



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Design e Comunicazione Visiva
A.A. 2023/2024
Sessione di Laurea Luglio 2024

Progettare il Microeolico

Raccolta e Analisi dei Dati

Relatori: Walter Franco

Candidati: Lorenzo Doleatto

INDICE

5	Introduzione
7	1 Sostenibilità e Disponibilità dell'Energia
10	1.1 L'Energia Eolica
13	1.2 Vantaggi dell'Energia Eolica
15	2 Le Turbine Eoliche
17	2.1 Turbina Savonius
19	2.2 Turbina Darrieus
21	2.3 Alternative alle Turbine Savonius e Darrieus
25	3 Il Microeolico
29	4 Casi Studio: Microeolico Precostruito
30	4.1 Makemu
33	4.2 Greco Energy
34	4.3 Etneo
37	4.4 Breezergy
39	4.5 Halo Energy
41	4.6 Bergey Windpower Co.
43	4.7 Airon
45	5 Casi Studio: Microeolico in Kit
46	5.1 Kit VEVOR
48	5.2 CNCEST
49	5.3 Turbina Verticale Gorlov in Kit
50	5.4 Turbina a Lama Verticale Gorlov

51	6 Casi Studio: Microeolico Autocostruito
52	6.1 Progetto Open Source "Piggott Turbine"
55	6.2 Savonius di Barili
58	6.3 Turbina di Vajrakarur
60	6.2 HAWT Amatoriale
62	6.3 Sviluppo di Micro Turbine Eoliche per il Miglioramento della Vita Rurale
64	6.2 Progetto Aeolus
67	7 Ai Limiti del Microeolico
68	7.1 Aria Srl
71	8 Gli Utilizzi del Microeolico
73	9 Analisi dei Dati
79	10 Informazioni Aggiuntive
80	10.1 Stime delle Risorse Eoliche Urbane
81	10.2 Rapporto Dimensione/Impatto
83	10.2 Rendimenti delle Varie Turbine
85	11 L'Autocostruzione
86	11.1 Requisiti Tecnici e Considerazioni per l'Autocostruzione
88	11.2 Considerazioni Tecniche Avanzate
89	11.3 Sviluppi Futuri e Potenziale del Microeolico Autocostruito
91	12 L'Intervento del Designer
92	12.1 Comunicazione e User Experience
93	12.2 Progettare Nuove Soluzioni

95 Conclusioni

101 Bibliografia e Sitografia

107 Iconografia

Introduzione:

Stando agli ultimi dati della Banca Mondiale, nel 2021 circa il 91.4% della popolazione mondiale aveva accesso all'energia elettrica, il che implica che l'8.6%, ovvero circa 662 milioni di persone non ne disponeva.

Inoltre, è stato osservato e dimostrato che i paesi in via di sviluppo, tendono, in proporzione, ad inquinare molto di più dei paesi sviluppati, in quanto non dispongono di risorse necessarie ad investire in fonti energetiche e di trasporto non inquinanti.

Infine, in tempi recenti si è osservata una crescente accortezza da parte degli utenti, in particolare delle persone più giovani provenienti da paesi più ricchi, alla riduzione della propria carbon footprint, adottando metodi e stili di vita più green, come compostare i propri rifiuti, consumare meno carne ed acqua, usare maggiormente i trasporti pubblici ed evitare il monouso, ma pochi o nessuno di questi comportamenti va ad influenzare la produzione dell'energia elettrica utilizzata [1].

È dunque con queste tre premesse che questo documento si pone di esplorare l'ambito e le potenzialità del microeolico, sia esso precostruito, in kit o autocostruito, e il ruolo che il designer ha in tale ambito, per promuovere una qualità di vita più alta ed un mondo più ecosostenibile, portando ovunque una generazione di energia pulita e, speranzosamente, una dimostrazione della validità di tale metodo, così da spingere enti e aziende ad investire nel campo della sostenibilità, instaurando parchi eolici e altri centri di produzione di energia rinnovabile.

1

Sostenibilità e Disponibilità dell' Energia

1 - Sostenibilità e Disponibilità dell'Energia

La sostenibilità e la disponibilità energetica sono concetti interconnessi e fondamentali per il futuro del nostro pianeta.

Iniziamo con la sostenibilità: un principio che implica l'uso responsabile ed efficiente delle risorse per soddisfare le esigenze attuali senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare le proprie. Il concetto di sostenibilità si estende ben oltre l'ambito ambientale, includendo aspetti economici, sociali e politici.

La sostenibilità ambientale riguarda la conservazione delle risorse naturali e la protezione degli ecosistemi per mantenere l'equilibrio della natura. Questo include la gestione sostenibile delle foreste, la conservazione dell'acqua, la protezione della biodiversità e la riduzione dell'inquinamento. La sostenibilità economica, d'altra parte, si concentra sullo sviluppo economico duraturo, tenendo conto dell'equità sociale e della salute ambientale. La sostenibilità sociale si occupa di mantenere la coesione sociale, assicurando un accesso equo alle risorse e alle opportunità, promuovendo la giustizia e l'inclusione.

La disponibilità energetica, una sottocategoria della sostenibilità, si riferisce alla capacità di avere accesso continuo a fonti di energia adeguate, affidabili e convenienti. Questo è un elemento cruciale per lo sviluppo economico e sociale, poiché l'energia è fondamentale per quasi tutti gli aspetti della vita moderna, dalla produzione industriale all'illuminazione domestica. La sfida, quindi, è fornire energia in modo che sia economicamente fattibile, ecologicamente sostenibile e socialmente giusto.



Figura [1]: *Infografica sui vari aspetti della sostenibilità,*
fontidienergiarinnovabile.it

Attualmente, gran parte dell'energia mondiale proviene da fonti fossili come petrolio, carbone e gas naturale. Queste fonti sono problematiche perché non solo sono finite, ma il loro uso produce anche emissioni di gas serra che contribuiscono al riscaldamento globale e al cambiamento climatico. Di conseguenza, una transizione verso fonti di energia rinnovabile, come l'energia solare, eolica, idroelettrica e geotermica, è essenziale per raggiungere la sostenibilità energetica [2].



Figura [2]: Infografica dei 17 obiettivi per lo sviluppo sostenibile dell'ONU, ventitrenta.it

La transizione energetica, tuttavia, non è solo una questione tecnologica; richiede anche cambiamenti politici, economici e sociali. Ciò include la creazione di politiche che incentivino l'uso delle energie rinnovabili, l'investimento in ricerca e sviluppo per migliorare le tecnologie esistenti, e la promozione dell'efficienza energetica. Inoltre, è fondamentale garantire l'accesso equo all'energia, specialmente nelle regioni meno sviluppate, dove la mancanza di accesso ad essa limita lo sviluppo economico e sociale.

L'integrazione della sostenibilità nella pianificazione e nella politica energetica richiede un approccio olistico. Ciò significa considerare l'impatto ambientale, i costi economici e le implicazioni sociali delle decisioni energetiche. Ad esempio, mentre le centrali elettriche a carbone sono economicamente vantaggiose in termini di costi di produzione, i loro impatti ambientali e sanitari negativi possono superare questi vantaggi [3].

In sostanza, la sostenibilità e la disponibilità energetica sono concetti complessi che richiedono una considerazione equilibrata di diversi fattori. La chiave per un futuro sostenibile sta nel trovare un equilibrio tra il soddisfacimento dei nostri bisogni energetici e la protezione del nostro pianeta per le generazioni future. Questo richiede un impegno globale verso l'innovazione, la cooperazione e la responsabilità sociale ed ecologica.

1.1 - L'Energia Eolica:

L'energia eolica è una forma di energia rinnovabile che sfrutta la forza del vento per produrre energia. Questo tipo di energia si basa su una risorsa naturale e inesauribile: il vento.

L'uso dell'energia eolica rappresenta un passo importante verso un futuro più sostenibile e un'alternativa pulita alle fonti di energia tradizionali basate sui combustibili fossili.

La storia dell'utilizzo del vento come fonte di energia risale a millenni fa, con l'uso di mulini a vento per macinare il grano o pompare l'acqua. Tuttavia, la moderna tecnologia eolica, che si focalizza sulla produzione di elettricità, ha iniziato a svilupparsi significativamente solo negli ultimi decenni, grazie ai progressi nella tecnologia e alla crescente preoccupazione per l'ambiente e il cambiamento climatico [4].



Figura [3]: *Mulino a vento americano*, shutterbug.com

Figura [4]: *Mulino a vento Olandese*, live.staticflickr.com

Le turbine eoliche, che sono il cuore della produzione di energia eolica, funzionano convertendo l'energia cinetica del vento in energia meccanica. Questo processo avviene attraverso le pale della turbina, che sono progettate per catturare il vento. Le pale sono collegate a un rotore, e quando il vento soffia, il rotore gira e trasmette l'energia meccanica a un generatore che la converte in elettricità o ad un sistema di trasmissione che la sfrutta direttamente.

Ci sono due tipi principali di turbine eoliche: le turbine ad asse orizzontale, che sono le più comuni e riconoscibili, e quelle ad asse verticale, che sono meno comuni, ma offrono alcuni vantaggi in termini di versatilità e requisiti di spazio. Le turbine eoliche possono variare notevolmente in dimensioni, dalle piccole turbine utilizzate per applicazioni domestiche o aziendali, fino alle grandi turbine offshore, che sono installate in mare e possono generare grandi quantità di energia [5].

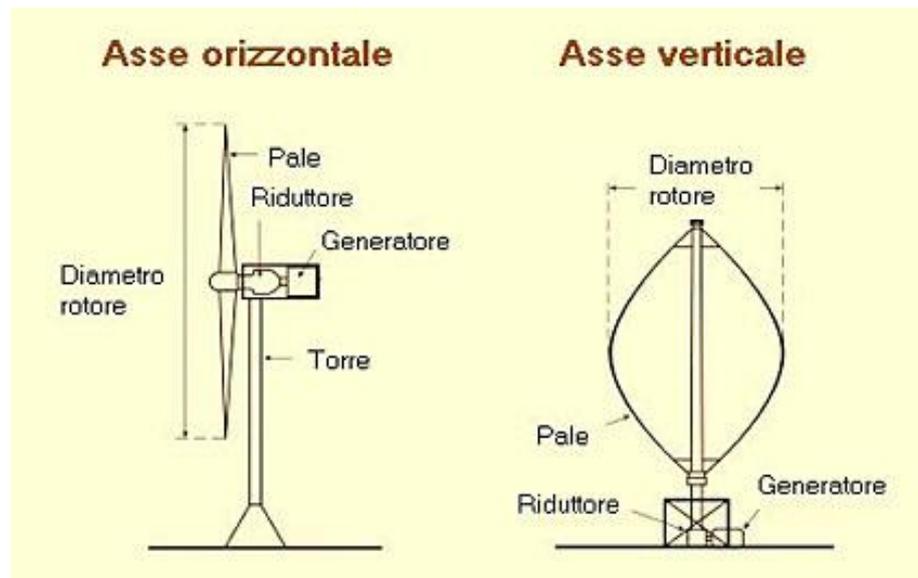


Figura [5]: Schematica della composizione delle turbine ad asse orizzontale e verticale, consulente-energia.com

Uno dei maggiori vantaggi dell'energia eolica è la sua natura pulita e rinnovabile. A differenza dei combustibili fossili, l'energia eolica non produce gas serra o altri inquinanti durante la generazione, contribuendo così alla riduzione delle emissioni e alla lotta contro il cambiamento climatico. Inoltre, l'energia eolica può contribuire a ridurre la dipendenza dai combustibili fossili, aumentando la sicurezza energetica e riducendo l'esposizione alle fluttuazioni dei prezzi del petrolio e del gas.

Tuttavia, l'energia eolica presenta anche alcune sfide. La generazione di energia eolica è variabile e dipende dalla velocità e dalla costanza del vento, il che può rendere difficile la pianificazione della produzione energetica. Inoltre, le turbine eoliche richiedono un investimento iniziale significativo e possono avere impatti visivi e sonori sull'ambiente circostante. Vi sono anche preoccupazioni relative agli impatti sulla fauna selvatica, in particolare sugli uccelli e i pipistrelli.

Nonostante queste sfide, l'energia eolica è uno dei settori energetici a più rapida crescita nel mondo. Gli sviluppi tecnologici continuano a migliorare l'efficienza e la produttività delle turbine eoliche, mentre i costi di installazione e manutenzione continuano a diminuire. Ciò, combinato con un crescente sostegno politico e normativo, sta rendendo l'energia eolica sempre più competitiva rispetto alle fonti di energia tradizionali.

In conclusione, l'energia eolica è una componente cruciale della transizione verso un futuro energetico più sostenibile e pulito. Nonostante alcune sfide, offre notevoli benefici in termini di riduzione delle emissioni di carbonio, sicurezza energetica e creazione di opportunità economiche. Man mano che la tecnologia continua a evolversi e la consapevolezza ambientale cresce, l'energia eolica è destinata a giocare un ruolo sempre più importante nel mix energetico globale [6].



Figura [6]: *Parco eolico*,
energiaitalia.news

1.2 - Vantaggi dell'Energia Eolica:

L'energia eolica, presenta numerosi vantaggi che la rendono una scelta eccellente per un futuro energetico sostenibile e pulito. Di seguito, esploreremo dettagliatamente i vantaggi dell'energia eolica[7][8].

Rinnovabile e Inesauribile: Uno dei maggiori vantaggi dell'energia eolica è la sua natura rinnovabile. A differenza dei combustibili fossili come petrolio, carbone e gas naturale, il vento è una risorsa inesauribile. Ciò significa che possiamo fare affidamento sul vento come fonte di energia per un tempo indefinito, contribuendo a una fornitura energetica sostenibile a lungo termine.

Ambientalmente Pulita: L'energia eolica è una delle fonti di energia più pulite disponibili. A differenza delle centrali a carbone o a gas, le turbine eoliche non rilasciano emissioni di gas serra o inquinanti atmosferici durante il loro funzionamento. Questo riduce significativamente l'impatto ambientale, aiutando a combattere il cambiamento climatico e migliorare la qualità dell'aria.

Costi Operativi Bassi: Una volta installate, le turbine eoliche hanno costi operativi relativamente bassi. Non c'è bisogno di acquistare combustibile, e le spese di manutenzione sono generalmente basse. Questo rende l'energia eolica economicamente vantaggiosa a lungo termine, soprattutto quando si considerano i costi crescenti dei combustibili fossili.

Riduzione della Dipendenza dai Combustibili Fossili: L'utilizzo dell'energia eolica riduce la dipendenza dai combustibili fossili, che sono spesso importati da altre nazioni. Questo non solo migliora la sicurezza energetica di un paese, riducendo la sua vulnerabilità alle fluttuazioni del mercato energetico globale, ma contribuisce anche a bilanciare la bilancia commerciale.

Creazione di Posti di Lavoro: Il settore dell'energia eolica è un importante generatore di posti di lavoro. Dalla progettazione e costruzione delle turbine eoliche alla loro manutenzione e gestione, l'industria eolica crea opportunità di lavoro in vari settori, contribuendo allo sviluppo economico delle comunità locali e delle economie nazionali.

Compatibilità con Altre Attività Terrestri: Le turbine eoliche possono coesistere con altre attività, come l'agricoltura o il pascolo. Questo significa che il terreno su cui vengono installate le turbine può ancora essere utilizzato per scopi produttivi, massimizzando l'uso dello spazio.



Figura [7]: *Parco eolico nelle highlands,*
farmfoundation.org

Innovazione Tecnologica: L'industria dell'energia eolica è al centro di significative innovazioni tecnologiche. Questi progressi non solo rendono le turbine più efficienti ed efficaci, ma contribuiscono anche alla crescita complessiva del settore delle energie rinnovabili.

Decentralizzazione dell'Energia: L'energia eolica offre l'opportunità di decentralizzare la produzione di energia. Le turbine eoliche possono essere installate in diverse località, anche in aree remote, riducendo la necessità di trasporto di energia su lunghe distanze e diminuendo le perdite di trasmissione.

Supporto alla Biodiversità: Se correttamente pianificate e gestite, le installazioni eoliche possono avere un impatto limitato sulla fauna selvatica e sull'habitat naturale. Inoltre, a differenza delle centrali elettriche tradizionali, non richiedono grandi quantità d'acqua per il raffreddamento, riducendo così la pressione sulle risorse idriche locali.

Risposta alla Domanda di Energia Pulita: Con la crescente domanda globale di fonti di energia pulite e sostenibili, l'energia eolica rappresenta una soluzione efficace per soddisfare questa esigenza senza compromettere l'ambiente o la salute umana.

Si evince che i vantaggi dell'energia eolica sono numerosi e significativi. Dal suo impatto ambientale minimo alla sua contribuzione all'indipendenza energetica e allo sviluppo economico, l'energia eolica si sta affermando come una componente fondamentale del mix energetico globale. Man mano che la tecnologia continua a evolversi e i costi di implementazione diminuiscono, è probabile che l'energia eolica giocherà un ruolo ancora più cruciale nella transizione verso un futuro energetico più sostenibile e pulito [9].

2

Le Turbine Eoliche

2 - Le Turbine Eoliche:

Le turbine eoliche sono dispositivi progettati per catturare l'energia cinetica del vento e convertirla in energia meccanica o elettrica. Queste macchine sono un elemento fondamentale della produzione di energia eolica e contribuiscono in modo significativo alla produzione di energia pulita e sostenibile. Esistono diversi tipi di turbine eoliche, ma in generale, condividono il medesimo principio di base: utilizzare il vento per generare una rotazione.

Struttura e Funzionamento di una Turbina Eolica:

Pale della Turbina: La parte più visibile di una turbina eolica sono le sue pale, che catturano l'energia del vento. Le pale sono progettate in modo aerodinamico per massimizzare l'efficienza e possono variare in lunghezza e forma.

Navicella: Le pale sono collegate a un'unità centrale chiamata navicella, che contiene il generatore elettrico e altri componenti chiave. In alcuni casi la navicella è montata su un'alta torre che solleva la turbina al di sopra del suolo per sfruttare venti più forti ed evitare turbolenze.

Generatore Elettrico: All'interno della navicella, il movimento rotatorio delle pale fa girare un generatore elettrico. Questo generatore può convertire l'energia meccanica in energia elettrica, solitamente in forma di corrente alternata (CA).

Sistema di Controllo: Le moderne turbine eoliche sono dotate di sofisticati sistemi di controllo che regolano l'angolo delle pale in base alla direzione e alla velocità del vento. Questo assicura che la turbina operi in modo ottimale in una vasta gamma di condizioni, ma questa componente è generalmente assente nell'autocostruito.

Trasmissione: Alcune turbine eoliche utilizzano un sistema di trasmissione per adattare la velocità di rotazione delle pale alla velocità richiesta dal generatore elettrico.

Le turbine eoliche sono ampiamente utilizzate in parchi eolici, dove molte di esse sono collocate insieme per massimizzare la produzione di energia [10]. Tuttavia, esistono anche versioni più piccole, note come turbine eoliche domestiche o microeoliche, che possono essere installate su edifici o in altre applicazioni a scala ridotta.

2.1 - La Turbina Savonius:

La turbina Savonius, inventata dal finlandese Sigurd Savonius negli anni '20, rappresenta un tipo distintivo di turbina eolica. A differenza delle più comuni turbine ad asse orizzontale, la turbina Savonius funziona su un principio ad asse verticale. Questo design unico e la sua modalità operativa offrono diverse caratteristiche interessanti e applicazioni pratiche.

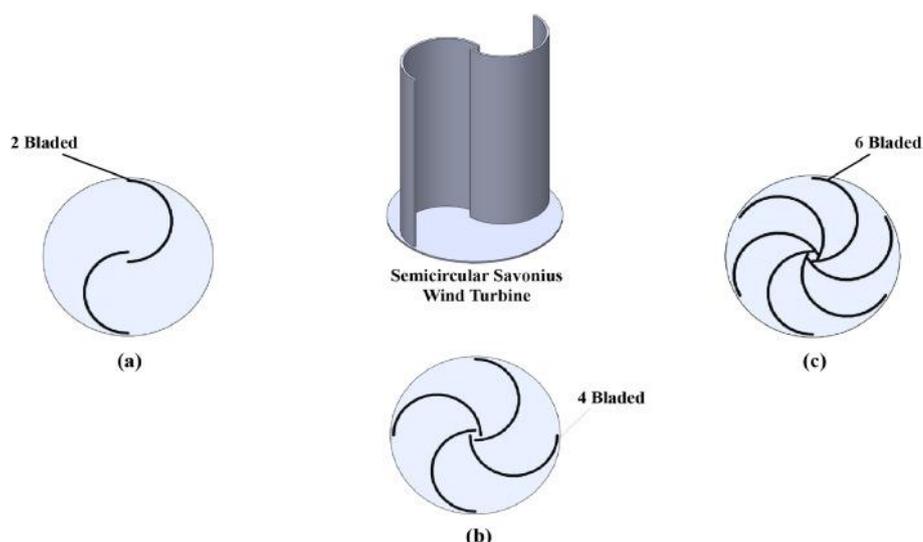


Figura [8]: *Composizione di una turbina Savonius,*
ars.els-cdn.com

Design e Principio di Funzionamento: La turbina Savonius è costituita da due o più "alette" montate attorno a un asse verticale. Le alette sono spesso semicilindriche, simili a due metà di un fusto di barile tagliate longitudinalmente e montate con i lati convessi rivolti in direzioni opposte. Questo design consente alla turbina di catturare il vento da qualsiasi direzione, rendendola omni-direzionale. Il vento che colpisce la superficie convessa delle alette le spinge, facendo ruotare l'asse verticale. La forma delle alette è progettata in modo tale che una parte riceva la forza del vento mentre l'altra parte ne è schermata, creando così una differenza di pressione che contribuisce alla rotazione.

