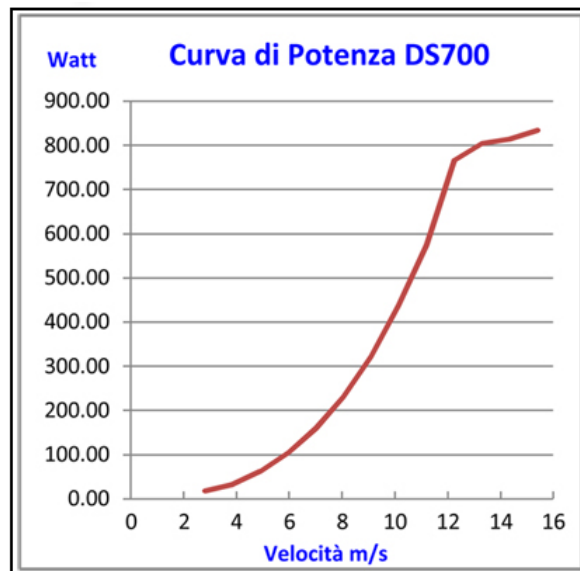


Figura [8]: Curva di potenza della turbina ibrida Darrieus-Savonius Ds700

Fonte: [5]

Oltre alla curva di potenza, una turbina viene caratterizzata dalla sua efficienza, descritta dal coefficiente di potenza c_p , definito come il rapporto fra la potenza effettivamente estratta dalla vena ventosa e la potenza disponibile del vento

$$c_p = \frac{P_{eolica}}{P_{estratta}} \quad , \quad (4)$$

a differenza della potenza eolica trattata nel primo capitolo, la potenza estraibile secondo la teoria di Betz viene definita come

$$P_{estratta} = \frac{1}{2} \rho A u^3 4a(1-a)^2 \quad [W], \quad (5)$$

Dove il termine a rappresenta il coefficiente di adduzione assiale che valuta la misura in cui il flusso ventoso viene rallentato a monte della turbina.

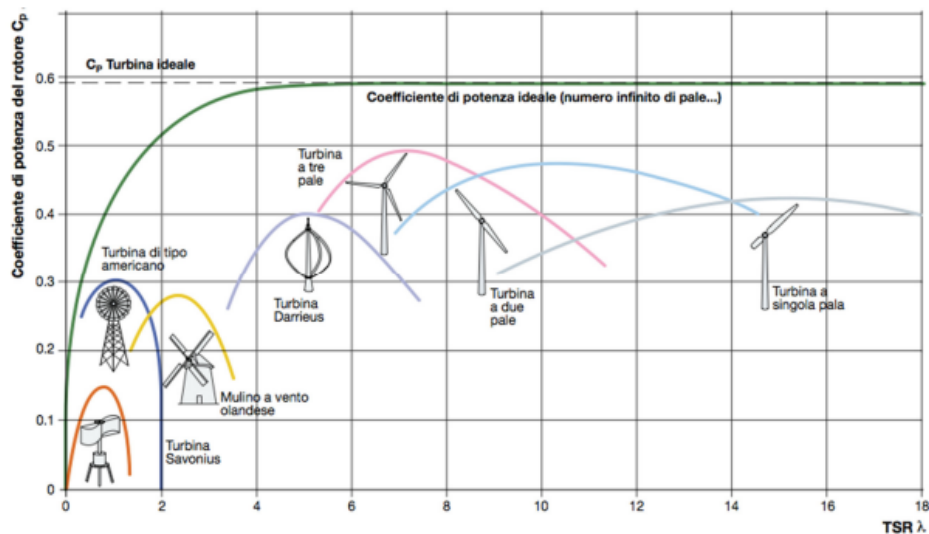


Figura [9]: Legame fra il c_p ed il λ per i vari modelli di turbina eolica

Il coefficiente di potenza varia in base al Tip-speed ratio (TSR) o λ , definito come rapporto tra la velocità tangenziale sulla estremità delle pale e la velocità del vento all'ingresso del tubo di flusso

$$\lambda = \frac{\omega R}{u} \quad (6)$$

Si può notare dal grafico in figura 9 come il coefficiente di potenza presenti un unico picco, detto c_{pmax} , in corrispondenza di un ben preciso valore di TSR, che rappresenta il punto di funzionamento ottimale in cui risulta massima l'estrazione di potenza dalla vena ventosa.