Efficienza e Velocità: Le turbine Savonius non sono particolarmente note per l'alta efficienza o per la capacità di operare a elevate velocità del vento. Tuttavia, hanno il vantaggio di partire anche con venti molto deboli e di funzionare in modo affidabile e costante. Questo le rende adatte per applicazioni dove la velocità del vento è bassa o molto variabile.

Vantaggi: Uno dei principali vantaggi della turbina Savonius è la sua semplicità di design e costruzione, che la rende economica e facile da installare e mantenere. Inoltre, la sua capacità di catturare il vento da qualsiasi direzione senza la necessità di sistemi di orientamento la rende particolarmente utile in ambienti urbani, dove la direzione del vento può essere imprevedibile e influenzata da edifici e altre strutture.



Figura [9]: *Impianto eolico a turbina Savonius multipla,*
upload.wikimedia.org

Applicazioni: Grazie alla sua robustezza e affidabilità, la turbina Savonius trova applicazione in diversi contesti. È spesso utilizzata in ambienti urbani per piccole applicazioni di generazione di energia, come l'illuminazione stradale o la segnaletica. Inoltre, è utilizzata in ambienti marini per alimentare boe e altri dispositivi di segnalazione. La sua semplicità la rende anche una scelta popolare per progetti didattici e dimostrativi nelle scuole e nelle università.

Svantaggi: La sua efficienza energetica è generalmente inferiore rispetto alle turbine ad asse orizzontale, e la sua struttura può essere soggetta a stress meccanici a causa della forza esercitata dal vento sulle alette.

La turbina Savonius offre una soluzione unica per la generazione di energia eolica, in particolare in ambienti urbani o in situazioni in cui la semplicità e la bassa manutenzione sono prioritari. Anche se non è la più efficiente in termini di produzione energetica, il suo design robusto e la sua capacità di operare con venti deboli la rendono una scelta valida per molte applicazioni specifiche, in particolare per l'autocostruito [10].



Figura [10]: *Turbina Savonius (variante a spirale),*
owellindustries.com

2.2 - La Turbina Darrieus:

La turbina Darrieus, chiamata così dal suo inventore, l'ingegnere francese Georges Darrieus, che la brevettò nel 1931, è un altro esempio di turbina eolica ad asse verticale.

Design e Funzionamento: La caratteristica più distintiva della turbina Darrieus è la sua forma a "V" rovesciata o "H", formata da pale curve che si estendono dall'alto verso il basso dell'asse verticale. Queste pale sono generalmente curve e montate in modo che possano catturare il vento da qualsiasi direzione. Il design aerodinamico delle pale permette alla turbina di sfruttare l'effetto di portanza generato dal vento, piuttosto che la spinta diretta, come nel caso delle turbine Savonius. Questo rende la turbina Darrieus più efficiente rispetto alle turbine Savonius.

Efficienza e Produzione di Energia: La turbina Darrieus è nota per la sua elevata efficienza e la sua capacità di operare con una vasta gamma di velocità del vento. Può iniziare a generare energia con venti relativamente leggeri, ma è anche capace di gestire venti molto forti, il che la rende versatile in termini di locazioni e condizioni meteorologiche. La sua capacità di catturare il vento da tutte le direzioni elimina inoltre la necessità di meccanismi di orientamento, riducendo la complessità e i costi di manutenzione.

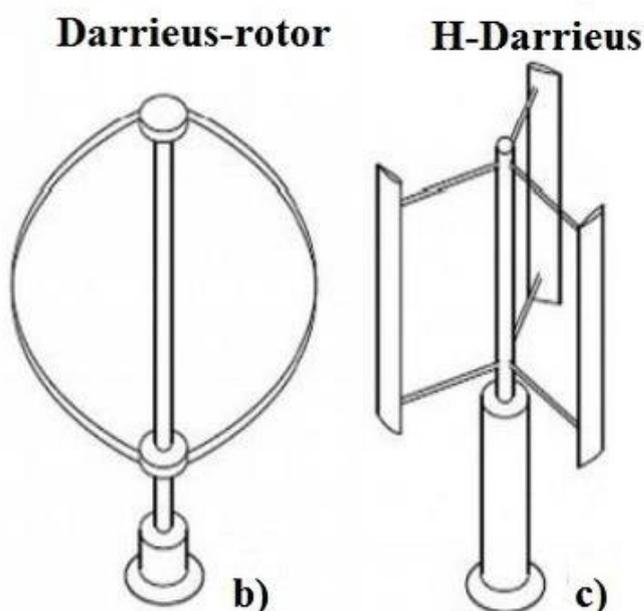


Figura [11]: Turbina Darrieus e sua variante H, lancaster.ac.uk

Vantaggi: Uno dei principali vantaggi della turbina Darrieus è la sua capacità di generare una quantità significativa di energia in un'ampia varietà di condizioni di vento. Inoltre, la sua struttura ad asse verticale significa che può essere installata su tetti e in altre aree urbane, rendendola una

scelta attraente per la generazione di energia in contesti urbani o in prossimità di abitazioni e uffici. Anche l'impatto visivo è generalmente considerato meno invasivo rispetto alle grandi turbine eoliche ad asse orizzontale.

Applicazioni: Le turbine Darrieus sono utilizzate in una varietà di applicazioni, dalle installazioni residenziali e commerciali alle stazioni di generazione di energia su scala industriale. Sono particolarmente adatte per le aree urbane e per applicazioni dove lo spazio al suolo è limitato.

Svantaggi: La struttura può essere soggetta a stress meccanici significativi, soprattutto nelle zone dove le velocità del vento sono elevate o molto variabili. Inoltre, il costo iniziale e l'installazione possono essere più onerosi rispetto ad altre soluzioni eoliche, specialmente per le installazioni di grandi dimensioni.

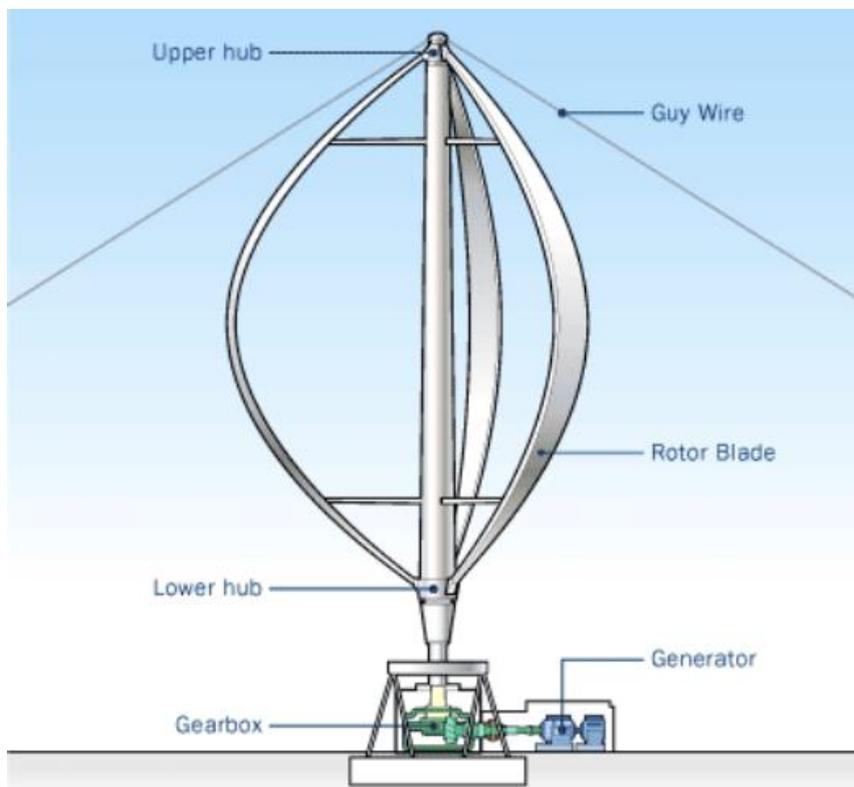


Figura [12]: Componenti di una turbina Darrieus, ejeng.org

La turbina Darrieus offre un'interessante alternativa alle tradizionali turbine eoliche ad asse orizzontale. La sua efficienza, il design versatile e la capacità di operare in un'ampia gamma di condizioni di vento la rendono una scelta promettente per diversi scenari di generazione di energia eolica, in particolare in aree urbane e in contesti in cui lo spazio è limitato. Nonostante alcune sfide tecniche e di costo, la turbina Darrieus rimane un'importante innovazione nel campo delle energie rinnovabili [11].

2.3 - Alternative alle Turbine Savonius e Darrieus:

L'energia eolica, un pilastro chiave nel panorama delle energie rinnovabili, ha visto un'evoluzione significativa nelle sue tecnologie. Oltre alle ben note turbine Darrieus e Savonius, esistono diverse alternative innovative che stanno emergendo nel campo dell'energia eolica. Queste alternative offrono soluzioni a diverse sfide, come l'efficienza energetica, l'impatto ambientale, l'adattabilità geografica e l'integrazione architettonica.

Turbine Eoliche ad Asse Orizzontale (HAWT): Le turbine eoliche ad asse orizzontale sono la forma più comune di turbine eoliche. Hanno pale che ruotano intorno a un asse parallelo al suolo, simile a un mulino a vento tradizionale. Questo design consente alle HAWT di sfruttare meglio i venti forti e costanti, tipicamente trovati ad altezze maggiori. La loro efficienza è generalmente superiore a quella delle turbine ad asse verticale, rendendole la scelta preferita per i parchi eolici su larga scala. Tuttavia, richiedono un meccanismo di orientamento per posizionarsi contro il vento e possono essere più costose da installare e mantenere [12].



Figura [13]: *Turbine ad asse orizzontale (HAWT)*,
media-assets.wired.it

Turbine Eoliche Fluttuanti: Questa tecnologia, ancora in fase di sviluppo, permette di installare turbine eoliche in acque profonde dove i fondali marini sono troppo profondi per le strutture fisse. Le turbine fluttuanti sono ancorate al fondo del mare ma galleggiano sulla superficie, permettendo di sfruttare i venti costanti e forti che si trovano lontano dalla costa. Questa tecnologia ha il potenziale di aumentare notevolmente l'area geografica utilizzabile per l'energia eolica, con un impatto visivo minore rispetto alle turbine fisse [12].



Figura [14]: *HAWT fluttuanti installate in mare,*

Turbine Eoliche a Volo Libero: Una tecnologia in fase sperimentale, le turbine eoliche a volo libero sfruttano il vento ad altezze maggiori rispetto alle turbine tradizionali. Questi dispositivi, che possono assumere forme diverse, come aquiloni o droni, sono ancorati al suolo ma volano ad altezze dove i venti sono più forti e costanti. Questo approccio potrebbe ridurre i costi di costruzione e manutenzione delle turbine eoliche tradizionali e permettere l'accesso a risorse eoliche in aree altrimenti non sfruttabili [13].



Figura [15]: *Turbina eolica a volo libero,*
fotovoltaicosulweb.it

Turbine Eoliche Integrate nell'Edilizia (BWT): Queste turbine sono integrate negli edifici e sono progettate per sfruttare i flussi di vento urbani. Possono essere integrate nei camini, nei parapetti o nelle strutture esterne degli edifici. Queste turbine offrono il vantaggio di una riduzione dei costi di trasmissione dell'energia e di un minore impatto visivo, ma richiedono un'attenta pianificazione architettonica e ingegneristica [13].



Figura [16]: HAWT montate su un grattacielo, repstatic.it

Turbine Gorlov: Queste turbine uniscono il design delle turbine a asse verticale con una forma a spirale, che può aumentare l'efficienza e ridurre l'impatto acustico. La loro forma unica permette di catturare il vento da tutte le direzioni e di operare efficacemente anche con venti deboli. Sono adatte per ambienti urbani e per applicazioni a piccola scala [14].



Figura [17]: Turbina Gorlov, m.media-amazon.com

Tecnologia Bladeless: Le turbine eoliche senza pale sono un concetto relativamente nuovo. Utilizzano la vibrazione indotta dal vento per generare energia elettrica. Queste turbine sono potenzialmente più sicure per gli uccelli e altre forme di vita selvatica e hanno un impatto visivo ridotto. Tuttavia, la loro efficienza e praticità operativa sono ancora oggetto di ricerca e sviluppo [14].

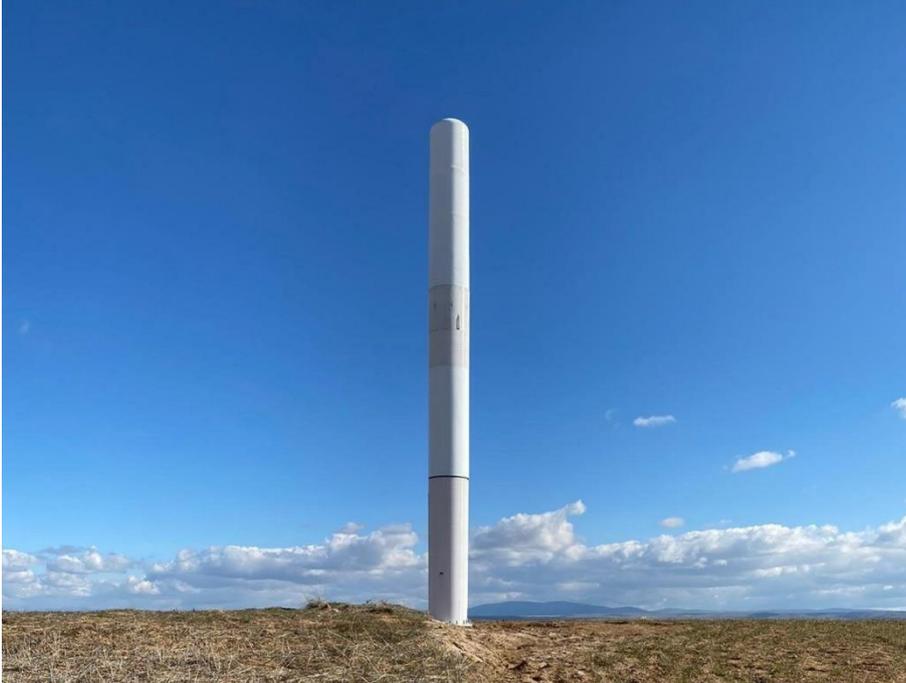


Figura [18]: *Turbina a vibrazione senza lame*, assets.bizclikmedia.net

Turbine Eoliche a Pale Pieghevoli: Questa tecnologia consente alle pale della turbina di piegarsi o ritrarsi in condizioni di vento estremamente forte, riducendo il rischio di danni. Questo può aumentare la durata e la resilienza delle turbine, specialmente in aree con condizioni meteorologiche severe [14].

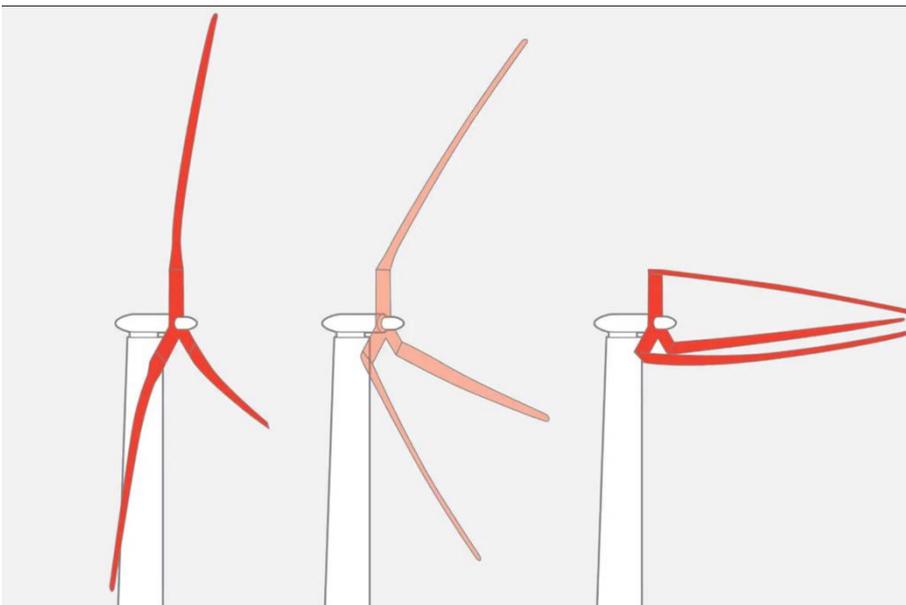


Figura [19]: *Illustrazione di una HAWT a pale pieghevoli*, assets.newatlas.com

3

Il Microeolico

3 - Il Microeolico:

Il microeolico rappresenta un settore specifico e in crescita all'interno dell'ampio panorama delle energie rinnovabili, focalizzato sull'utilizzo di piccole turbine eoliche per la generazione di elettricità o energia cinetica su scala ridotta. Questo approccio decentralizzato e flessibile alla produzione di energia si distingue dalle grandi installazioni eoliche, essendo più adatto per l'uso residenziale, comunitario o per piccole applicazioni commerciali e agricole. Con l'aumento dell'interesse verso le soluzioni di energia rinnovabile e la crescente necessità di autosufficienza energetica, il microeolico sta guadagnando popolarità come opzione ecologica e sostenibile, oltre che un buon modo di fornire energia alle popolazioni meno abbienti e ai luoghi più remoti [15].

Definizione e Scala delle Turbine Microeoliche:

Le turbine microeoliche sono definite dalla loro capacità energetica, che varia generalmente da pochi watt a diverse decine di kilowatt. La classificazione esatta può variare in base alle normative e definizioni regionali, ma generalmente, il termine "microeolico" si riferisce a turbine con una capacità inferiore ai 50 kW. Queste turbine sono significativamente più piccole di quelle utilizzate nei parchi eolici commerciali, che possono raggiungere capacità di vari megawatt.

Design e Tecnologia delle Turbine Microeoliche:

Le turbine microeoliche possono essere suddivise in due categorie principali in base alla configurazione dell'asse: ad asse orizzontale e ad asse verticale. Le turbine ad asse orizzontale sono simili in design a quelle grandi, con pale che ruotano intorno a un asse parallelo al suolo. Le turbine ad asse verticale, invece, hanno un asse di rotazione perpendicolare al suolo e sono spesso scelte per la loro capacità di catturare il vento da qualsiasi direzione, rendendole ideali per ambienti urbani o con venti variabili.

Vantaggi del Microeolico:

Autosufficienza Energetica: Il microeolico consente ai singoli proprietari di case, aziende agricole o piccole imprese di generare la propria energia, riducendo la dipendenza dalle reti elettriche tradizionali e dai fornitori di energia.

Impatto Ambientale Ridotto: Essendo una fonte di energia rinnovabile, le turbine microeoliche hanno un basso impatto ambientale, specialmente in termini di emissioni di gas serra e inquinamento.

Adattabilità: Le piccole dimensioni e la varietà di design delle turbine microeoliche le rendono adatte a una vasta gamma di ambienti, inclusi contesti urbani, rurali e remoti.

Risparmio sui Costi Energetici: Una volta installate, le turbine microeoliche possono fornire un risparmio significativo sui

costi energetici, soprattutto in aree con una buona risorsa eolica.

Contributo alla Rete Elettrica: In alcuni casi, l'eccesso di energia generata può essere venduto alla rete elettrica locale, fornendo una fonte di reddito o compensando ulteriormente i costi energetici.

Auto Costruibili: Se si dispone delle conoscenze, è possibile costruire impianti microeolici con materiali di recupero o di poco costo, incentivandone l'utilizzo in aree remote o povere.

Sfide e Considerazioni nel Microeolico

Intermittenza: Come tutte le fonti di energia eolica, il microeolico è soggetto all'intermittenza del vento. Questo può richiedere l'uso di sistemi di stoccaggio dell'energia o di una fonte energetica alternativa di backup.

Investimento Iniziale: L'installazione di una turbina microeolica richiede un investimento iniziale per l'acquisto della turbina, l'installazione e la configurazione del sistema. Questo può essere un ostacolo per alcuni utenti, ma è da considerarsi un impedimento solo se non è possibile procedere con l'autocostruzione.

Regolamenti Locali e Approvazioni: In molte regioni, l'installazione di turbine eoliche è soggetta a regolamenti locali, che possono includere restrizioni sulla posizione, sull'altezza e sul rumore. Ottenere le necessarie approvazioni può essere un processo complesso.

Manutenzione: Le turbine microeoliche richiedono manutenzione regolare per garantire la loro efficienza e longevità.

Applicazioni del Microeolico

Residenziale: Per i proprietari di case, le turbine microeoliche possono fornire una parte significativa del fabbisogno energetico di una casa, specialmente in aree con buone risorse eoliche.

Aziende Agricole e Rurali: Le aziende agricole possono utilizzare il microeolico per alimentare operazioni remote, pompe per l'acqua, e altre necessità, riducendo i costi energetici e aumentando l'efficienza.

Imprese Commerciali: Le piccole imprese possono installare turbine microeoliche per ridurre i loro costi operativi e aumentare la loro sostenibilità.

Educazione e Ricerca: Le scuole e le università spesso installano turbine microeoliche come strumenti didattici per l'istruzione sulle energie rinnovabili e la sostenibilità.

Progetti Comunitari: I progetti comunitari di microeolico possono fornire energia a gruppi di case o piccole comunità, promuovendo la sostenibilità e la resilienza.

Il Potenziale del Microeolico nel Contesto Globale

Il microeolico ha un potenziale significativo in contesti dove la rete elettrica non è facilmente accessibile o dove l'indipendenza energetica è una priorità. In particolare, in aree rurali o remote, dove l'installazione di reti elettriche è economicamente non sostenibile, il microeolico può fornire una soluzione vitale per l'accesso all'energia. Inoltre, in contesti urbani, il microeolico può contribuire a ridurre il carico sulla rete elettrica esistente, fornendo energia pulita e riducendo l'impatto ambientale.

Tendenze e Innovazioni nel Microeolico

Il campo del microeolico è in continua evoluzione, con nuove innovazioni che emergono regolarmente. Queste includono miglioramenti nell'efficienza delle turbine, soluzioni per ridurre l'impatto visivo e sonoro delle turbine, e l'integrazione delle tecnologie di stoccaggio dell'energia per gestire l'intermittenza. La ricerca si sta inoltre concentrando sul miglioramento dei materiali e delle tecniche di produzione per ridurre i costi e aumentare la durata delle turbine.

Integrazione del Microeolico con Altre Fonti di Energia Rinnovabile

Un aspetto chiave dello sviluppo sostenibile è l'integrazione di diverse fonti di energia rinnovabile. Il microeolico, spesso abbinato a sistemi solari fotovoltaici, può fornire una soluzione energetica più stabile e affidabile. Questa combinazione può garantire una fornitura di energia più costante, sfruttando il vento quando il sole non è disponibile e viceversa.

Impatto Socioeconomico del Microeolico

Oltre agli aspetti tecnici ed energetici, il microeolico ha un impatto significativo sullo sviluppo socioeconomico. Fornendo accesso all'energia in aree remote, può migliorare la qualità della vita, supportare lo sviluppo economico e promuovere l'istruzione. Inoltre, i progetti di microeolico possono creare posti di lavoro locali e opportunità di formazione, contribuendo allo sviluppo delle competenze e alla crescita economica.

Il microeolico rappresenta una componente fondamentale della transizione verso un futuro energetico più sostenibile e decentralizzato. Offre un approccio flessibile e adattabile alla generazione di energia, con un impatto ambientale ridotto e la capacità di fornire soluzioni energetiche in una varietà di contesti. Con l'evoluzione continua delle tecnologie e un crescente riconoscimento del suo potenziale, il microeolico è destinato a svolgere un ruolo sempre più importante nel panorama globale delle energie rinnovabili [15][16].

4

**Casi Studio:
Microeolico
Precostruito**

4 - Casi Studio: Microeolico Precostruito

4.1 - Makemu

Designer: Dato non reperibile

Anno: 2019

Le turbine microeoliche prodotte da Makemu sono state progettate per la generazione di energia eolica su piccola scala, particolarmente domestica, sia grid connected che off-grid. Makemu produce diverse turbine eoliche ad asse verticale, completamente prodotte in Italia e certificate secondo la norma CE EN 61000-3. L'azienda spedisce in tutto il mondo e tiene conto sul proprio sito dei kW prodotti e della CO2 risparmiata [17].



Figura [20]: Turbine EOLO, DOMUS e SMARTWIND prodotte da Makemu, makemu.it

Generatore Eolico EOLO:

Potenza e Prestazioni: Disponibile nelle versioni da 1KW, 2KW e 3KW.

Tipo di Turbina: Configurazione ibrida con 3 pale verticali Darrieus e 6 orizzontali Savonius.

Materiali Utilizzati: Dato non reperibile.

Dimensioni e Peso: Il diametro del rotore è di 1.3 m. La turbina pesa 32 kg.

Condizioni Operative: Intervallo di temperature da -40°C a 50°C. Può resistere a velocità del vento fino a 40 m/s. Tensione 48V. Velocità di cut-in di 1.9 m/s, 2.4 m/s e 2.9 m/s (in base alla variante).

Altre Specifiche: La turbina è progettata per essere montata sul palo apposito di 130 cm. È disponibile anche nella variante a 6 pale Darrieus e 12 Savonius. Rumorosità inferiore ai 40 dB. Sistema Plug & Play per facile installazione e Inverter personalizzabile.

Costo: Da 1310.10 € a 1930.20 €.

Figura [21]: *Schema dimensioni turbina EOLO, makemu.it*

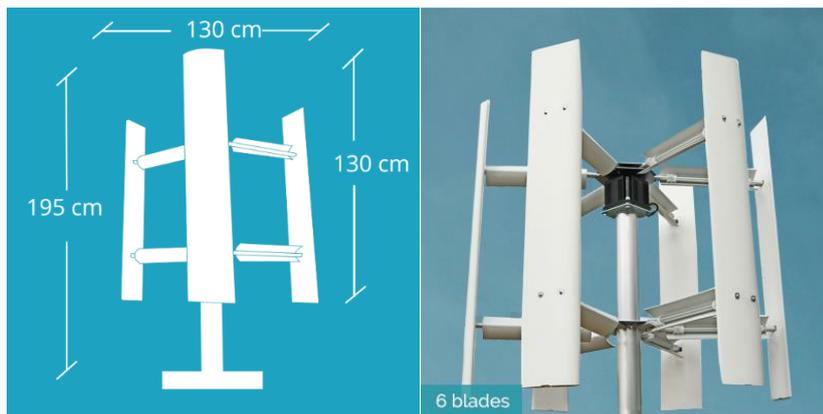


Figura [22]: *Turbina EOLO, makemu.it*

Generatore Eolico DOMUS:

Potenza e Prestazioni: Disponibile nelle opzioni da 500W, 750W e 1kW.

Tipo di Turbina: Configurazione ibrida con 3 pale verticali Darrieus e 3 orizzontali Savonius.

Materiali Utilizzati: Dato non reperibile.

Dimensioni e Peso: Il diametro del rotore è di 1.3 m. La turbina pesa 12 kg.

Condizioni Operative: Intervallo di temperature da -40°C a 40°C. Può resistere a velocità del vento fino a 30 m/s. Tensione 36V. Velocità di cut-in di 1.2 m/s, 1.4 m/s e 1.6 m/s (in base alla variante).

Altre Specifiche: La turbina è progettata per essere montata sul palo apposito di 85 cm. È disponibile anche nella variante a 6 pale Darrieus e 6 Savonius. Rumorosità inferiore ai 40 dB. Sistema Plug & Play per facile installazione e Inverter personalizzabile.

Costo: Da 491 € a 922 €.

Figura [23]: *Schema dimensioni turbina DOMUS, makemu.it*

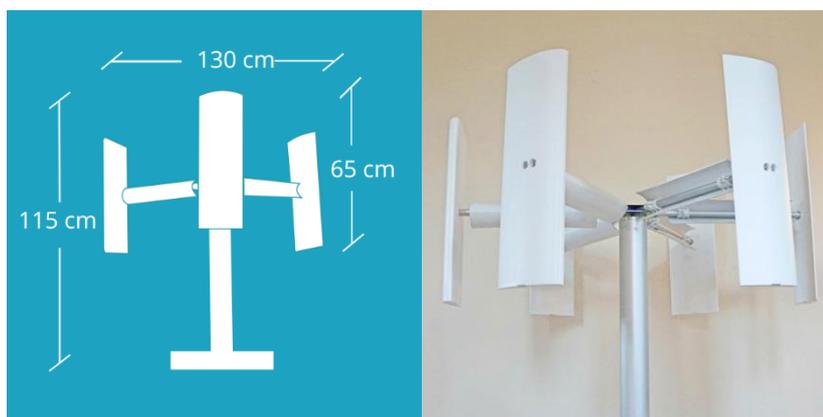


Figura [24]: *Turbina DOMUS, makemu.it*

Generatore Eolico SMARTWIND:

Potenza e Prestazioni: Disponibile nelle versioni da 300W, 400W e 500W.

Tipo di Turbina: Configurazione Savonius a 3 pale.

Materiali Utilizzati: Dato non reperibile.

Dimensioni e Peso: Il diametro del rotore è di 1.2 m. La turbina pesa 10 kg.

Condizioni Operative: Intervallo di temperature da -40°C a 40°C . Può resistere a velocità del vento fino a 30 m/s. Tensione 24V. Velocità di cut-in di 0.9 m/s, 1.2 m/s e 1.6 m/s (in base alla variante).

Altre Specifiche: La turbina è progettata per essere montata sul palo apposito di 85 cm. È disponibile anche nella variante a 6 pale. Rumorosità inferiore ai 40 dB. Sistema Plug & Play per facile installazione e Inverter personalizzabile.

Costo: Da 441 € a 582 €.

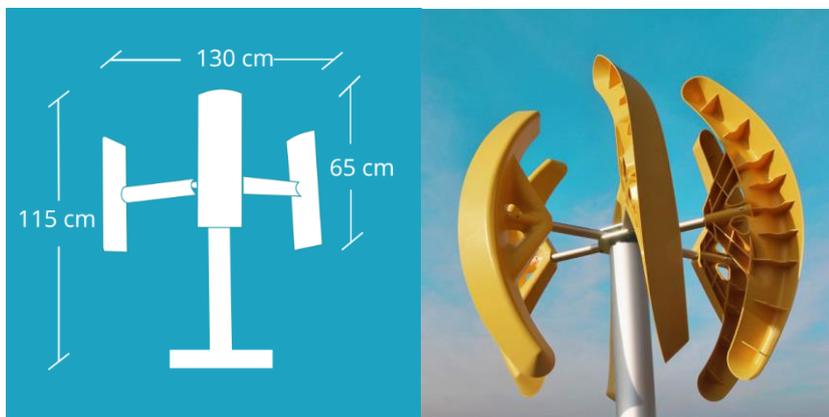


Figura [25]: Schema dimensioni turbina SMARTWIND, makemu.it

Figura [26]: Turbina SMARTWIND, makemu.it

4.2 – Greco Energy

Designer: Ing. Giuseppe Greco

Anno: 2019

Greco Energy offre una serie di soluzioni nel campo dell'energia eolica, in particolare attraverso i loro impianti solari e fotovoltaici, ma offrono anche prodotti di micro e minieolico.

Greco Energy fa una distinzione tra microeolico e minieolico. Per loro il microeolico è più adatto per uso domestico, con dispositivi compatti che producono una quantità discreta di energia. Il minieolico, invece, prevede investimenti maggiori e una capacità produttiva più elevata, più spazio e condizioni di vento favorevoli [18].

Potenza e Prestazioni: Le turbine di micro-eoliche di Greco Energy hanno una potenza nominale da 3,3 a 8 kW. Può generare 5 kW a 3 m/s.

Tipo di Turbina: HAWT a tripla pala con coda stabilizzante.

Materiali Utilizzati: Lame in fibra di nylon e pale in alluminio pressofuso.

Dimensioni e Peso: Il diametro del rotore è di 1,10 m, con un'area spazzata di 0.95 m². La turbina pesa 18 kg.

Condizioni Operative: Raggiunge l'efficienza massima a 10 m/s.

Altre Specifiche: L'azienda offre un servizio completo che include il sopralluogo, la progettazione su misura, l'allaccio alla rete, l'assistenza nelle pratiche autorizzative, il monitoraggio e l'installazione. Bassa rumorosità, circa 20 dB.

Costo: Dato non reperibile.

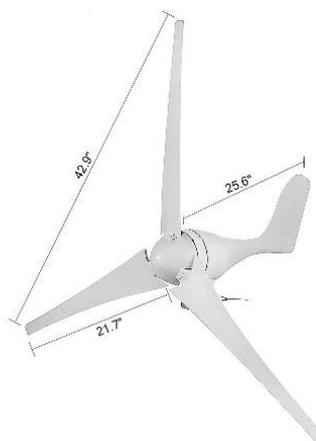


Figura [27]: HAWT di Greco Energy con dimensioni indicate, grecoenergy.com

4.3 - Etneo

Designer: Dato non reperibile

Anno: 2019

Etneo offre diverse soluzioni nel campo dell'energia eolica, con particolare attenzione ai micro-generatori eolici ad asse verticale e un'opzione ad asse orizzontale. Le varie turbine ad asse verticale non variano per tecnologia, ma solo per potenza e dimensioni, mantenendo un design ibrido a 3 pale tipo Darrieus e 4 tipo Savonius. Sul proprio sito Etneo fornisce tutte le caratteristiche tecniche dei loro prodotti, includendo anche grafici per le curve di produzione [19].

Turbina DS3000:

Potenza e Prestazioni: La turbina DS3000 ha una potenza nominale di 3 kW a 12m/s.

Tipo di Turbina: Asse verticale ibrido a 3 pale tipo Darrieus e 4 tipo Savonius. Trasmissione Direct Drive. Generatore trifase a magneti permanenti.

Materiali Utilizzati: Nylon rinforzato con fibra di vetro.

Dimensioni e Peso:

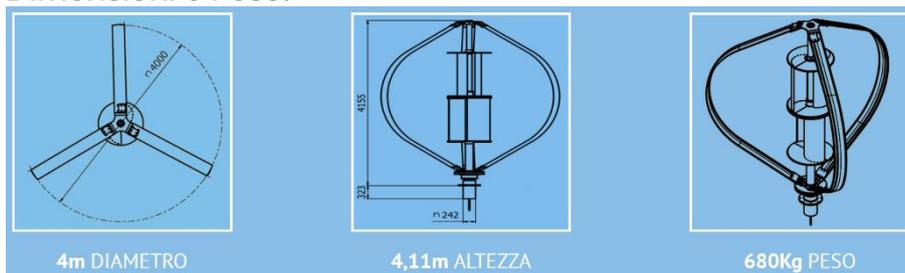


Figura [28]: Schema dimensioni e peso della turbina DS3000, etneo.com

Condizioni Operative: Intervallo di temperature da -40°C a 60°C . Può resistere a velocità del vento fino a 30 m/s. Tensione 48V / 220V. Velocità di cut-in di 2.2 m/s, velocità nominale di 12 m/s e velocità di cut-off di 18 m/s.

Altre Specifiche: L'ibridazione permette di sfruttare la meglio qualsiasi tipo di vento. Rumorosità di massimo 50 dB.

Costo: 17500 €.

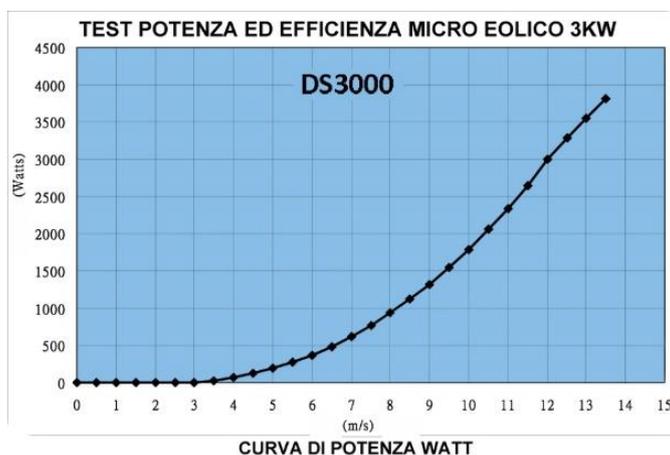


Figura [29]: Grafico della curva di potenza della turbina DS3000, etneo.com

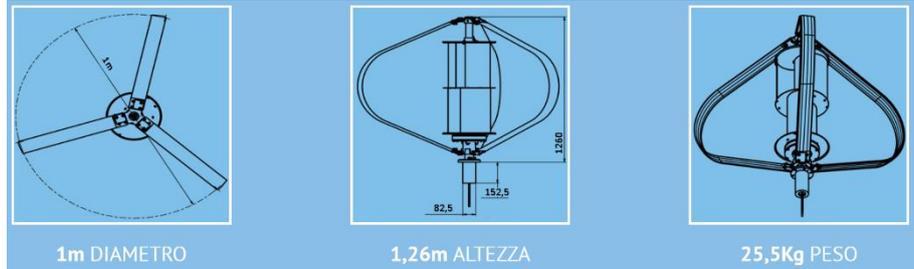
Turbina DS300:

Potenza e Prestazioni: La turbina DS300 ha una potenza nominale 300W a 12,5m/s.

Tipo di Turbina: Asse verticale ibrido a 3 pale tipo Darrieus e 4 tipo Savonius. Trasmissione Direct Drive. Generatore trifase a magneti permanenti.

Materiali Utilizzati: Nylon rinforzato con fibra di vetro.

Dimensioni e Peso:



Condizioni Operative: Intervallo di temperature da -40°C a 60°C. Può resistere a velocità del vento fino a 30 m/s. Tensione 48V. Velocità di cut-in di 2.2 m/s, velocità nominale di 12.5 m/s e velocità di cut-off di 15.5 m/s.

Altre Specifiche: L'ibridazione permette di sfruttare la meglio qualsiasi tipo di vento. Rumorosità di massimo 50 dB.

Costo: 2950 €.

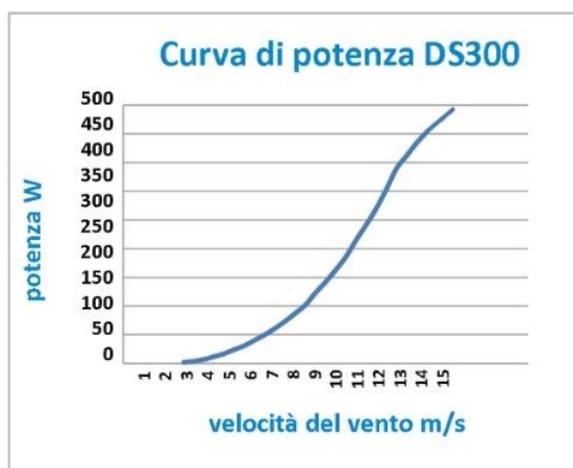


Figura [30]: Schema dimensioni e peso della turbina DS300, etneo.com

Figura [31]: Turbina DS300, etneo.com

Figura [32]: Grafico della curva di potenza della turbina DS300, etneo.com

Turbina Pegasus 1500:

Potenza e Prestazioni: La turbina Pegasus ha una potenza nominale di 1.5 kW a 12m/s e una potenza massima di 1.8 kW.

Tipo di Turbina: HAWT a 5 pale con coda. Trasmissione Direct Drive. Generatore trifase a magneti permanenti.

Materiali Utilizzati: Nylon rinforzato con fibra di vetro.

Dimensioni e Peso:



Figura [33]: Schema dimensioni e peso della turbina Pegasus 1500, etneo.com

Condizioni Operative: Intervallo di temperature da -40°C a 60°C. Può resistere a velocità del vento fino a 30 m/s. Tensione 48V / 220V. Velocità di cut-in di 2.5 m/s, velocità nominale di 12 m/s e velocità di cut-off di 18 m/s.

Altre Specifiche: Installabile a terra o su qualsiasi tipo di tetto. Rumorosità di massimo 20 dB.

Costo: Dato non reperibile.



Figura [34]: Turbina Pegasus 1500, etneo.com



Figura [35]: Grafico della curva di potenza della turbina Pegasus 1500, etneo.com

4.4 - Breezergy

Designer: Dato non reperibile

Anno: 2019

Le turbine Breezergy sono micro turbine eoliche compatte, sviluppate per soddisfare il carico di base di una piccola abitazione. Vengono vendute in due varianti, una a tripla elica e una a doppia elica, entrambe ad asse orizzontale [20].