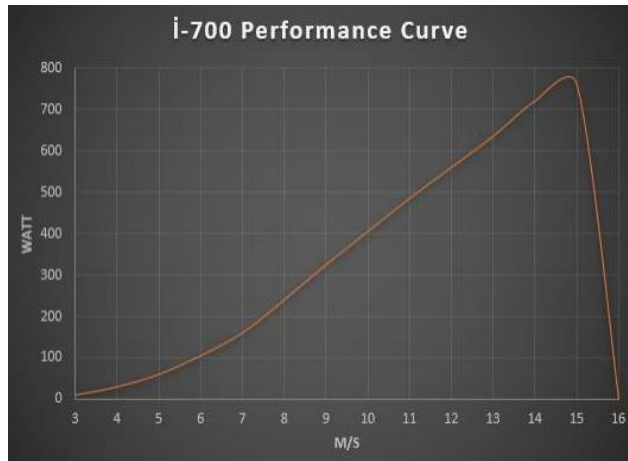
2.3 CONFRONTO CON TURBINA AD ASSE ORIZZONTALE

Per evidenziare le peculiarità della turbina ibrida DS700, prendiamo in considerazione una turbina eolica ad asse orizzontale avente la stessa P_n .

L'aereogeneratore scelto per questo confronto è il modello i-700, del quale possiamo osservarne la curva di potenza ed il suo aspetto in figura 10.



a) Vista della turbina assemblata



b) Curva di potenza della turbina

Figura [10]: Turbina eolica IstaBreeze i-700

Fonte: [8]

La principale differenza fra queste due turbine sta nell'ingombro e nel peso, infatti il modello i-700 presenta un diametro di circa 1,25 m ed un peso di 18.5 kg, nettamente inferiori rispetto a quelli della DS700.

Per quanto riguarda le prestazioni si può notare come la turbina ibrida DS700 abbia un'efficienza maggiore rispetto alla turbina ad asse orizzontale, in quanto, a parità di P_n , quest'ultima necessita di una velocità del vento poco meno di 14 m/s, contro i 12m/s per raggiungere la stessa generazione di potenza; inoltre possiamo anche notare come la produzione di energia per il modello i-700 necessiti di una velocità minima di 3 m/s, superiori alla v_{in} della DS700 di 2,2 m/s.

Un altro dettaglio che rende la turbina DS700 ottima per ogni condizione ventosa è la sua caratteristica di non necessitare di una specifica direzione del vento, al contrario della turbina ad asse orizzontale, che ha bisogno di essere orientata sopravento per ottenere una buona estrazione di potenza.

Infine, se si considera un utilizzo urbano delle due turbine confrontate, la D700 vanta una silenziosità eccellente nel suo funzionamento a regime, data da innovativi sistemi di ammortizzazione, raggiungendo come valore massimo di rumorosità i 50 dBa, contro i 60 dBa della turbina ad asse orizzontale.

ACCOSTAMENTO AD IMPIANTO FOTOVOLTAICO

La turbina ibrida DS700, per le sue dimensioni e quindi ingombro ridotto, risulta ottima per l'installazione in aree urbane e rurali, dove viene spesso adottata la scelta di accoppiamento con un sistema fotovoltaico per l'accumulo di energia.

In questo capitolo verranno esposte le caratteristiche ed i componenti di questo accostamento eolico-fotovoltaico, considerando le varie soluzioni di installazione e le differenze tra di esse.

3.1 VANTAGGI NELLA DUALITA' DELLA PRODUZIONE DI ENERGIA

Adottando questa combinazione di eolico e fotovoltaico, la produzione di energia risulta pressoché attiva 24h, in quanto di giorno i pannelli solari assorbono la luce e producono energia, mentre la notte, quando essi sono inattivi, la turbina eolica continua la produzione di energia anche in presenza di venti deboli, grazie ai caratteristici venti di attivazione bassi.