Figura [36]: HAWT a doppia e tripla pala prodotte da Breezergy, breezergy.com

Potenza e Prestazioni: La turbina Breezergy può generare 5 W a 3 m/s e raggiunge la sua potenza massima di 1000 W a 15 m/s.

Tipo di Turbina: HAWT a doppia pala o a tripla pala con coda.

Materiali Utilizzati: La struttura è realizzata in alluminio pressofuso e acciaio, con pale in alluminio di grado aerospaziale.

Dimensioni e Peso: Il diametro del rotore è di 1,90 m, con un'area spazzata di 2,8 m². La turbina pesa 30 kg.

Condizioni Operative: Intervallo di temperature da -40°C a 50°C. Può resistere a velocità del vento fino a 40 m/s.

Altre Specifiche: La turbina è progettata per essere facilmente montabile su qualsiasi palo disponibile, rendendola adatta per aree remote senza accesso alla rete energetica. È ideale per zone costiere grazie ai trattamenti anti-salsedine e antiruggine.

Costo: Entrambe le turbine partono da un prezzo di 550 €, esclusa l'installazione.



Figura [37]: HAWT a tripla pala prodotta da Breezergy, breezergy.com



Figura [38]: HAWT a tripla pala prodotta da Breezergy, breezergy.com



Figura [39]: HAWT a doppia pala prodotte da Breezergy, breezergy.com

4.5 – Halo Energy

Designer: Charlie Karustis

Anno: 2019

Le turbine eoliche Halo Energy, in particolare il modello HALO-6.0, sono state progettate per soddisfare le esigenze energetiche dei mercati off-grid, come le torri di telecomunicazione e le piattaforme petrolifere [21].

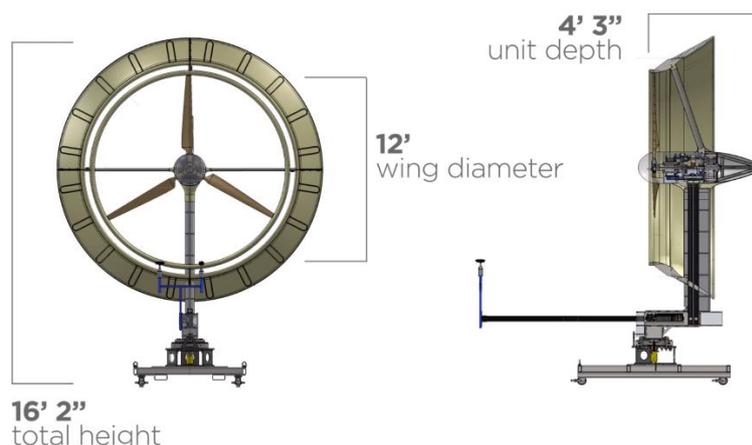


Figura [40]: *Schema dimensioni turbina HALO-6.0, halo.energy*

Potenza e Prestazioni: La turbina HALO-6.0 ha una capacità nominale di 6 kW.

Tipo di Turbina: Queste turbine sono caratterizzate da un design con un involucro protettivo. Utilizzano una tecnologia derivata dai motori a getto e includono due involucri convessi e accoppiati che circondano le pale della turbina. Questo design funziona come una pompa passiva, facendo fluire l'aria sulle pale.

Materiali Utilizzati: Realizzata in fibra di vetro e acciaio galvanizzato.

Dimensioni e Peso: La turbina ha un diametro di involucro di 3,7 metri e il carico sulla torre è simile a quello di un'antenna a microonde da 1,5 metri.

Condizioni Operative: Intervallo di temperature da -30°C a 50°C. Può essere montata direttamente su torri di telecomunicazione, senza bisogno di gru, terreni in affitto aggiuntivi, studi geotecnici, torri o fondazioni separate.

Altre Specifiche: La turbina contiene solo due parti mobili, il che aumenta l'affidabilità, la facilità di manutenzione e la durata della vita utile. La sua configurazione delle pale è fissa e la turbina si allinea passivamente al vento prevalente senza bisogno di sottosistemi complessi. È progettata per integrarsi senza problemi con soluzioni di energia solare e di accumulo in batteria.

Costo: Dato non reperibile.

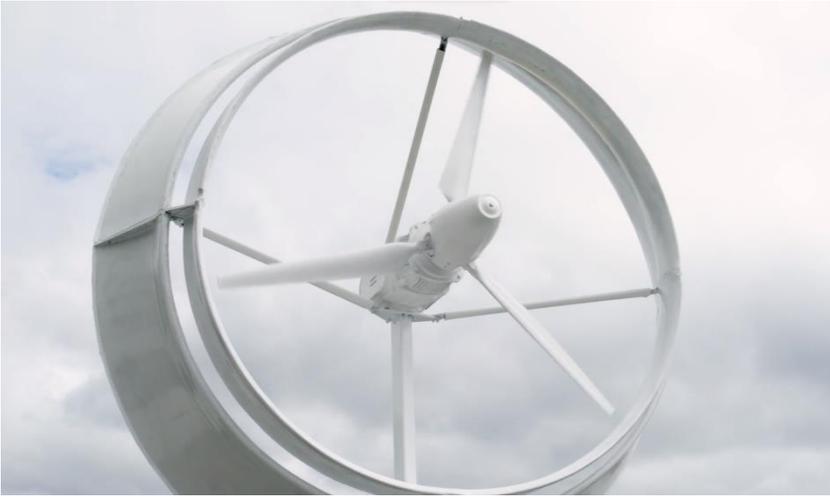


Figura [41]: *Turbina HALO-6.0*, halo.energy



Figura [42]: *Turbina HALO-6.0 montata su palo in cemento*, halo.energy

4.6 – Bergey Windpower Co.

Designer: Dato non reperibile

Anno: 2009 (versione più recente)

Bergey Windpower Co. offre una gamma di turbine eoliche di piccole dimensioni adatte per abitazioni, aziende agricole e piccole imprese. Tra i modelli più noti ci sono l'Excel 10 e l'Excel 15 [22].

Excel 15

Potenza e Prestazioni: La turbina Excel 15 ha una capacità nominale di 15.6 kW a 11m/s.

Tipo di Turbina: HAWT a tre pale con coda auto orientante e alternatore a magnete permanente.

Materiali Utilizzati: Fibra di carbonio.

Dimensioni e Peso: Il diametro del rotore è di 9.6 m, con un'area spazzata di 72.3 m². La turbina pesa 90 kg.

Condizioni Operative: Intervallo di temperature da -40°C a 60°C. Ha una velocità minima di avviamento di 4.5 m/s e può resistere a venti fino a 60 m/s.

Altre Specifiche: La turbina viene montata dall'azienda su un palo alto da 25 a 50 metri, assicurato al terreno da quattro o più tiranti. Ha una produzione acustica di 48.5 dB. Certificazione ICC-SWCC.

Costo: Dato non reperibile.



Figura [43]: Turbina Excel 15, bergey.com

Excel 10

Potenza e Prestazioni: La turbina Excel 10 ha una capacità nominale di 8.9 kW a 11m/s.

Tipo di Turbina: HAWT a tre pale con coda auto orientante e alternatore a magnete permanente.

Materiali Utilizzati: Fibra di carbonio.

Dimensioni e Peso: Il diametro del rotore è di 7 m, con un'area spazzata di 38.4 m². La turbina pesa 50 kg.

Condizioni Operative: Ha una velocità minima di avviamento di 3.4 m/s e può resistere a venti fino a 60 m/s.

Altre Specifiche: La turbina viene montata dall'azienda su un traliccio alto da 18 a 49 metri. Ha una produzione acustica di 42.9 dB. Certificazione ICC-SWCC.

Costo: Dato non reperibile.



Figura [44]: *Turbina Excel 10*, bergey.com

Entrambi i modelli sono noti per la loro affidabilità, bassa manutenzione e funzionamento automatico in condizioni meteorologiche avverse. Il design semplice e robusto dell'Excel 10, con solo tre parti mobili, è stato perfezionato nell'arco di 30 anni, rendendolo una scelta affidabile nel settore delle micro turbine eoliche. L'Excel 15, più recente, è progettato per essere ancora più efficiente e conveniente, con soli due parti mobili.

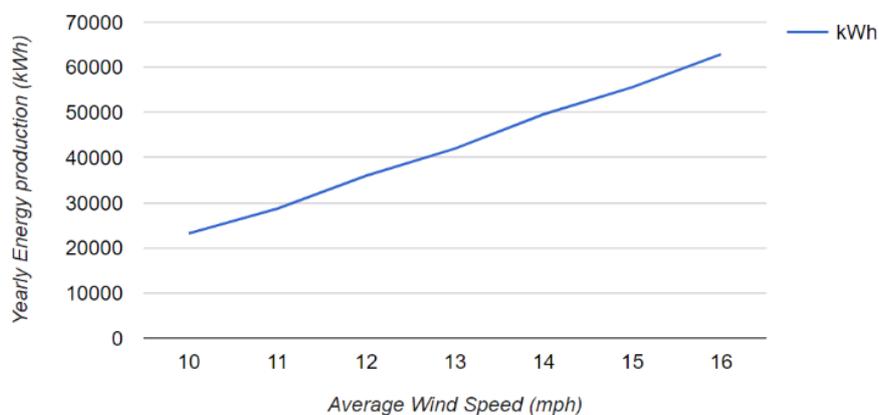


Figura [45]: *Grafico della produzione energetica annuale della turbina Excel 15*, bergey.com

4.7 - Airon

Designer: Aldo Benincasa

Anno: 2022

La turbina eolica Airon, sviluppata da Benincasa Innovazioni, si distingue per il suo design unico delle pale, il cui brevetto è attualmente in attesa di deposito. Benincasa intende implementare questa turbina sulle autostrade italiane, ma essendo ancora non implementata, i dati disponibili sono più teorici che empirici.

Airon, nel documento disponibile al pubblico, viene spiegata come segue: "Turbina eolica innovativa che impiega un sistema con diverse eliche, ciascuna a due pale, su uno stesso asse orizzontale, autorotanti e inserite su una struttura a palo verticale. Caratterizzato dal fatto che ogni elica agisce in modo da permettere una stessa rotazione del sistema, per qualsiasi direzione del vento: quando una pala si trova in posizione verticale, quindi con il massimo sfruttamento energetico del vento, l'altra opposta si trova in posizione orizzontale, quindi con il minimo impegno. Le rotazioni avranno blocchi di fine corsa per permettere a ciascuna pala una rotazione entro un range tra 0° e 90° , con uno sfasamento tra le due pale di 90° , con un sistema di bilanciamento e con ammortizzatori ad abbattimento acustico di fine corsa. Con sistema di sicurezza per venti superiori a 25m/s " [23].



Figura [46]: *Prototipo
turbina Airon,*
benincasainnovazioni.it

Potenza e Prestazioni: Stimata una capacità nominale di 3KW.

Tipo di Turbina: Turbina con pale a geometria variabile.

Materiali Utilizzati: Dato non reperibile.

Dimensioni e Peso: Il diametro del rotore è di 1.2 m. La turbina pesa 15 kg.

Condizioni Operative: Può resistere a velocità del vento oltre i 25 m/s. Stima di durata vitale di 20 anni.

Altre Specifiche: Rumorosità inferiore ai 30 dB.

Costo: Dato non reperibile.

5

**Casi Studio:
Microeolico
in Kit**

5 - Casi Studio: Microeolico in Kit

5.1 - Kit VEVOR

Designer: Dato non reperibile

Anno: 2019

L'azienda VEVOR produce molte varianti di turbine microeoliche in kit, facili da montare e in consegna gratuita, ma senza il palo o la batteria necessari [24].



Figura [47]: Turbina VEVOR HAWT Trifase, vevor.it

Figura [48]: Infografica per l'assemblaggio della turbina VEVOR HAWT Trifase, vevor.it

VEVOR HAWT Trifase:

Potenza e Prestazioni: La turbina VEVOR HAWT Trifase ha una potenza nominale di 400 W a 13 m/s. Disponibile anche nelle versioni da 300 W e 500 W, e in variante a 5 pale.

Tipo di Turbina: HAWT a tripla pala con coda auto orientante e con generatore sincrono trifase a magneti permanenti.

Materiali Utilizzati: Fibra di nylon, alluminio pressofuso e acciaio inossidabile con finitura verniciata.

Dimensioni e Peso: Il diametro del rotore è di 1.2 m, con un'area spazzata di 1.13 m². Il peso complessivo è di 9 kg.

Condizioni Operative: Intervallo di temperature da -40°C a 80°C. Può resistere a velocità del vento fino a 50 m/s. Tensione 12V. Velocità di cut-in di 2 m/s, velocità nominale di 13 m/s e velocità di cut-off di 25 m/s.

Altre Specifiche: Fornita con un controller MPPT (Maximum Power Point Tracking)

Costo: 130 €.

VEVOR Lanterna:

Potenza e Prestazioni: La turbina VEVOR Lanterna Trifase ha una potenza nominale di 400 W a 12 m/s. Disponibile anche nelle versioni da 100 W e 600 W.

Tipo di Turbina: Savonius a quintupla pala con generatore sincrono trifase a magneti permanenti.

Materiali Utilizzati: Fibra di nylon, alluminio pressofuso.

Dimensioni e Peso: Il diametro del rotore è di 0.9 m. Il peso complessivo è di 12.8 kg.

Condizioni Operative: Intervallo di temperature da -40°C a 80°C. Può resistere a velocità del vento fino a 50 m/s. Tensione 12V. Velocità di cut-in di 2 m/s, velocità nominale di 12 m/s e velocità di cut-off di 25 m/s.

Altre Specifiche: Fornita con un controller MPPT (Maximum Power Point Tracking) e senza alcun bisogno di assemblaggio da parte dell'utente, se non il montaggio su palo.

Costo: 151 €.



Figura [49]: *Turbina VEVOR Lanterna*,
vevor.it



Figura [50]: *Infografica per l'assemblaggio della turbina VEVOR Lanterna*,
vevor.it

5.2 - CNCEST

Designer: Dato non reperibile

Anno: 2022

La turbina verticale di CNCEST è progettata per essere facilmente assemblabile da chiunque, fornendo ogni componente necessaria al suo funzionamento ed impianto in consegna gratuita [25].

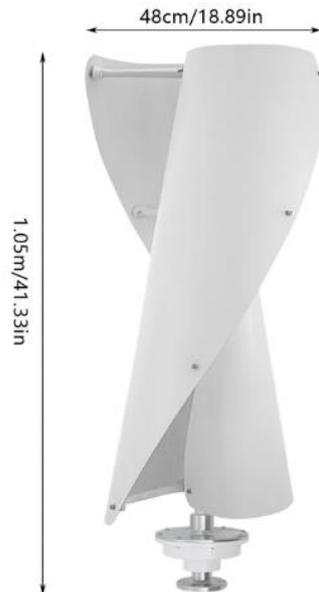


Figura [51]: Turbina Verticale CNCEST con dimensioni indicate, cncest.store

Turbina Verticale CNCEST:

Potenza e Prestazioni: La turbina CNCEST ha una potenza nominale di 400 W a 11 m/s.

Tipo di Turbina: Savonius a doppia pala a spirale con generatore trifase a magneti permanenti e freno elettromagnetico.

Materiali Utilizzati: Fibra di vetro e acciaio inossidabile.

Dimensioni e Peso: Il diametro del rotore è di 0.54 m. Il peso complessivo è di 15 kg.

Condizioni Operative: Intervallo di temperature da 25°C a 45°C. Può resistere a velocità del vento fino a 45 m/s. Tensione 24 V. Velocità di cut-in di 2.5 m/s, velocità nominale di 11 m/s e velocità di cut-off di 28 m/s.

Altre Specifiche: Ha un'aspettativa di vita di 10-15 anni e un microprocessore a bassa coppia in grado di regolare corrente e tensione per ottimizzare l'output.

Costo: 266 €.

5.3 - Turbina Verticale Gorlov in Kit

Designer: Guangzhou Niutuo Kejiyouxiangongsi

Anno: 2020

Questa turbina prodotta da un individuo autonomo si presta come soluzione economica e non di marca, ma senza certificazioni e dunque da prendere solo in considerazione solo in caso di installazioni remote senza alternative [26].



Figura [52]: Turbina Gorlov di Guangzhou con dimensioni indicate, fruugo.it

Micro Generatore Verticale:

Potenza e Prestazioni: La turbina ha una potenza nominale di 25 W a 9 m/s.

Tipo di Turbina: Gorlov a tripla pala con generatore a magneti permanenti.

Materiali Utilizzati: Policloruro di alluminio.

Dimensioni e Peso: Il diametro del rotore è di 0.18 m. Il peso complessivo è di 0.52 kg.

Condizioni Operative: Intervallo di temperature da 15°C a 40°C. Può resistere a velocità del vento fino a 30 m/s. Tensione 12 V. Velocità di cut-in di 2 m/s, velocità nominale di 9 m/s e velocità di cut-off non reperibile.

Altre Specifiche: Montata su un treppiede fornito assieme alla turbina, ma installabile anche su palo con l'utilizzo di bulloni.

Costo: 89 €.

5.3 - Turbina a Lama Verticale Gorlov

Designer: Dato non reperibile

Anno: Dato non reperibile

Questa turbina si presenta come piuttosto anonima, come la maggior parte dei kit microeolici, limitando le informazioni disponibili al minimo indispensabile. Risulta interessante per le dimensioni e potenza maggiori della precedente [27].



Figura [53]: Turbina a lama verticale Gorlov, cdnimg01.kitneed.it

Micro Generatore Verticale:

Potenza e Prestazioni: La turbina ha una potenza nominale di 400 W a 18 m/s.

Tipo di Turbina: Gorlov a tripla pala con generatore a magneti permanenti.

Materiali Utilizzati: Fibra di vetro e acciaio inox.

Dimensioni e Peso: Il diametro del rotore è di 0.6 m. Il peso complessivo è di 10 kg.

Condizioni Operative: Intervallo di temperature da 25°C a 45°C. Può resistere a velocità del vento fino a 45 m/s. Tensione 12 V. Velocità di cut-in di 2.5 m/s, velocità nominale di 18 m/s e velocità di cut-off non reperibile.

Altre Specifiche: Necessario montarla su un palo non fornito assieme alla turbina, dispone di freno elettromagnetico.

Costo: 280 €.



Figura [54]: Componenti separate della turbina a lama verticale Gorlov, cdnimg01.kitneed.it

6

**Casi Studio:
Microeolico
Autocostruito**

6 - Casi Studio: Microeolico Autocostruito

6.1 - Progetto Open Source "Piggott Turbine" / A Wind Turbine Recipe Book

Designer: Hugh Piggott

Anno: 2023 (versione più recente)

Il progetto della Piggott Turbine, sviluppato da Hugh Piggott, è un esempio emblematico di soluzione eolica open source orientata al "fai-da-te". Questa turbina eolica è stata progettata per essere costruita con materiali facilmente reperibili e con tecniche semplici, rendendola accessibile a un vasto pubblico. L'obiettivo del progetto è quello di fornire energia rinnovabile e sostenibile in contesti dove l'accesso a fonti energetiche convenzionali è limitato o costoso.



Figura [55]: *Hugo Piggott durante l'assemblaggio di una sua turbina, windempowerment.org*

Efficienza e Applicazioni

Sebbene non raggiunga le efficienze delle turbine eoliche commerciali, la Piggott Turbine è molto efficace per l'uso domestico o in piccole comunità. È particolarmente apprezzata per la sua robustezza e per la facilità di manutenzione e riparazione, grazie alla semplicità dei componenti e alla natura open source del design [28].

Potenza e Prestazioni: Variabile in base alla dimensione, da poche centinaia di W fino ad alcuni kW (2-3).

Tipo di Turbina: HAWT a tre pale con coda e generatore a magnete permanente.

Materiali Utilizzati: I materiali possono essere scelti, ma Piggott raccomanda pale in legno e palo in acciaio. Il generatore è progettato per essere costruito utilizzando materiali comuni come filo di rame e magneti permanenti.

Dimensioni e Peso: Variabili in base a dimensione e materiali usati.

Condizioni Operative: Ha una velocità minima di avviamento variabile in base alla dimensione, generalmente 3-4 m/s.

Altre Specifiche: Progetto open source con istruzioni dettagliate disponibili pubblicamente, costruibile con materiali economici e facilmente reperibili e adattabile a diverse dimensioni e potenze a seconda delle esigenze. Ottima per scopi didattici e workshop su energie rinnovabili.

Costo: Variabile a seconda dei materiali usati e degli attrezzi a disposizione, generalmente trascurabili o molto accessibili.



Figura [56]: *Turbina Piggott*,
windempowerment.org

"A Wind Turbine Recipe Book":

È una guida scritta da Hugh Piggott stesso, che dettaglia il processo di costruzione delle sue turbine eoliche. Questo libro funge da manuale per chiunque voglia costruire una turbina eolica Piggott, offrendo istruzioni passo-passo, diagrammi e consigli pratici. Il "libro delle ricette" è stato tradotto in molte lingue e si è affermato come una risorsa fondamentale nel campo dell'energia eolica DIY.

Il progetto della Piggott Turbine e il suo accompagnamento, "A Wind Turbine Recipe Book", rappresentano significativi contributi al mondo dell'energia rinnovabile fai-da-te. Essi incarnano l'idea che la tecnologia eolica possa essere accessibile, sostenibile e personalizzabile, adattandosi a diverse esigenze e contesti. Questo approccio democratizza l'accesso all'energia rinnovabile, rendendo possibile la generazione di energia eolica a livello locale e comunitario [29].

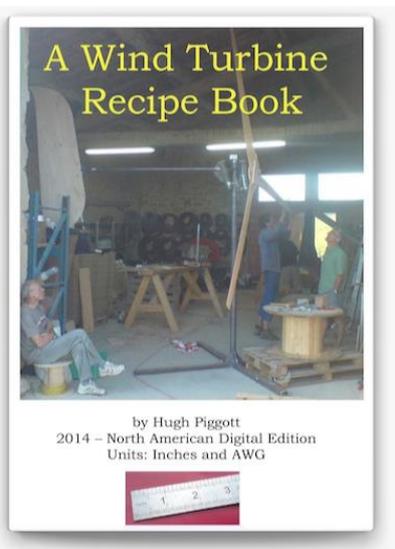


Figura [57]: Copertina del libro "A Wind Turbine Recipe Book", is1-ssl.mzstatic.com

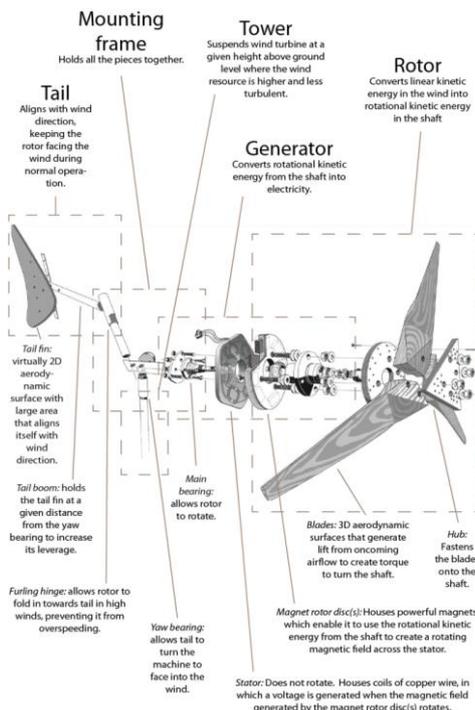


Figura [58]: Pagina estratta dal libro "A Wind Turbine Recipe Book", pureselfmade.com

6.2 - Savonius di Barili

Designer: SaveltForParts

Anno: 2022

Siccome esistono innumerevoli esempi di turbine Savonius costruite con barili tagliati a metà o simili, diffuse in vari media e nella rete, è difficile se non impossibile attribuire un nominativo alla persona che per prima ne ha realizzata una; dunque, il seguente caso studio presenta uno dei tanti possibili esempi, analizzando la versione esposta ed esplicata nel video di "saveitforparts" su Youtube, il quale spiega l'intero processo di costruzione.



Figura [59]: L'utente "SaveltForParts" mentre mostra la sua turbina Savonius realizzata con materiali di recupero, youtube.com

Una turbina Savonius costruita utilizzando barili plastici tagliati a metà è un esempio di come i materiali di recupero possono essere trasformati in una fonte di energia rinnovabile. Questo tipo di turbina eolica appartiene alla categoria delle turbine a flusso incrociato o ad asse verticale. La sua semplicità costruttiva e l'efficacia nel catturare il vento da qualsiasi direzione la rendono una scelta popolare per progetti fai-da-te e applicazioni a basso costo.

Design e Costruzione

Il design della turbina Savonius si basa su due o più semicilindri, che nel caso di questa particolare versione sono ottenuti tagliando longitudinalmente dei barili. I semicilindri vengono poi montati in modo che le loro curve siano orientate in direzioni opposte. Questa configurazione crea un effetto di "trascinamento" quando il vento colpisce la superficie convessa di un semicilindro e contemporaneamente evade dalla superficie concava dell'altro, generando così una rotazione [30].

Potenza e Prestazioni: La turbina ha una capacità nominale di circa 25 W con venti a 4 m/s.

Tipo di Turbina: Savonius ad asse verticale e generatore a magnete permanente.

Materiali Utilizzati: Barili di plastica e parti di un motorino pronto alla rottamazione. Supporto e palo in legno.

Dimensioni e Peso: Variabili in base a dimensione e materiali usati.

Condizioni Operative: Ha una velocità minima di avviamento di circa 1.3 m/s.

Altre Specifiche: Progetto con istruzioni dettagliate disponibili pubblicamente, costruibile con materiali economici e facilmente reperibili e adattabile a diverse dimensioni e potenze a seconda delle esigenze. Ha poche parti mobili, il che la rende resistente a condizioni meteorologiche avverse. Non ha bisogno di un meccanismo di orientamento per allinearsi con la direzione del vento.

Rispetto ad altri tipi di turbine, ha una minore efficienza nella conversione dell'energia eolica, in questo caso essendo limitata alla carica di dispositivi di telefonia mobili. Inoltre, può risultare molto rumorosa, con valori sopra ai 50 dB.

Costo: La turbina presentata, a detta dell'autore, gli è costata un totale di 4 \$, senza contare gli attrezzi che già possedeva.

Efficienza

Le turbine Savonius non sono particolarmente note per la loro efficienza in termini di conversione dell'energia eolica in energia meccanica, soprattutto se paragonate alle turbine eoliche ad asse orizzontale. Tuttavia, la loro capacità di funzionare con venti deboli e la loro robustezza le rendono adatte per molte applicazioni pratiche, specialmente in contesti dove la velocità del vento è bassa e variabile. E in questo caso specifico, i costi quasi nulli di costruzione la rendono una scelta favorevole.



Figura [60]: Turbina Savonius di barili installata sul tetto del realizzatore, youtube.com

Applicazioni Pratiche

Le turbine Savonius autocostruite vengono spesso utilizzate per piccoli progetti, come la ricarica di batterie, applicazioni didattiche o per l'alimentazione di piccoli dispositivi. Nel caso presentato, la turbina è stata installata per fornire energia ad un capanno agricolo che si trova in una zona rurale particolarmente remota.

In conclusione, le turbine Savonius realizzate con barili di plastica o metallici rappresentano un eccellente esempio di soluzioni energetiche sostenibili e a bassissimo costo. Questo tipo di turbina eolica, pur avendo alcune limitazioni, offre un approccio accessibile e pratico all'energia rinnovabile in quanto richiede pochissimi materiali e attrezzi, quasi nessuna competenza particolare e una molto limitata conoscenza.

6.3 - Turbina di Vajrakarur

Designer: Ing. Madhu Vajrakarur

Anno: 2020

L'India, con la sua vasta popolazione agricola e regioni aride, ha un bisogno critico di sistemi di irrigazione efficienti e sostenibili. L'accesso limitato all'elettricità in molte aree rurali rende difficile per gli agricoltori irrigare i loro campi e approvvigionarsi. Madhu Vajrakarur, nel 2020, ha costruito una turbina per la raccolta dell'acqua e la generazione di energia, basandosi su un progetto a cui lavorava da anni. Madhu, laureato in ingegneria elettrica e originario del distretto di Anantapur in Andhra Pradesh, India, ha sviluppato questa turbina per affrontare la sfida di accedere a risorse essenziali come l'acqua potabile e l'elettricità, problemi che aveva sperimentato personalmente durante la sua infanzia. La turbina incanalava l'umidità atmosferica in un compressore di raffreddamento, dove viene fatta condensare e poi viene pompata in cisterne con un sistema di filtraggio a tre fasi prima del consumo. Inoltre, la turbina è collegata a un inverter con capacità di 30 kilowatt, che Madhu utilizza per alimentare elettrodomestici nella sua casa, oltre ad alimentare il fabbisogno di 25 famiglie [31][32][33][34][35].



Figura [61]: Vajrakarur davanti alla sua turbina, gruppoindia.it

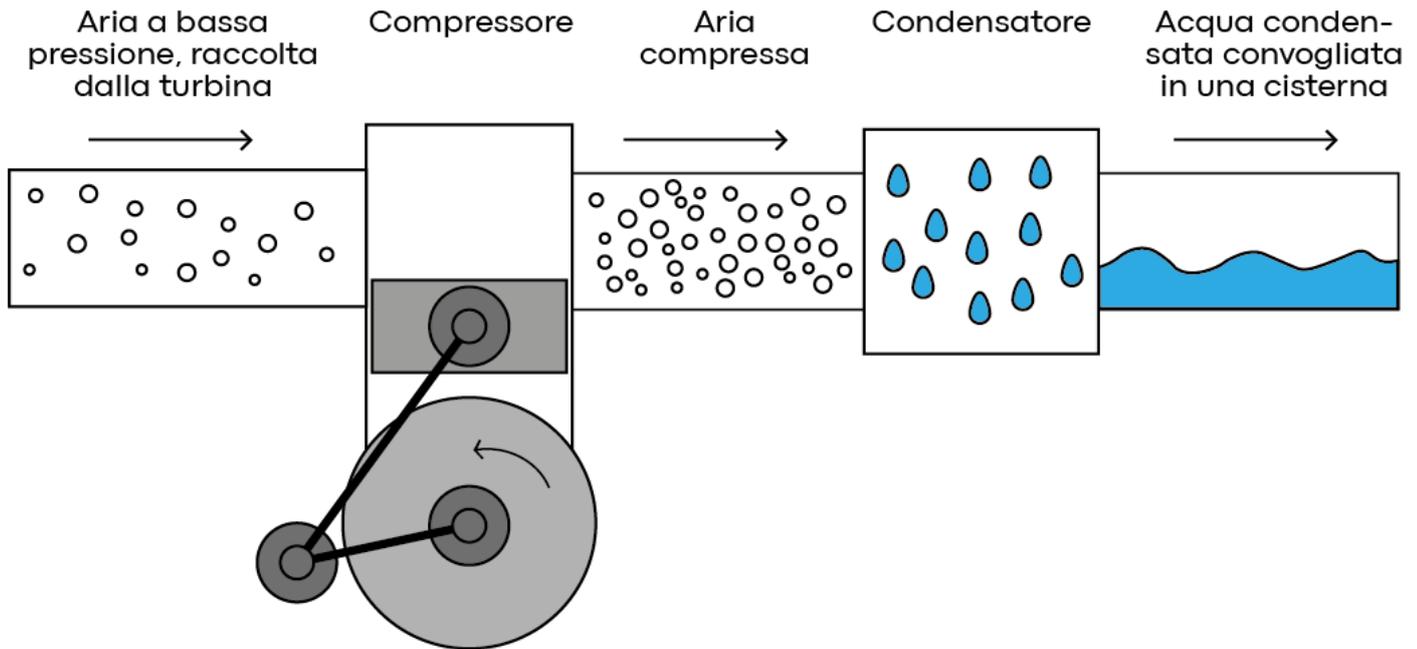


Figura [62]: Funzionamento del condensatore nella turbina di Vajrakarur

Potenza e Prestazioni: La turbina ha una capacità nominale di circa 30 kW con venti a 10 m/s.

Tipo di Turbina: HAWT a tre pale senza coda e con generatore a magnete permanente.

Materiali Utilizzati: Alluminio e acciaio.

Dimensioni e Peso: Alta 4.5 m, con un rotore di 4 m di diametro e un'area di spazzata di 12.5 m². Il peso non è di dominio pubblico.

Condizioni Operative: Ha una velocità minima di avviamento di circa 2.4 m/s.

Altre Specifiche: Questo sistema ha permesso agli agricoltori di avere un accesso indipendente e sostenibile all'acqua, riducendo la dipendenza dalla rete elettrica nazionale e dai costosi generatori diesel. Inoltre, il progetto ha portato alcuni investitori europei ad investire nella ricerca di impianti eolici che accumulino anche acqua potabile.

Costo: Dato non reperibile.

Impatto:

L'adozione di questa turbina ha avuto un impatto profondo sulle comunità agricole, migliorando la produttività e la qualità della vita. Ha anche stimolato l'innovazione locale e l'imprenditorialità nel settore delle energie rinnovabili.

In termini di impatto sociale questa innovazione potrebbe rivelarsi estremamente benefica, specialmente nelle regioni costiere o per le piccole imprese, riducendo sia le bollette elettriche che la scarsità di acqua a basso costo. Madhu spera di commercializzare il suo design e di aiutare altre persone implementando questa turbina in aree con scarsità idrica.

6.4 - HAWT Amatoriale

Designer: Rulof Fai da Te

Anno: 2022

Come per la turbina Savonius di barili, è pressoché impossibile attestare un solo progettista alle HAWT amatoriali, dunque prenderemo in esame la turbina costruita da Rulof Fai da Te, il quale presenta passo per passo come costruirla in un video sul suo canale YouTube.



Figura [63]: HAWT a 6 pale realizzata dall'utente Rulof Fai da Te, youtube.com

Si tratta di una turbina a sei pale in legno di abete, con profilo alare, incollate tramite silicone ad un corpo centrale appositamente realizzato, di cui Rulof ha messo a disposizione il modello 3D. Usa una dinamo della Panasonic, incollata al corpo centrale tramite colla poliuretanic.

Utilizza anche parti di una vecchia bicicletta, tra cui il mozzo centrale, alcuni cuscinetti a sfera e pezzi di telaio saldati per comporre l'apice del treppiedi su cui poggia la turbina, il quale è composto da tondini di ferro.

La coda per l'orientamento è realizzata con i resti di un quadro artistico scartato [36].

Potenza e Prestazioni: La turbina ha una capacità nominale di circa 60 W con venti a 5 m/s.

Tipo di Turbina: HAWT a sei pale con coda e dinamo.

Materiali Utilizzati: Alluminio, acciaio, ferro, legno e vari altri, particolarmente di scarto.

Dimensioni e Peso: Diametro del rotore di 1.8m con un'area di spazzata di 2.5 m². Il peso non è di dominio pubblico.

Condizioni Operative: Ha una velocità minima di avviamento di circa 1.5 m/s.

Altre Specifiche: Il progettista spiega che dalle sue osservazioni sarebbe possibile inserire più di una dinamo oppure implementare dei rapporti, per massimizzare la produzione.

Costo: Dato non reperibile.

Impatto:

In questo specifico caso, la turbina serve al realizzatore per generare energia per il suo accumulatore, in concomitanza con una piccola serie di pannelli solari, per alimentare il suo stile di vita particolare e gli attrezzi che utilizza per realizzare vari altri artefatti che presenta sul suo canale social.



Figura [64]: L'utente "Ralof Fai da Te" mentre assembla la sua turbina HAWT, youtube.com

6.5 - Sviluppo di Micro Turbine Eoliche per il Miglioramento della Vita Rurale

Designer: S. Sharma et al.

Anno: 2017

Uno studio svolto da S. Sharma et al., un gruppo di studenti e affiliati dell'università di Deemed, India, si concentra sull'esplorazione dei vantaggi che le turbine microeoliche potrebbero portare al loro paese, e prosegue con la realizzazione di una turbina, spiegando ogni passaggio.

Lo studio inizia analizzando la ventosità in India, trovando che ad un'altezza di 30 metri, vi è vento sufficiente a sfruttare una turbina microeolica in qualsiasi stagione e sulla maggior parte del territorio nazionale.

Prosegue poi prendendo in esame le turbine di grandi dimensioni, spiegando in dettaglio i possibili svantaggi che esse comportano, in particolare i costi elevati e la grande richiesta di territorio, i danni ecologici che potrebbero portare alla fauna volante e la rumorosità.



Figura [65]: HAWT realizzata da S. Sharma e il suo gruppo a fini dimostrativi, gruppoindia.it

Dopodiché, presenta nel dettaglio come costruire la turbina realizzata dal gruppo, partendo con un elenco dei materiali e degli attrezzi necessari, e spiegando poi le lame, le pale, la navicella, il generatore a magneti permanenti e infine i collegamenti elettronici [37].

Figura [66]: Schematica delle dimensioni della HAWT realizzata da S. Sharma et al., gruppoindia.it

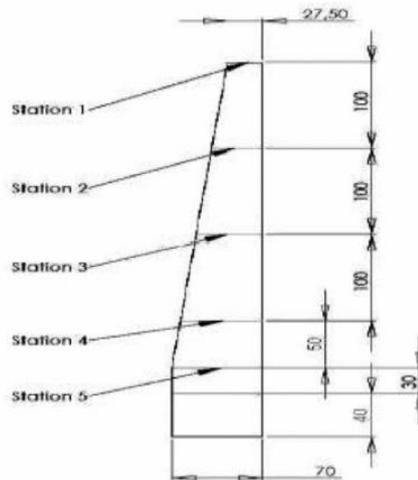


Figura [67]: Generatore della HAWT realizzata da S. Sharma et al., gruppoindia.it

Potenza e Prestazioni: La turbina ha una capacità nominale di circa 50 W con venti a 6 m/s.

Tipo di Turbina: HAWT a 5 pale con coda e generatore a magneti permanenti.

Materiali Utilizzati: Alluminio, acciaio, ferro, legno, rame.

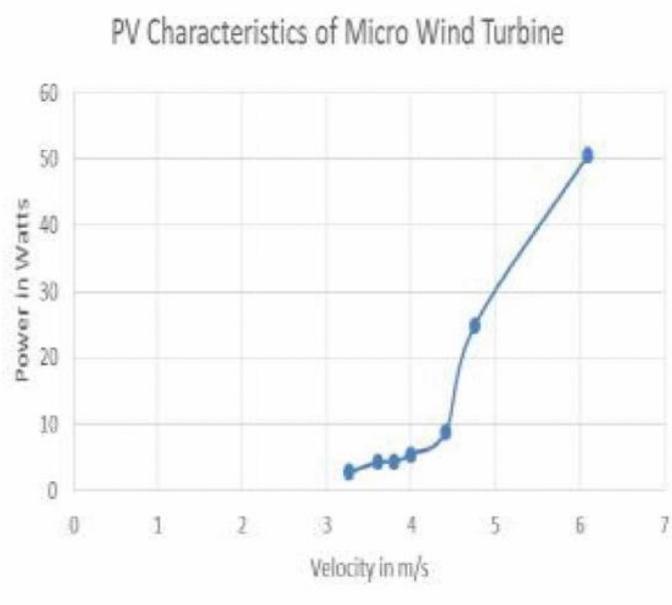
Dimensioni e Peso: Diametro del rotore di 0.9 m con un'area di spazzata di 2.5 m². Il peso non è di dominio pubblico.

Condizioni Operative: Ha una velocità minima di avviamento di circa 3.2 m/s.

Altre Specifiche: Il team vuole implementare un programma di educazione pubblica per permettere alle persone meno abbienti di non essere dipendenti dalla rete elettrica pubblica.

Costo: Dato non reperibile.

Figura [68]: Grafico della curva di potenza della HAWT realizzata da S. Sharma et al., gruppoindia.it



6.6 - Progetto Aeolus

Designer: Hashtag_Francis

Anno: 2022

Il progetto Aeolus consiste nella creazione e continuo aggiornamento della turbina stampabile creata dall'utente Hashtag_Francis, che ha messo a disposizione gratuita tutti i file necessari sul sito [Printables.com](https://www.printables.com), così che chiunque abbia una stampante FDM possa creare la propria turbina.



Figura [69]: *Rendering della turbina Aeolus,*
[media.printables.com](https://www.printables.com)

Si tratta di una turbina verticale a tre pale, ibrida Savonius-Darrieus, che per sua natura viene generalmente realizzata in Acido Polilattico (PLA), la bioplastica più comunemente usata come filamento per le stampanti FDM, ma può essere stampata in qualsiasi materiale compatibile con la macchina, quindi anche PLA+, PETG, ABS, TPU e ASA. Questa sua proprietà rende le sue specifiche variabili ed adattabili.

È progettata in pezzi di dimensioni ridotte, così che anche le stampanti più piccole possano realizzarla. Inoltre è modulare, potendo impilare un numero teoricamente infinito di pezzi senza comprometterne l'integrità strutturale.

Oltre alle parti stampate, necessita di un palo metallico come asse centrale, un cuscinetto, viti da 12 mm e un generatore [38].