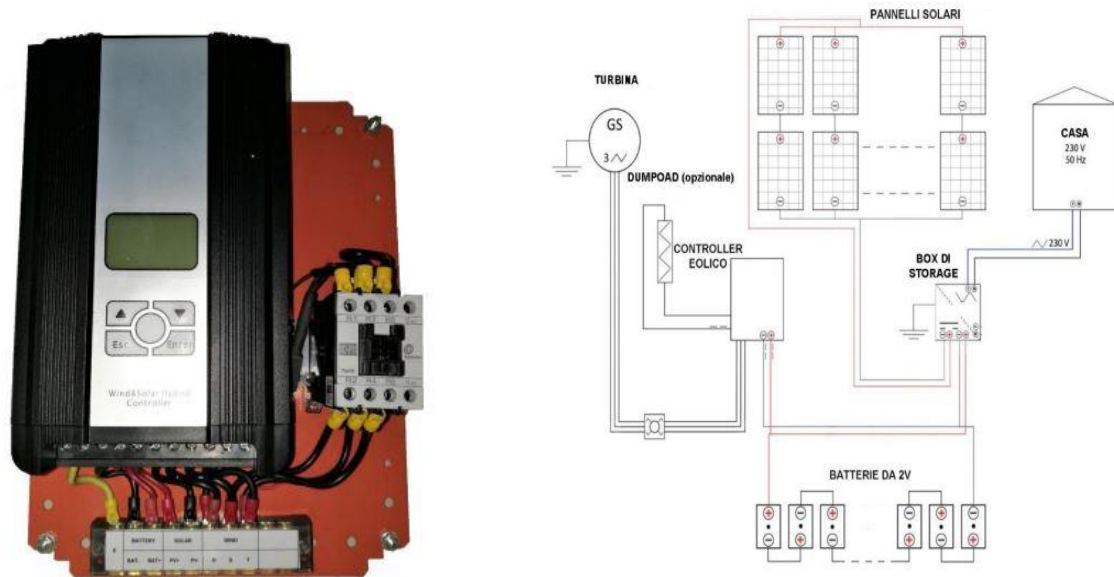
Quando l'aerogeneratore è attivo anche di giorno insieme al sistema fotovoltaico, normalmente abbiamo una potenza prodotta totale che logicamente risulta maggiore rispetto la notte, ma l'importanza dell'accostamento eolico-fotovoltaico sta proprio nella sua continuità di funzionamento.

3.2 INSTALLAZIONE

Per quanto riguarda le possibilità d'installazione si distinguono due soluzioni principali, a seconda se l'impianto di produzione eolico-fotovoltaico viene connesso o meno alla rete pubblica, nel primo caso si parla di installazione ONGRID mentre nel secondo di OFFGRID, entrambi considerati nel caso di connessione monofase.

In entrambi i casi, la turbina eolica viene collegata ad un controller ibrido "MAX1500 WIND CONTROLLER", riportato di seguito nella figura 10, il quale gestisce la fonte eolica in completa autonomia tramite la funzione di controllo della curva MPPT (regolazione di carica), permettendo di controllare la velocità della turbina, frenandola se

essa supera la velocità massima di funzionamento, la potenza in uscita e la capacità di energia immagazzinata.



a) controller eolico MAX1500

b) schema elettrico di collegamento

Figura [11]: Controller e modello di collegamento.

Fonte: [5]

Per la porzione fotovoltaica i componenti, come l'inverter, cambiano in base alle necessità ed alla configurazione: nel caso ONGRID viene associato un inverter monofase GOODWE ibrido bidirezionale da 48V variabili, che consente all'energia accumulata di venir rilasciata dalle batterie quando richiesta dai carichi o di esser prelevata dalla rete per caricare le batterie stesse, garantendo una continuità di funzionamento.

Nel caso OFFGRID viene scelto invece il kit XTENDER, il quale si compone di un inverter 220V-48V di potenza variabile 2-4-6-8 kVA, questo kit di monitoraggio permette il controllo dei carichi attivi e della produzione, sia tramite un display fisico sia tramite un portale web quando connesso alla rete internet; questo pacchetto è dotato di un sensore di temperatura abbinato ad un dispositivo di controllo dello stato di carica delle batterie BSP-500, per poter verificare le variazioni di temperatura e la percentuale residua della batteria garantendo una gestione della carica ottimizzata.