Potenza e Prestazioni: La turbina ha una capacità nominale di circa 12 W con venti a 5 m/s.

Tipo di Turbina: VAWT a tre pale, ibrida Savonius-Darrieus.

Materiali Utilizzati: PLA, acciaio, ferro.

Dimensioni e Peso: Diametro del rotore e il peso sono variabili in base alla scala e al materiale di stampa. L'originale realizzato in PLA ha un diametro del rotore di 0.3 m e un peso di 2.5 kg.

Condizioni Operative: Ha una velocità minima di avviamento di circa 1.5 m/s.

Altre Specifiche: Essendo particolarmente leggera ed economica (escluso il prezzo della stampante) è possibile realizzarne in gran numero, oppure stamparla di dimensioni maggiori per aumentarne la resa.

Costo: Dato variabile.

Impatto:

Essendo quello delle stampanti 3D domestiche un mercato visibilmente in crescita, questo progetto può essere di esempio nel loro utilizzo verso l'indipendenza energetica o comunque lo sgravio del consumo sulla rete, più dal punto di vista didattico che energetico, in quanto chi dispone di tali mezzi generalmente non ha necessità basilari come l'energia elettrica.

File Modello

 TUTTI I FILE DEL MODELLO (1 MB)

	VAWT_AF_Arm_V2.stl	 1 MB	25 gennaio 2022
	VAWT_AF_Vane_V2.stl	 653 kB	25 gennaio 2022
	VAWT_AF_Centerpiece_V2.stl	 772 kB	25 gennaio 2022

Figura [70]: Pagina dei download dei vari componenti della turbina Aeolus, media.printables.com,

7

Ai Limiti del Microeolico

7 - Ai limiti del Microeolico

7.1 - Aria Srl

Designer: Dato non reperibile

Anno: 2020

Le turbine Libellula prodotte da Aria Srl sono una serie di aerogeneratori eolici ad asse orizzontale, certificate EN 61400-1, che rientrano nel limite della definizione di microeolico per potenza, ma si distinguono dalla maggior parte degli altri casi studio per peso e dimensioni estremamente maggiori [39].



Figura [71]: Turbina Libellula 20, aria-srl.it

Libellula 20 kW:

Potenza e Prestazioni: La turbina Libellula 20 ha una potenza nominale di 20 kW a 10 m/s.

Tipo di Turbina: HAWT a doppia pala senza coda con riduttore epicicloidale, generatore asincrono e orientamento attivo.

Materiali Utilizzati: Acciaio zincato a caldo.

Dimensioni e Peso: Il diametro del rotore è di 17.4 m, con un'area spazzata di 237.8 m². Il peso complessivo è di 5300 kg.

Condizioni Operative: Intervallo di temperature da -40°C a 60°C. Può resistere a velocità del vento fino a 50 m/s. Tensione 400V. Velocità di cut-in di 2.5 m/s, velocità nominale di 10 m/s e velocità di cut-off di 25 m/s.

Altre Specifiche: Montata su una torre tubolare alta 20.5 m, con freni a disco e sistema di stallo passivo. Può essere installata sia on-grid che off-grid.

Costo: Dato non reperibile.

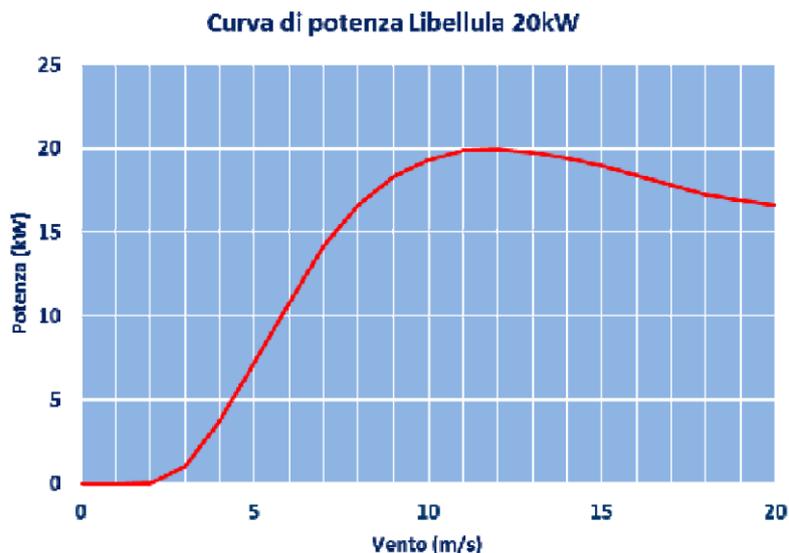


Figura [72]: Grafico della curva di potenza della Turbina Libellula 20, aria-srl.it

Libellula 50 kW:

Potenza e Prestazioni: La turbina Libellula 20 ha una potenza nominale di 50 kW a 13 m/s.

Tipo di Turbina: HAWT a doppia pala senza coda con riduttore epicicloidale, generatore asincrono e orientamento attivo.

Materiali Utilizzati: Acciaio zincato a caldo.

Dimensioni e Peso: Il diametro del rotore è di 19.4 m, con un'area spazzata di 295.6 m². Il peso complessivo è di 8000 kg.

Condizioni Operative: Intervallo di temperature da -40°C a 60°C. Può resistere a velocità del vento fino a 50 m/s. Tensione 400V. Velocità di cut-in di 3.5 m/s, velocità nominale di 13 m/s e velocità di cut-off di 25 m/s.

Altre Specifiche: Montata su una torre tubolare alta 24 m, con freni a disco e sistema di stallo passivo. Può essere installata sia on-grid che off-grid.

Costo: Dato non reperibile.



Figura [73]: *Turbina Libellula 50*,
aria-srl.it

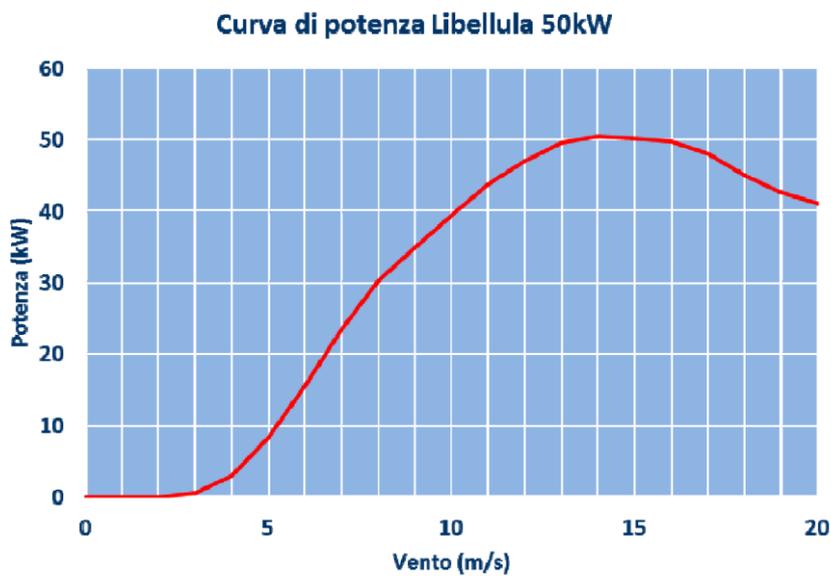


Figura [74]: *Grafico della curva di potenza della Turbina Libellula 50*,
aria-srl.it

Tra i vari prodotti, inoltre, Aria offre anche la Libellula 60i, che per potenza fuoriesce di 10 kW dalla definizione di microeolico, ma presenta le migliori prestazioni dimensione-potenza, che, come vedremo più avanti, si rivelano essere un punto fondamentale nell'analisi del contesto microeolico.

8

Gli Utilizzi del Microeolico

8 - Gli Utilizzi del Microeolico

Analizzando i diversi casi studio, emerge un dato significativo: l'energia prodotta dalle turbine microeoliche viene perlopiù utilizzata sotto forma di energia elettrica.

Questa scelta è motivata principalmente dalla versatilità e dall'efficienza dell'energia elettrica, che può essere facilmente convertita e utilizzata per alimentare una vasta gamma di dispositivi e apparecchiature. Inoltre, l'energia elettrica prodotta può essere immagazzinata in batterie o reinserita nella rete elettrica, fornendo un contributo prezioso alla gestione delle risorse energetiche. Si potrebbe anche dedurre che questa tendenza ad abbandonare l'utilizzo diretto dell'energia cinetica è dovuto all'inarrestabile progresso della tecnologia elettronica, che è ormai diffusa ovunque, anche nelle zone più povere e isolate, tuttavia, è interessante notare che l'unico caso preso in analisi in cui l'energia generata dalle turbine microeoliche è stata utilizzata in forme diverse apparteneva ad un contesto estremamente povero, ovvero la turbina realizzata da Vajrakarur, che ha sfruttato lo spostamento dell'aria causato dalla turbina per convogliare l'umidità atmosferica.

Inoltre, alcuni studi, tra cui quelli effettuati su Vikaspedia e quelli svolti da M. Velasco et al., mettono in evidenza che l'utilizzo del vento per il pompaggio di acqua è quasi completamente ristretto ai mulini, particolarmente quelli di tipo americano [40][41].

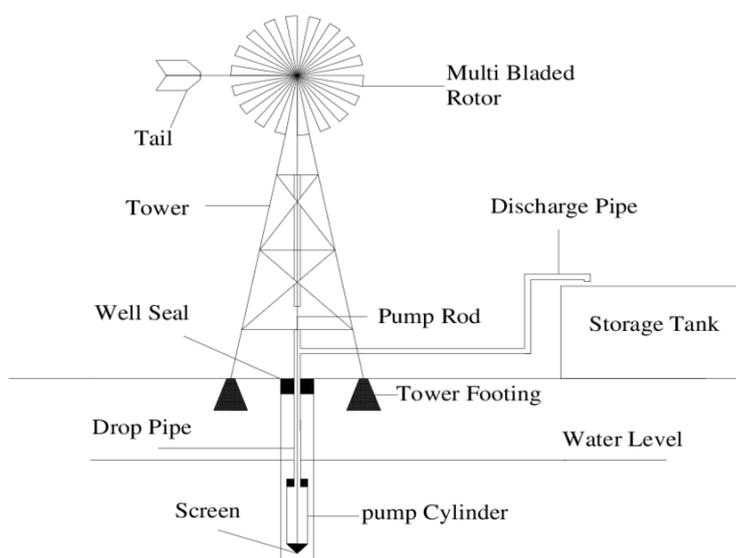


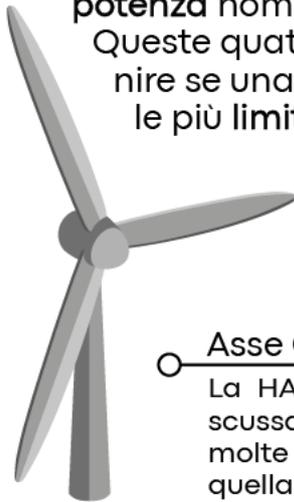
Figura [75]: *Infografica sul funzionamento di un mulino americano per il pompaggio dell'acqua tramite pompa a cilindro,*
researchgate.net

9

Analisi dei Dati

Analizzando i dati reperiti dai casi studio esplorati, possiamo definire vari trend, così da poter identificare il **dominant design**, i punti di **forza** e le **debolezze** del campo microeolico. In questa tavola vengono esposti i dati riguardanti il **tipo di turbina** più utilizzato, la **potenza nominale**, il **costo** e le **temperature** di operabilità.

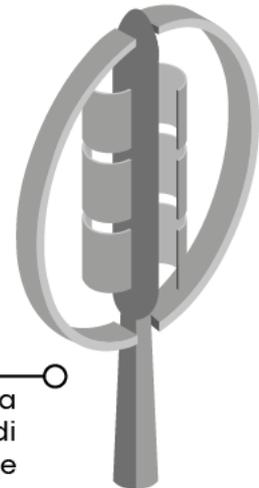
Queste quattro caratteristiche sono le più importanti per definire se una turbina sia adatta all'uso previsto, in quanto sono le più limitanti.



Asse Orizzontale

La HAWT si presenta come sovrana indiscussa della competizione, declinata in molte varianti, di cui quella più comune è quella a tripla pala.

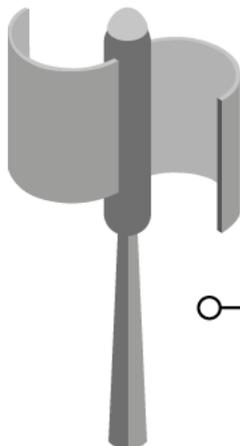
N° Casi Studio:



Ibrida Savonius-Darrieus

L'ibridazione Savonius-Darrieus risulta molto popolare grazie alla sua capacità di sfruttare qualsiasi tipo di vento, anche minimo, da ogni direzione.

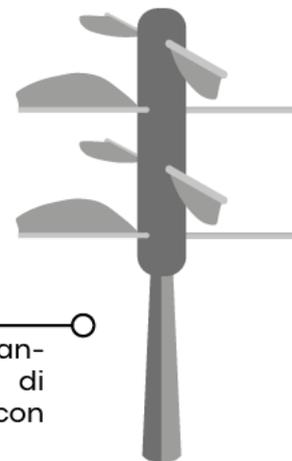
N° Casi Studio:



Savonius

La Savonius si presta particolarmente per le turbine piccole, grazie al suo cut-in molto basso, che permette l'avvio anche con venti deboli.

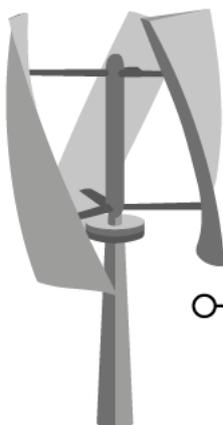
N° Casi Studio:



Prototipo

Alcuni ingegneri e designer stanno calcando strade inesplorate, nella speranza di giungere ad un modello innovativo con nuove forme e meccaniche.

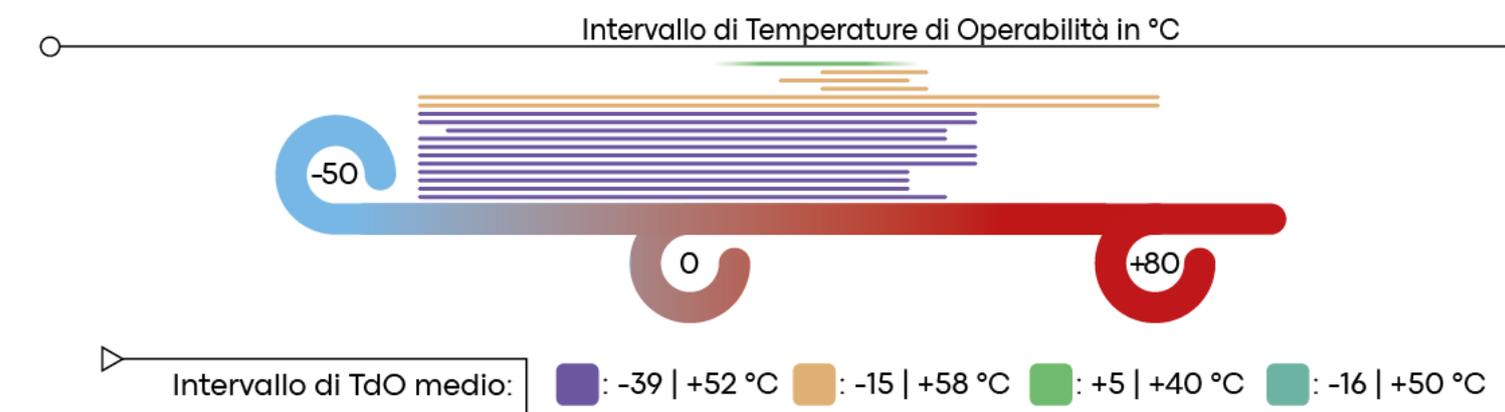
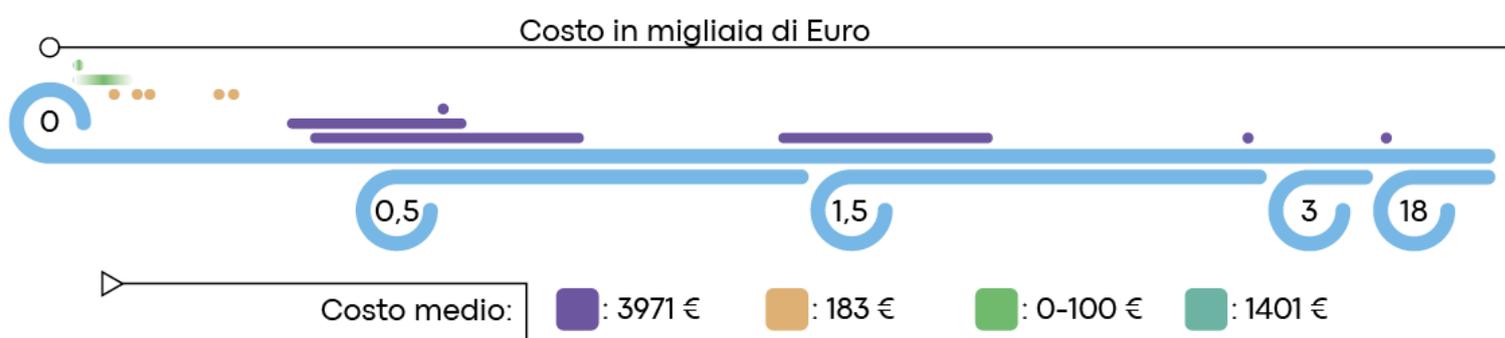
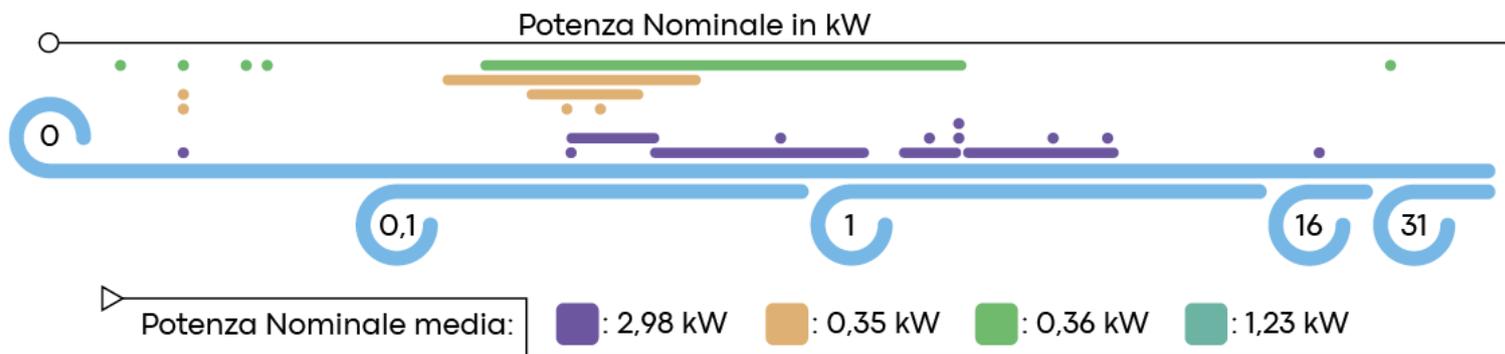
N° Casi Studio:



Gorlov

Comune più che altro nella versione ibridata Savonius, la versione "pura" della turbina Gorlov appare solo nei kit, grazie alla facilità di assemblaggio.

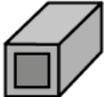
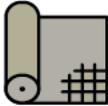
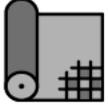
N° Casi Studio:



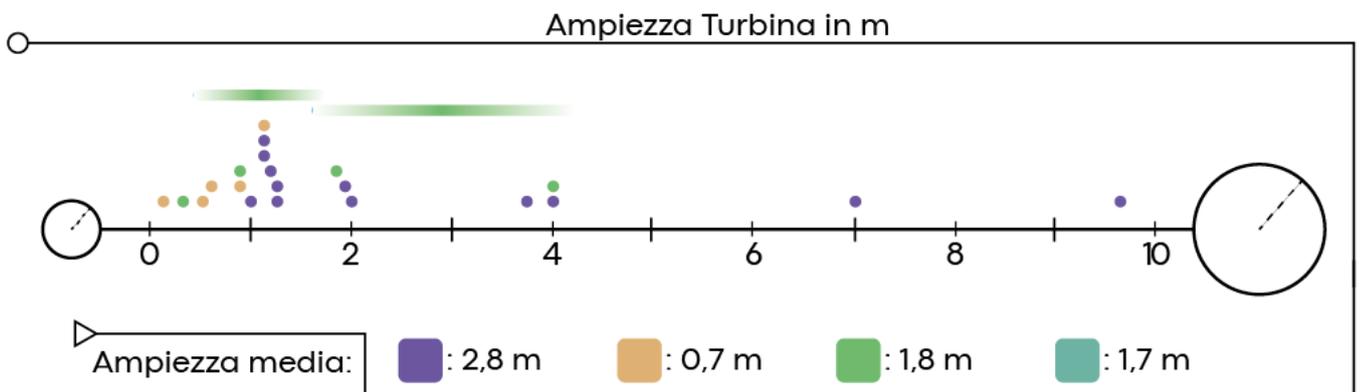
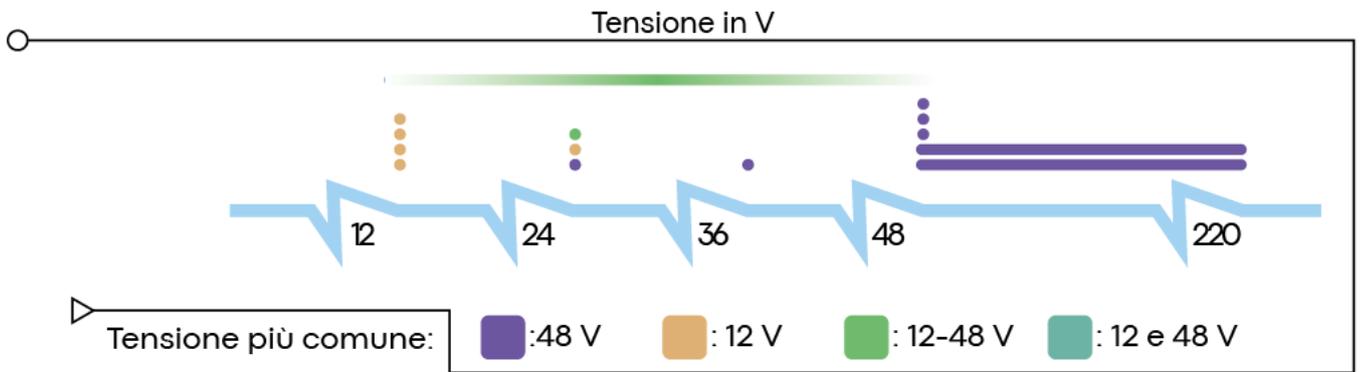
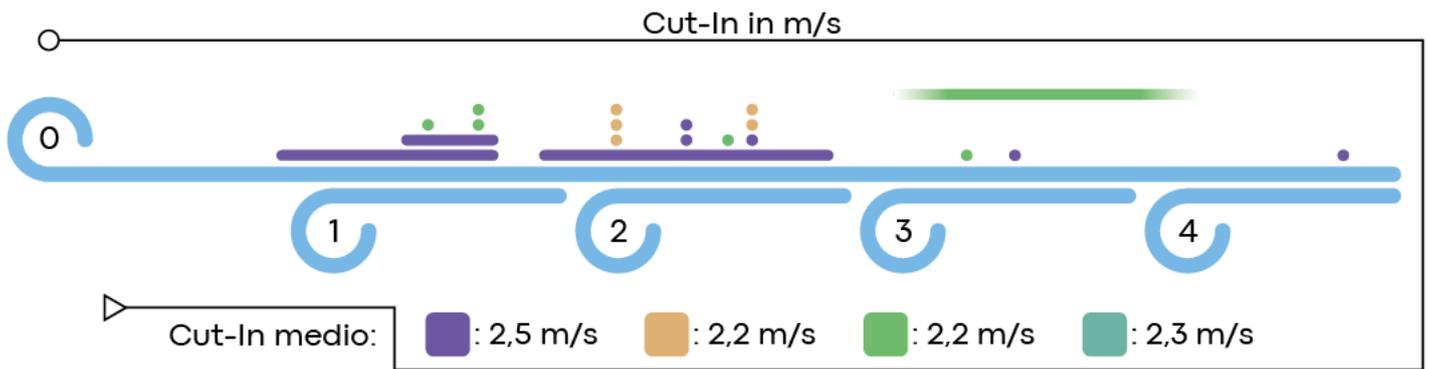
Legenda:



In questa seconda tavola vengono presentati i dati riguardanti i materiali utilizzati, la velocità del vento necessaria al cut-in, la tensione, il peso e le dimensioni dei casi studio presi in analisi.

- Acciaio:** L'acciaio è il materiale più usato, nella varianti  inossidabile, zincato e galvanizzato, sia per i supporti che per le pale e i meccanismi. 
- Alluminio:** L'alluminio si presenta come opzione alternativa  all'acciaio, essendo molto più leggero, ma il costo decisamente maggiore ne previene la diffusione. 
- Fibra di Vetro:** La fibra di vetro è il materiale più utilizzato  per la realizzazione delle pale. 
- Legno:** Il legno viene utilizzato solamente nel microeolico  autocostruito, per la sua facile reperibilità e bassissimo costo. 
- Fibra di Nylon:** La fibra di nylon viene usata quasi esclusivamente  per le pale prestampate dei kit. 
- Plastica:** La plastica si presenta come alternativa alla fibra  di nylon, oltre ad essere usata per le pale stampate con tecnologia FDM. 
- Fibra di Carbonio:** La fibra di carbonio viene usata per le pale in virtù  delle sue proprietà meccaniche, ma l'alto costo ne previene la diffusione. 





Legenda:



10

Informazioni Aggiuntive

10 - Informazioni Aggiuntive

10.1 - Stime delle Risorse Eoliche Urbane

Secondo uno studio presentato nel libro *Energy and Buildings*, i dati presentati dalle aziende rivenditrici di turbine microeoliche non seguono uno standard, né tantomeno valutano le possibili variazioni che possono essere causate dalla posizione geografica in cui viene installato l'impianto, risultando inaffidabili ed incrementando i dubbi riguardo l'acquisto di tali soluzioni da parte del consumatore, limitando inoltre la fetta di mercato in cui si pongono [42].

Un altro studio, *Building mounted wind turbines and their suitability for the urban scale*, di Sara Louise Walker, indica come fattori di cui tenere conto la densità urbana, l'altezza degli edifici (sia quello su cui montare la turbina che quelli circostanti) e la distanza dal centro città, presentando una tabella di dati sulla velocità del vento acquisiti in varie zone delle città di Manchester, Portsmouth e Wick [43].

	Mean wind speed scaling factor (%)
Manchester	
Location 1: south east edge	63
Location 2: north west edge	60
Location 3: south west edge	58
Location 4: north east edge	60
Location 5: city centre	57
Average of all 5 locations	60
Portsmouth	
Location 1: south east edge	101
Location 2: north west edge	83
Location 3: south west edge	92
Location 4: north east edge	113
Location 5: city centre	63
Average of all 5 locations	90
Wick	
Location 1: south east edge	103
Location 2: north west edge	100
Location 3: south west edge	65
Location 4: north east edge	104
Location 5: city centre	65
Average of all 5 locations	87

Dal testo si può desumere che il microeolico si dimostra più affidabile e prevedibile in aree rurali, nelle quali il vento non è influenzato dagli edifici, rendendo inoltre più semplice fare un'analisi del vento precedentemente all'acquisto, basandosi sui dati metereologici.

Figura [76]: Risultati numerici dello studio riguardo le risorse eoliche in città svolto da Sara Louise Walker, *Building mounted wind turbines and their suitability for the urban scale*, School of the Built Environment, Northumbria

10.2 - Rapporto Dimensione/Impatto

Sebbene il principale scopo del microeolico sia quello di fornire energia, sia essa meccanica o elettrica, in zone remote o povere, è altrettanto vero che la parte più commerciale dell'argomento si concentra sullo sgravio del consumo domestico (o di piccole aziende, ecc.) dalla rete elettrica e sulla riduzione dell'impatto ecologico che il consumo dell'energia implica. Risulta dunque interessante presentare le conclusioni di uno studio effettuato da Marloes Caduff et al. che indaga sul rapporto tra la dimensione della turbina eolica e il suo impatto ambientale.

La ricerca ha trovato che più grande è la dimensione della turbina, più "verde" è l'energia da essa prodotta. Infatti, la costruzione di turbine eoliche, particolarmente quelle di grandi dimensioni, ha comunque un impatto ambientale dovuto ai materiali, le lavorazioni, i trasporti e la manutenzione richiesti, ma i dati presentati da Caduff e i suoi associati dimostrano che maggiore è l'investimento iniziale di tale risorse, maggiore è il ritorno ambientale, dovuto alla produzione esponenziale di energia rinnovabile che sgrava la produzione di energia da fonti come i combustibili fossili. Tuttavia, questi dati non tengono conto del possibile danno faunistico causato da turbine di grandi dimensioni[44].

Un altro studio, presentato nel libro *Renewable Energy, An International Journal*, ha portato a conclusioni molto simili, svolte particolarmente nell'ambito del microeolico. Lo scopo della ricerca era quello di definire gli impatti ambientali della produzione di energia elettrica da parte delle turbine microeoliche ad asse verticale, e i risultati mostrano che le turbine più grandi hanno un impatto minore, anche in periodi simulati di vent'anni (le simulazioni sono state basate sui dati raccolti nel corso di un anno) e tenendo conto del fine vita delle turbine in analisi [45].

	Skyline-10 (SL_10)	Skyline-30 (SL_30)
Rated Power (kW)	1	3
Weight (kg)	70	190
Average diameter of the rotor (m)	2	3.2
Height of the rotor (m)	2	3.5
Swept area (m ²)	4	11.2
Cut-in speed (m/s)	2	2
Rated power speed (m/s)	12	12
Cut-out speed (m/s)	16	16

Figura [77]: Dati delle due VAWT messe a confronto nello studio presentato nel libro *Renewable Energy, An International Journal*, sciencedirect-com.ezproxy.biblio.polito.it

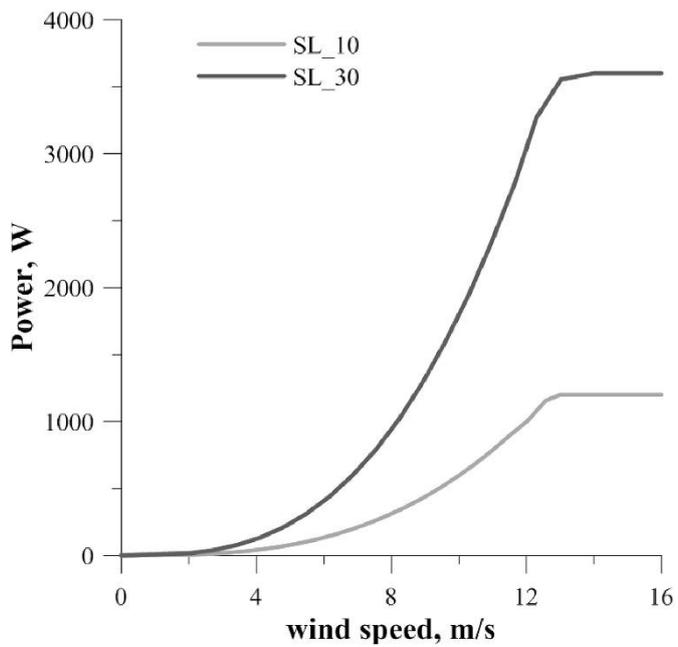


Figura [78]: Grafico con il confronto della produzione annuale di energia delle VAWT SL_10 e SL_30 nello studio presentato nel libro *Renewable Energy, An International Journal*, sciencedirect-com.ezproxy.biblio.polito.it

Tali risultati, in concomitanza con il fatto che nella maggior parte dei casi il microeolico viene installato in combinazione con un impianto solare o fotovoltaico, suggeriscono che allo stato attuale, dove possibile, è più proficuo implementare turbine di dimensioni maggiori.

10.3 - Rendimenti delle Varie Turbine

Un ulteriore punto importante da prendere in considerazione è il rendimento che ogni tipologia di turbina ha in base alla velocità di rotazione. Alcune di esse, infatti, come dimostrato nel grafico seguente, che mette in rapporto il coefficiente di potenza del rotore e il rateo della velocità della punta (della pala), si dimostrano più efficienti a diverse velocità di rotazione.

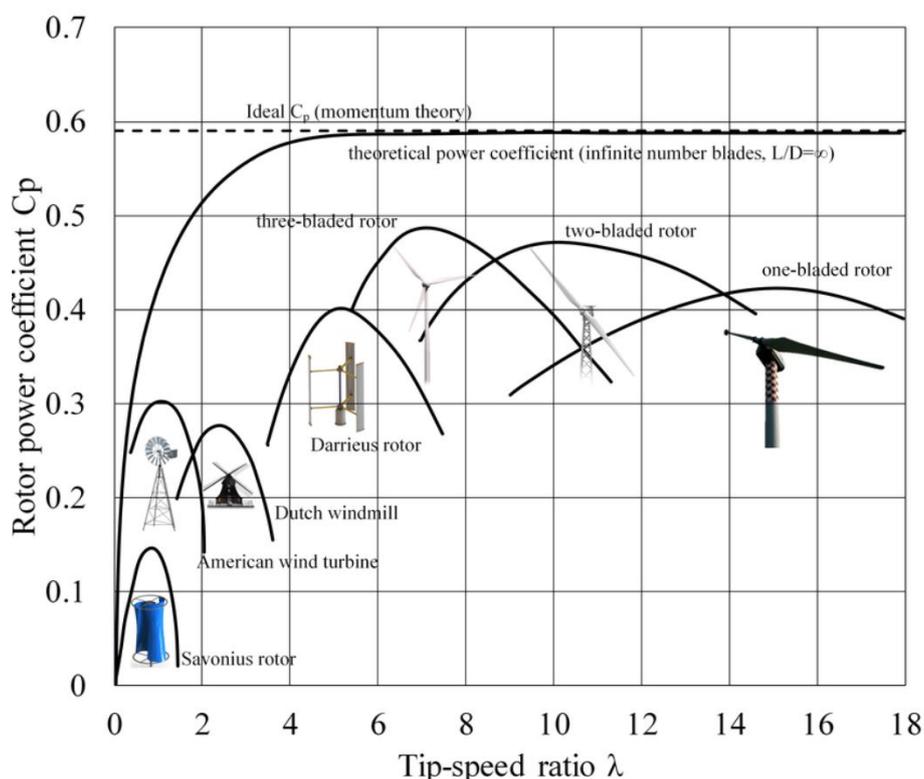


Figura [79]: Grafico del coefficiente di potenza di diversi tipi di turbine in rapporto alla velocità di rotazione, researchgate.net

In particolare, la turbina Savonius si presenta come la più adatta in caso di bassa velocità di rotazione, mentre le HAWT risultano le più adatte a sfruttare venti abbastanza forti da procurare una rotazione rapida [46].

Questo fattore va aggiunto alla lista delle attenzioni necessarie alla scelta corretta di un impianto microeolico, rapportando la potenza del vento che si avrà a disposizione con le dimensioni e il tipo di turbina, così da ottenere risultati ottimali dall'acquisto o dall'autocostruzione della stessa.

11

L'Autocostruzione

11 - L' Autocostruzione:

In base ai dati raccolti, è possibile stilare delle linee guida per l'autocostruzione, in modo che la turbina risultante sia la più adatta alle necessità del costruttore. L'analisi indica che il microeolico autocostruito rappresenta una possibile soluzione per soddisfare il fabbisogno energetico delle comunità remote e degli individui meno abbienti o più isolati, mentre chi non ne ha la necessità assoluta e vorrebbe solamente ridurre l'inquinamento personale prodotto, farebbe meglio ad investire in fonti di energia più efficienti su larga scala, come l'eolico vero e proprio o il fotovoltaico, oppure finanziando la ricerca per lo sviluppo di ulteriori tecnologie microeoliche.

11.1 - Requisiti Tecnici e Considerazioni per l'Autocostruzione:

Resta importante sottolineare che l'autocostruzione richiede una pianificazione accurata, competenze tecniche adeguate e una comprensione dettagliata delle sfide e delle considerazioni specifiche al progetto. Con un impegno adeguato e la condivisione delle conoscenze attraverso comunità online e progetti open source, il microeolico autocostruito può diventare un esempio fondante nella transizione verso un futuro energetico più sostenibile.

Step 1: Analisi Legislativa

Come prima cosa, è mandatorio accertarsi che la costruzione e l'installazione di un impianto microeolico siano permessi dalla legge vigente, e in caso lo siano constatare le autorizzazioni necessarie e procurarsele, oltre che prestare attenzione ad eventuali limitazioni o ulteriori specifiche.

Step 1: Accertamento delle Risorse Eoliche

Il primo passo per procedere con l'autocostruzione di una turbina microeolica è la constatazione delle risorse eoliche disponibili, da cui derivano tutte le scelte successive, oltre che la prima e più importante, ovvero la conferma della scelta microeolica. In alcuni casi le risorse eoliche non sono sufficienti, e risulta dunque più utile ed efficiente investire le proprie risorse in fonti di energia alternative.

La constatazione delle risorse eoliche può avvenire tramite vari metodi: il primo è quello di reperire una mappatura delle risorse eoliche della propria zona, se preesistente e disponibile, generalmente acquisibile tramite il web.

Il secondo metodo è quello di reperire i dati metereologici passati, analizzarli e dedurne le risorse eoliche.

Il terzo è quello di rivolgersi a dei professionisti, i quali dispongono della strumentazione e delle competenze adatte ad effettuare la rilevazione.

In alternativa, è possibile procurarsi un anemometro e analizzare i dati con esso ottenuti.

Step 2: Scelta del Sito

La selezione del sito per l'installazione della turbina eolica è fondamentale. I risultati dell'analisi delle condizioni del vento nella zona dovrebbero permettere di individuare un sito adatto a massimizzare l'efficienza dell'impianto.

Elevare la turbina alla massima altezza raggiungibile per incrementare ulteriormente le risorse eoliche sfruttate.

Step 3: Scelta della Turbina

È essenziale selezionare il design di turbina eolica più adatto alle condizioni locali del vento e alle esigenze energetiche.

Le turbine verticali come Savonius, Gorlov, e Ibride Savonius-Darrieus sono più adatte per luoghi con bassa ventosità, mentre le HAWT rendono di più con una ventosità maggiore.

Una volta scelto il modello, è necessario scegliere la dimensione della turbina, in concomitanza con il generatore che si intende utilizzare e che essa dovrà essere in grado di sfruttare.

Step 4: Scelta dei Materiali e dei Componenti

L'acquisto o la scelta, in caso si abbiano scarti utilizzabili, dei materiali adatti è fondamentale per il successo del progetto. Questi includono pale, generatori, sistemi di controllo e supporti strutturali. L'uso di materiali di affidabili e la corretta dimensione dei componenti sono cruciali e dai casi studio risulta che i materiali più utilizzati siano il legno per le pale e le code, l'acciaio o l'alluminio per i supporti e il rame per i generatori, oltre a vari altri pezzi e dettagli minori, come l'impregnante per il legno per renderlo resistente alle condizioni atmosferiche.

Step 5: Costruzione e Installazione Sicure

L'assemblaggio e l'installazione dell'impianto devono essere eseguiti con attenzione per garantire la sicurezza. Questo include il montaggio stabile della struttura, la protezione contro i fulmini e la connessione sicura alla rete elettrica, nel caso si voglia creare un impianto on-grid, anche se l'andamento generale è quello di utilizzare direttamente l'energia o un accumulatore.

Step 6: Manutenzione Continua

Le turbine eoliche richiedono una manutenzione periodica per garantire prestazioni ottimali e sicurezza a lungo termine. La pulizia delle pale, la lubrificazione dei cuscinetti e la verifica delle connessioni elettriche sono alcune delle attività necessarie.

11.2 - Considerazioni Tecniche Avanzate:

Di seguito sono riportate alcune considerazioni ulteriori per il funzionamento ottimale dell'impianto.

Integrazione con la Rete Elettrica: In contesti urbani, l'integrazione dell'energia eolica autocostruita con la rete elettrica locale è un passo cruciale. Sono di importanza assoluta la configurazione dell'inverter e la gestione delle connessioni per garantire un flusso stabile di energia elettrica ed evitare guasti, oltre che le autorizzazioni pertinenti.

Controllo del Rumore: Le turbine eoliche possono generare rumore, il che può rappresentare un problema, per la fauna in ambienti rurali e per il vicinato in ambienti urbani. Sono necessarie soluzioni per minimizzare il rumore, come l'isolamento acustico o la scelta di turbine a basso impatto acustico.

Sistemi di Stoccaggio dell'Energia: Nei contesti isolati in cui non è possibile allacciarsi alla rete elettrica, l'energia eolica può essere combinata con sistemi di stoccaggio dell'energia, come batterie o sistemi di pompaggio ad acqua, per evitarne la dispersione.

Simbiosi con il Solare: Il microeolico, nella quasi totalità dei casi, è progettato per lavorare in coppia con un impianto ad energia solare, in quanto le fluttuazioni del vento sono imprevedibili e spesso inaffidabili, rendendolo insufficiente.