Per il pannello fotovoltaico è del tipo monocristallino di potenza 330 W con tecnologia half-cell per l'aumento della resa energetica, il numero minimo di pannelli per impianto è sei ed ogni pannello necessita di 1.7 mq.

3.2.1 Sistemi di accumulo

Con le recenti innovazioni tecnologiche, la scelta degli accumulatori ricade sulle batterie al litio-ferro-fosfato (LiFePo4), le quali, rispetto alle precedenti batterie al piombo, presentano molteplici vantaggi, come la densità di energia maggiore, le dimensioni ridotte, una temperatura di fusione superiore e cicli di vita più lunghi. Come per la scelta dell'inverter, anche per le batterie vengono consigliati modelli di batterie differenti in base al tipo di installazione, ovvero se vi è o meno la connessione alla rete pubblica.



a) Batteria PowerBrick + 48V 72Ah



b) Batteria PylonTech US2000C 48V 2.4kWh

Figura [12]: Modelli di batterie al Litio-Ferro-Fosfato.

Fonte: [5]

Nel caso di configurazione OFFGRID, la batteria PowerBrick + presenta una tensione nominale di 52.1 V e ha la possibilità di essere collegata in serie ad altre 4 batterie ed in parallelo per un totale di 10 batterie, è protetta da un involucro in ABS che la rende impermeabile ad acqua e polvere, con una durata all'incirca di 3000 cicli al 100%.

Per la scelta ONGRID viene consigliata invece l'accumulatore PylonTech US2000C, la quale può essere collegata in parallelo ad altre 16 batterie, che, una volta alloggiata in rack da 16, possono essere ulteriormente collegate ad altre 4 rack per un totale di 5, portando la capacità complessiva da 2.4 kWh a 192 kWh; inoltre essa può lavorare per 6000 cicli al 95%, per una durata complessiva di vita superiore ai 10 anni.

Entrambe le tipologie di batteria, rappresentate in figura 11, hanno integrato un BMS (Battery Management System), ovvero un sistema di controllo che ha la funzione di monitorare e bilanciare la carica delle batterie, al fine di allungarne la vita utile.

3.2.2 Configurazioni possibili

Come accennato precedentemente, in questo capitolo vengono considerati i due tipi di installazione, sia ONGRID che OFFGRID, nella configurazione di sistema monofase. In entrambi i casi molti elementi che compongono le installazioni sono gli stessi, come turbina, pannelli fotovoltaici e controller eolico, mentre cambiano gli inverter e le batterie per il sistema di accumulo.

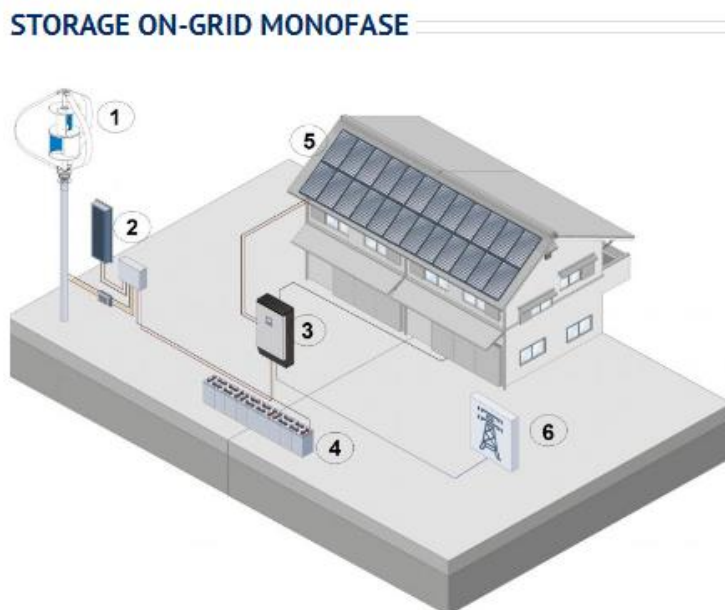


Figura [13]: Modello di installazione eolico e fotovoltaico tipo ONGRID.

Fonte: [5]

In figura 12 possiamo osservare uno schema di installazione per il caso ONGRID monofase, dove ritroviamo rappresentati la turbina DS700 (1), il controller eolico (2) e la porzione di impianto fotovoltaico composto dai pannelli (5); tutti questi elementi sono comuni anche per la configurazione di storage OFFGRID monofase, mentre differiscono, come specificato precedentemente, gli inverter del box di storage (3) ed i modelli di batteria per il sistema di accumulo.

Infine la connessione alla rete pubblica (6) è necessaria solo per il caso ONGRID, mentre nell'altro caso il punto (6) può essere occupato da un gruppo elettrogeno direttamente connesso al box di storage, nel caso di necessità di alimentazione per i carichi, ma questo elemento è opzionale quindi non necessario.

CAMPI D'APPLICAZIONE

Come accennato nel capitolo precedente, l'applicazione urbana è uno dei principali obiettivi di utilizzo per questo modello di turbina in accoppiamento ad un sistema fotovoltaico, soprattutto per poter raggiungere una % ottimale di indipendenza energetica, che può essere visualizzata nell'apposito portale web di controllo.



a) Differenza di dimensioni fra i modelli DS300, DS700 e DS3000 b) Palo della luce ibrido off-grid

Figura [14]: Soluzioni urbane innovative della turbina ibrida Darrieus-Savonius. Fonte: [5]

Oltre ad i vari impianti realizzabili in ambito urbano, come per esempio edifici industriali e residenziali, illuminazione urbana e non, strade autostrade ed impianti sportivi, questo aereogeneratore, per ingombro ridotto e silenziosità, risulta ottimale anche nell'ambiente rurale, come per allevamenti, agricoltura, itticoltura ed irrigazione, e nel sistema idrico per impianti di trattamento e depurazione o di pompaggio acque. In particolare l'utilizzo di pali della luce ibridi, come rappresentato in figura 13-b, rende possibile l'indipendenza dell'illuminazione urbana dalla rete elettrica, comportando un risparmio di costi per l'alimentazione e manutenzione, in quanto ogni lampione provvede al suo fabbisogno

energetico autonomamente grazie alla turbina e pannello fotovoltaico, ed il suo collegamento ad Internet rende possibile il monitoraggio da remoto tramite il cloud.

La scelta dell'aereogeneratore per questa soluzione innovativa ricade sulla turbina ibrida DS300, preferibile al modello DS700 fino ad ora considerato per le sue dimensioni ridotte e dato che il palo della luce non necessita di un'elevata produzione di energia.

Tornando al modello DS700, degno di nota è la configurazione containerizzata per l'impianto ibrido eolico + fotovoltaico, come rappresentato in figura 14.



a) Modello 3D container ibrido

b) Spostamento e posa finale container

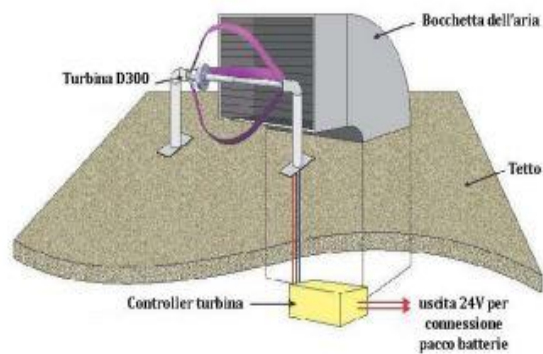
Figura [15]: Soluzione containerizzata per sistema ibrido con turbina DS700. Fonte: [5]

Adatto per alimentare piccoli fabbisogni energetici, questo container si compone di un sistema di pannelli fotovoltaici e turbine DS700, di numero variabile, e viene configurato con tutta la componentistica necessaria al controllo e regolazione della produzione di energia, come inverter, controller eolico.

Il vantaggio principale di questo box consiste nel fatto che, una volta realizzato, esso risulta facile da trasportare e da posizionare, e la possibilità di cablaggio di turbine e pannelli direttamente all'interno del container, dove vengono collocati i pacchi di batterie per lo storage; infine è possibile un'integrazione con generatore a combustibile, come diesel o benzina, per aumentare i valori della carica di batteria in base alle esigenze energetiche.

4.1 ESTRAZIONE DA SCARICHI O VENTILAZIONE DELL'ARIA

Riprendendo in considerazione la turbina di dimensioni ridotte da 300 W, degno di nota è un suo modello appositamente studiato per l'estrazione di potenza da sistemi di ventilazione industriale o da scarichi d'aria, dove la corrente ventosa è pressoché costante.



a) Schema di installazione turbina DS300



b) Sistema in funzione a Taiwan

Figura [16]: Estrazione di potenza da scarichi o ventilazione aria con turbina DS300 Fonte: [5]

Come si può notare dalla figura 15, questa variante non presenta sul suo asse verticale il sistema di Savonius, infatti esso non risulta necessario per abbassare la velocità di cut in, dato che il flusso d'aria che viene reso disponibile sarà compreso tra gli 8 ed i 15 m/s.

Essa viene connessa al consueto controller eolico per il monitoraggio della turbina, il quale sarà collegato al pacco di batterie da 24 V con le caratteristiche esplicitate nel capitolo precedente; viene stimato che questa soluzione può produrre, con un'uscita della corrente ventosa di circa 10 m/s, circa 1.70 kWh in un giorno, che in un anno, ipotizzando che l'impianto di scarico sia attivo 12 ore al giorno per 365 giorni, possono esser generati 612 kWh.

CONCLUSIONE

Considerando quanto esposto, la turbina ibrida Darrieus Savonius rappresenta una soluzione per il panorama della produzione eolica, in costante sviluppo ed evoluzione negli ultimi anni segnati da una necessità di abbandonare l'utilizzo di combustibili fossili per sopperire al fabbisogno energetico.

L'unione dei sistemi di Darrieus e Savonius danno a questo aereogeneratore la possibilità di attivazione e di mantenimento del regime di produzione anche con venti bassi, garantendo un'efficienza maggiore rispetto alle classiche turbine ad asse orizzontale.

La sua applicazione risulta preferibile per impieghi urbani, grazie alle sue dimensioni ridotte ed alle soluzioni innovative, dove lo spazio occupato da queste macchine sono un aspetto fondamentale, soprattutto se viene associato alla turbina un impianto di produzione fotovoltaico ed il relativo sistema di accumulo; ma anche per realtà industriali, dove l'impiego di più turbine può aumentare in modo significativo la percentuale di indipendenza energetica, nel caso più comune di connessione dell'impianto alla rete elettrica pubblica.

L'ottimizzazione di questo sistema di produzione di energia eolica avviene, come accennato precedentemente, grazie all'accostamento di un impianto a pannelli fotovoltaici, che assicura una continuità nella generazione ed accumulo di energia nei pacchi di batterie, i quali sono monitorati da componenti elettronici all'avanguardia per la manutenzione ed il controllo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] “Key World Energy Statistics 2021”, *International Energy Agency*,
<https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021>
- [2] “Global Wind Report 2022”, *Global Wind Energy Council*,
<https://gwec.net/global-wind-report-2022/>
- [3] “Investigations of the Effect of Radius Rotor in Combined Darrieus-Savonius Wind Turbine”, *Hindawi Publishing Corporation*,
<https://www.hindawi.com/journals/ijrm/2018/3568542/>
- [4] J. Damota, I. Lamas, A. Couce, J. Rodríguez, *Vertical Axis Wind Turbines: Current Technologies and Future Trends*, Spain, 2015
- [5] “Turbina DS700 micro generatori verticali ibridi”, *Etneo*,
<https://www.etneo.com/turbina-ds700/>
- [6] “Impianti Eolici e Fotovoltaici di piccola taglia: guida tecnica”, *FIRE – Federazione Italiana per l’uso razionale dell’Energia*,
<https://www.fire-italia.org/prova/wp-content/upload/2014/03/Impianti-eolici-e-fotovoltaici-di-piccola-taglia-guida-tecnica..pdf>
- [7] Sathyajith Mathew, “*Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics*”, India
- [8] “Generatore eolico IstaBreeze i-700”, *IstaBreeze*,
<https://it.istabreeze.store/collezioni/turbine-eoliche-1000-watt-2000-watt-generatori-eolici-istabreeze%C2%AE/prodotti/i-700-generatore-eolico?variant=31827621871756>