Considerazioni Ambientali: Le turbine eoliche possono recare gravi danni all'ambiente ed è dunque importante condurre un'analisi dell'impatto ambientale per garantire che l'installazione delle turbine non abbia effetti negativi sulla fauna locale e sugli ecosistemi circostanti. Possono essere necessarie autorizzazioni ambientali e misure di mitigazione, oltre che una pianificazione per il fine vita dell'impianto.

Sebbene queste considerazioni siano perlopiù rivolte ad impianti eolici di grandi dimensioni, è opportuno prestarvi attenzione in ogni caso.

11.3 - Sviluppi Futuri e Potenziale del Microeolico Autocostruito

Il microeolico sta guadagnando popolarità e continua a mostrare un notevole potenziale, oltre che una diminuzione dei prezzi per le turbine precostruite. Sebbene i dati indichino che investire nell'eolico (non micro) sia una soluzione più ecologica, di seguito sono riportati alcuni vantaggi, sviluppi futuri e possibilità dell'autocostruito [47].

Sostenibilità e Indipendenza: L'energia eolica locale riduce la necessità di importare energia da fonti esterne, contribuendo alla sostenibilità energetica della comunità. Inoltre, fornisce alle comunità micro-urbane e rurali un maggiore grado di indipendenza energetica. Gli impianti possono essere utilizzati per alimentare abitazioni, aziende e servizi locali, riducendo la vulnerabilità agli eventi atmosferici e alle interruzioni dell'approvvigionamento energetico; tuttavia, richiedono varianti di grandi dimensioni e/o un numero maggiore, in quanto le turbine autocostruite hanno rendimenti inferiori.

Risparmio Economico: L'autocostruzione comporta costi decisamente inferiori rispetto all'acquisto di turbine preconfezionate e all'installazione professionale. Le comunità e gli individui possono risparmiare notevolmente, utilizzando materiali di recupero e riducendo le spese operative. Seppur più efficienti, le turbine prefabbricate hanno nella maggior parte dei casi costi proibitivi per le persone meno abbienti.

Riduzione dei Costi a Lungo Termine: Anche se l'investimento iniziale nell'autocostruzione di una o più turbine microeoliche può essere significativo per le varianti più potenti, nel lungo termine questa pratica può portare a notevoli risparmi rispetto all'acquisto di energia elettrica da fornitori esterni.

Sostenibilità Ambientale: L'utilizzo dell'energia eolica riduce l'emissione di gas serra e contribuisce a una minore impronta ecologica, il che è particolarmente importante per le comunità rurali che spesso dipendono dall'agricoltura e dalla gestione sostenibile delle risorse naturali e che ottengono la maggior parte dell'energia che necessitano da generatori a combustibili fossili.

Tecnologie Avanzate: La continua evoluzione delle tecnologie eoliche sta portando a turbine più efficienti, leggere e silenziose. Queste innovazioni possono migliorare ulteriormente l'adattabilità delle turbine eoliche in contesti micro-urbani.

Incentivi e Supporto Governativo: Gli incentivi governativi e i programmi di sostegno possono incentivare ulteriormente l'adozione dell'energia eolica privata. Questi possono includere agevolazioni fiscali e programmi di formazione.

Comunità Energetiche: Le comunità micro-urbane stanno esplorando il concetto di "comunità energetiche," in cui i residenti si uniscono per condividere e gestire la produzione e l'uso dell'energia rinnovabile. Questo modello può facilitare l'adozione diffusa del microeolico, specialmente autocostruito.

In conclusione, il microeolico autocostruito è una soluzione promettente per ridurre parzialmente l'impatto ambientale domestico e promuovere l'indipendenza energetica a livello locale, ma resta tutt'oggi una soluzione molto più adatta allo sgravio energetico delle comunità isolate e/o povere. Sebbene ci siano sfide da affrontare, come le regolamentazioni locali e le limitazioni di spazio, il potenziale di crescita di questa tecnologia è notevole. L'educazione, la collaborazione tra comunità e il supporto governativo possono contribuire a sbloccare il pieno potenziale del microeolico, specialmente quello autocostruito con l'utilizzo di materiali di scarto.

12

L'Intervento del Designer

12 - L'intervento del designer

12.1 – Comunicazione e User Experience

Lo sviluppo di nuove tecnologie per le turbine eoliche non ricade nel campo di competenze di un designer, quanto più in quello di un ingegnere. Ciò in cui può invece risultare interessante e importante l'intervento di un designer, sono la comunicazione e l'user experience, che egli è in grado di alterare positivamente.

Estetica: Alterare l'aspetto estetico del microeolico in modo da renderlo accattivante e facilmente integrabile con l'ambiente circostante, sia urbano che rurale. Inoltre, consentire agli utenti di personalizzare l'impianto aumenterebbe l'investimento personale.

Manuali e Guide: Creare manuali di istruzioni chiari e facili da seguire, con immagini e diagrammi dettagliati. Dei video tutorial potrebbero essere molto utili.

App Mobile e Dashboard: Sviluppare un'applicazione mobile e una dashboard online che permettano agli utenti di monitorare in tempo reale la produzione di energia, lo stato di salute del dispositivo e le condizioni meteo, oltre che implementare un sistema di notifiche push per avvisare gli utenti di eventuali problemi, necessità di manutenzione o condizioni meteo che potrebbero danneggiare l'impianto, utilizzare grafici e infografiche per rappresentare i dati in modo chiaro.

Accessibilità: Assicurarsi che il design sia accessibile a tutti, incluse le persone con disabilità. Questo include il design fisico del microeolico (ad esempio, altezza regolabile) e l'accessibilità digitale delle app e dei siti web, progettando per un'ampia varietà di utenti, considerando anche le diverse competenze tecniche e preferenze culturali.

Facilità di Manutenzione: Progettare il microeolico in modo che sia facile da pulire e mantenere. I punti di accesso per la manutenzione dovrebbero essere facilmente raggiungibili e le istruzioni su come procedere dovrebbero essere molto chiare. Fornire un servizio clienti reattivo e disponibile, con supporto tecnico facilmente accessibile tramite chat, telefono o e-mail potrebbe potenziare questo aspetto.

Materiali Educativi: Offrire materiali educativi che spiegano i benefici del microeolico, il suo funzionamento e l'importanza delle energie rinnovabili. Questo può includere articoli, video, webinar, workshop e molto altro per diffondere le competenze necessarie, anche creando una comunità di utenti dove poter condividere esperienze, suggerimenti e risolvere problemi comuni.

Un designer che tenga conto di questi aspetti può migliorare notevolmente l'user experience e la comunicazione del progetto, rendendolo non solo più efficiente e diffuso, ma anche più gradevole e facile da usare per una vasta gamma di utenti. In particolare, la condivisione su ampia scala delle informazioni è il passo più importante per rendere accessibile questa tecnologia alle comunità più isolate e carenti delle competenze necessarie a sfruttarla.

12.2 - Progettare Nuove Soluzioni

STEP 1

Definire il Contesto

Per prima cosa, è mandatorio definire chiaramente il contesto all'interno del quale si vuole progettare, dunque il contesto geografico, culturale ed economico, le limitazioni legislative, le risorse eoliche (e/o altre risorse) disponibili e l'utente finale e le sue necessità.

STEP 2

Scegliere il Tipo di Microeolico

Una volta appurato il contesto, da esso possiamo dedurre quale soluzione sia più adatta tra un prodotto preassemblato, un kit o un progetto di autocostruzione implementabile dall'utente stesso.

STEP 3

Scegliere l'Utilizzatore

In base alle necessità dell'utente, la turbina potrà essere sfruttata per la sua produzione di energia meccanica o elettrica, il che richiede l'inserimento nel progetto di generatori, meccanismi di trasmissione del moto, pompe, accumulatori e/o altro.

STEP 4

Scegliere il Tipo di Turbina

Per fornire la massima energia disponibile è necessario scegliere una turbina adatta che sia in grado di sfruttare le risorse eoliche presenti, con dimensioni e architettura coerenti al contesto.

STEP 4



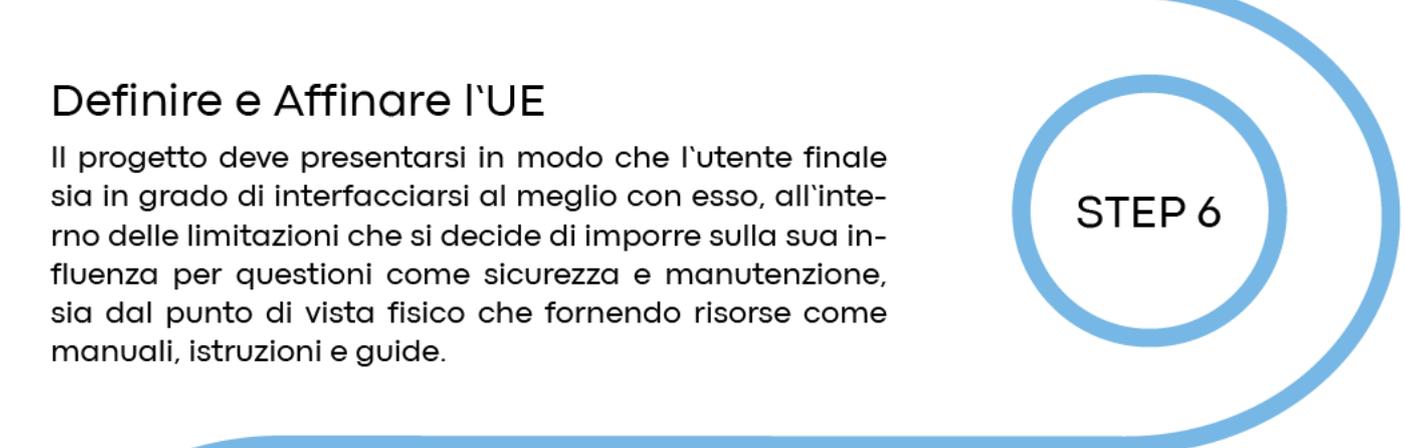
STEP 5

Scegliere i Materiali

La scelta dei materiali adatti deve essere basata sugli step precedenti, quindi in accordo con il contesto, il tipo di microeolico, l'utilizzatore e il tipo di turbina, trovando un accordo tra la massimizzazione delle prestazioni e le limitazioni del progetto.

Definire e Affinare l'UE

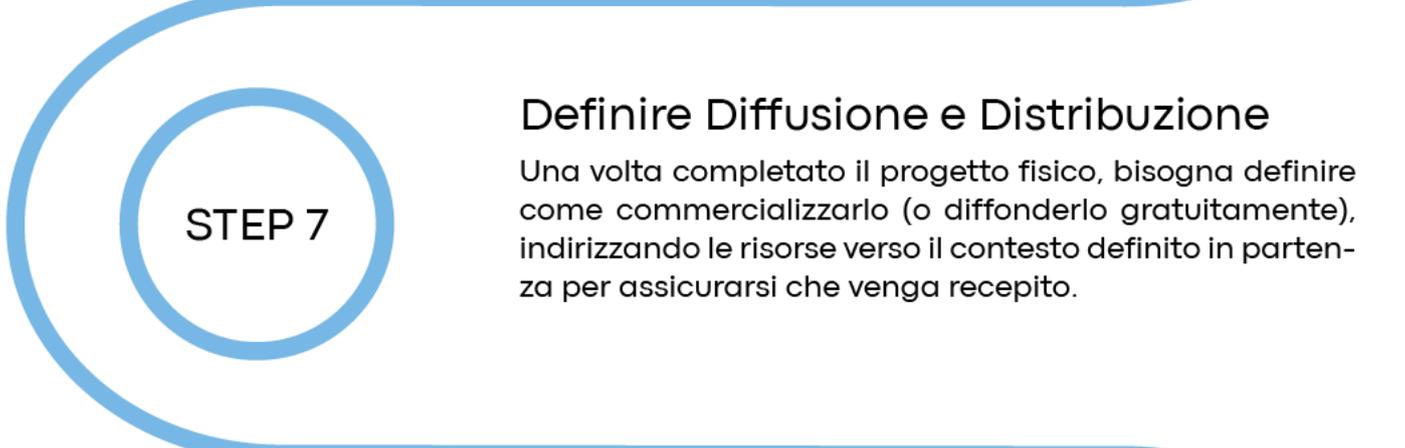
Il progetto deve presentarsi in modo che l'utente finale sia in grado di interfacciarsi al meglio con esso, all'interno delle limitazioni che si decide di imporre sulla sua influenza per questioni come sicurezza e manutenzione, sia dal punto di vista fisico che fornendo risorse come manuali, istruzioni e guide.



STEP 6

Definire Diffusione e Distribuzione

Una volta completato il progetto fisico, bisogna definire come commercializzarlo (o diffonderlo gratuitamente), indirizzando le risorse verso il contesto definito in partenza per assicurarsi che venga recepito.



STEP 7

Espandere il Progetto

In ultimo, è possibile espandere il progetto con ulteriori implementazioni, come risorse digitali, applicazioni, componenti aggiuntivi (se il progetto è modulare), supporto telefonico, eccetera.

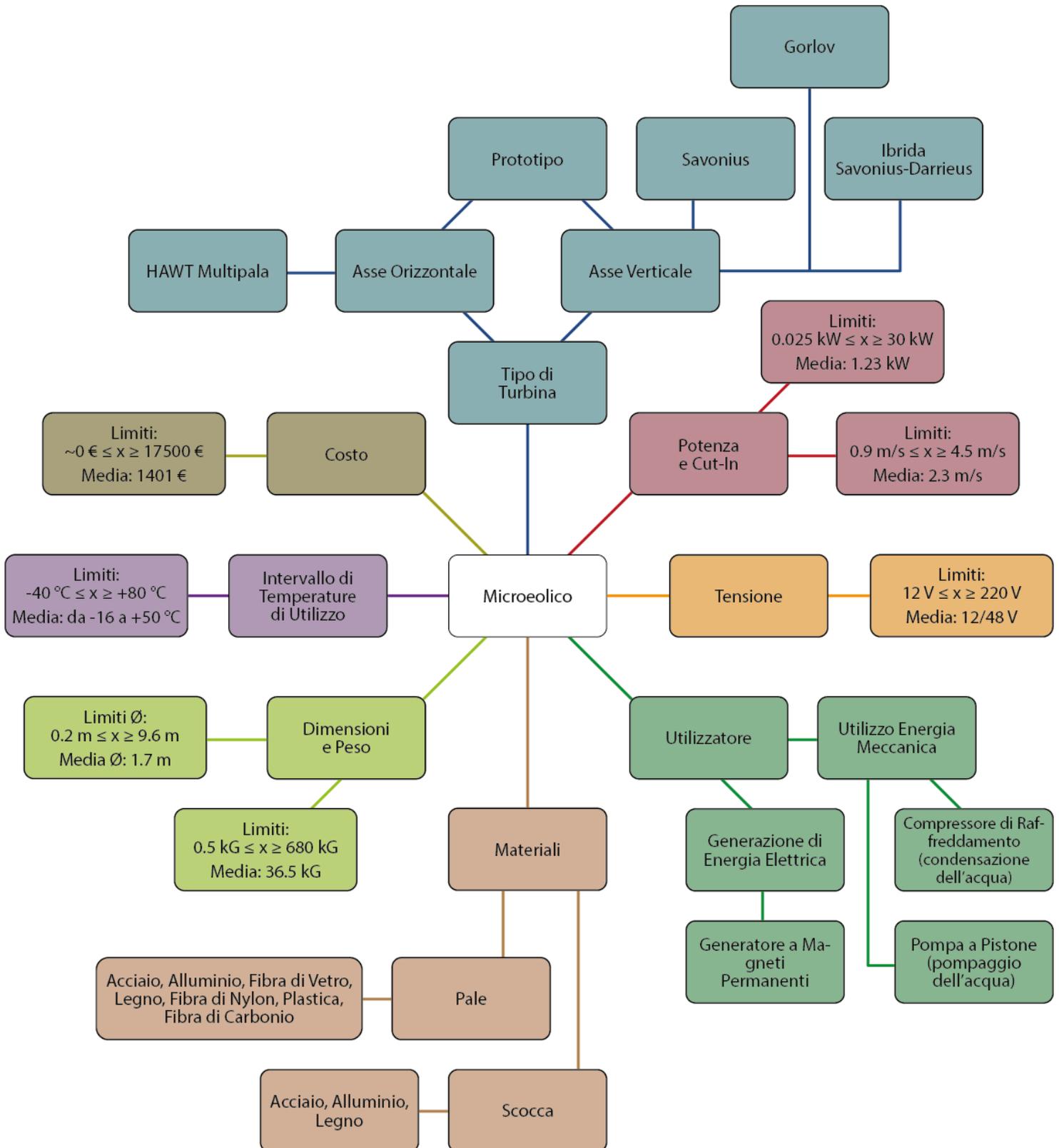


STEP 8

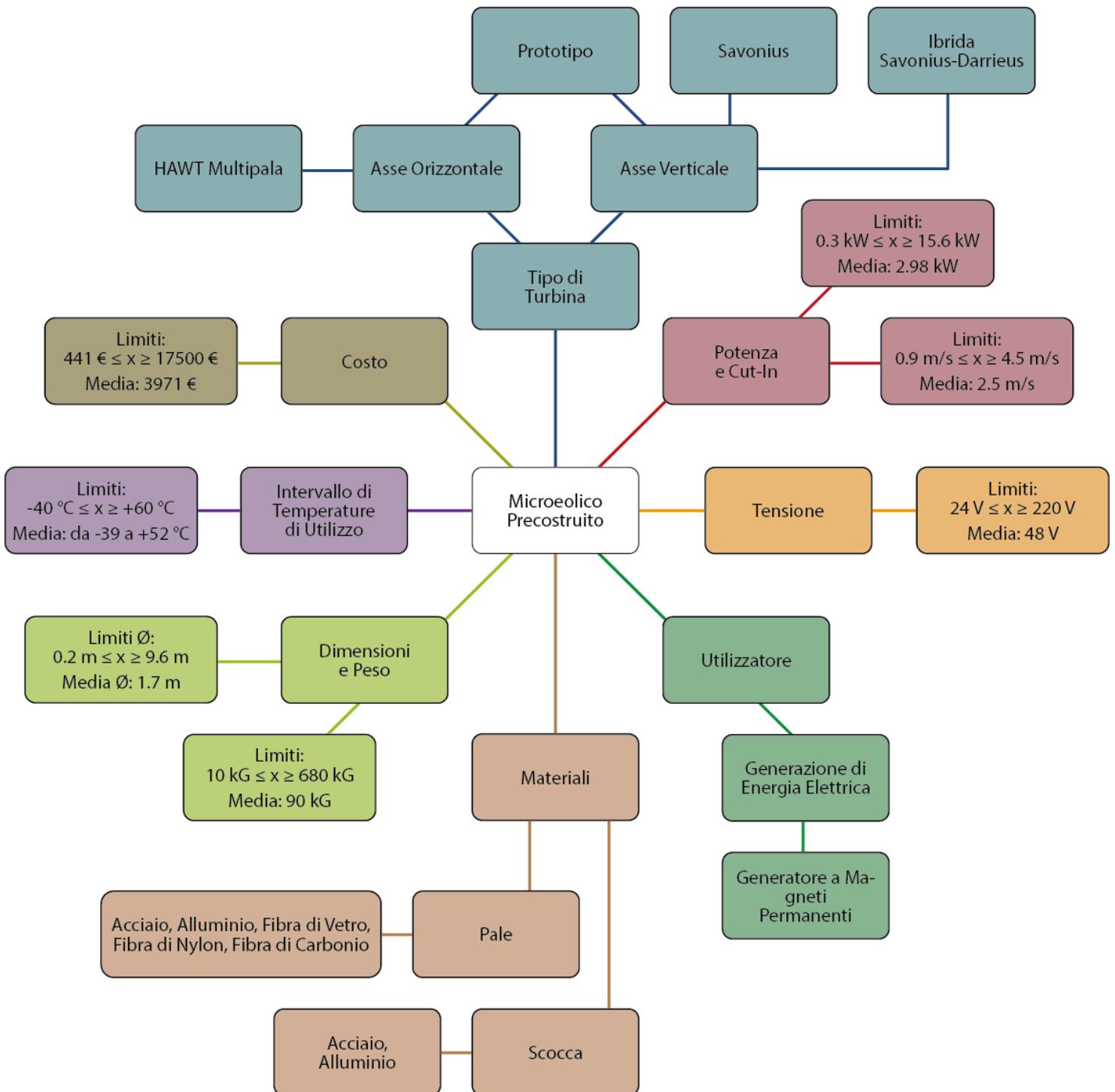
Conclusioni

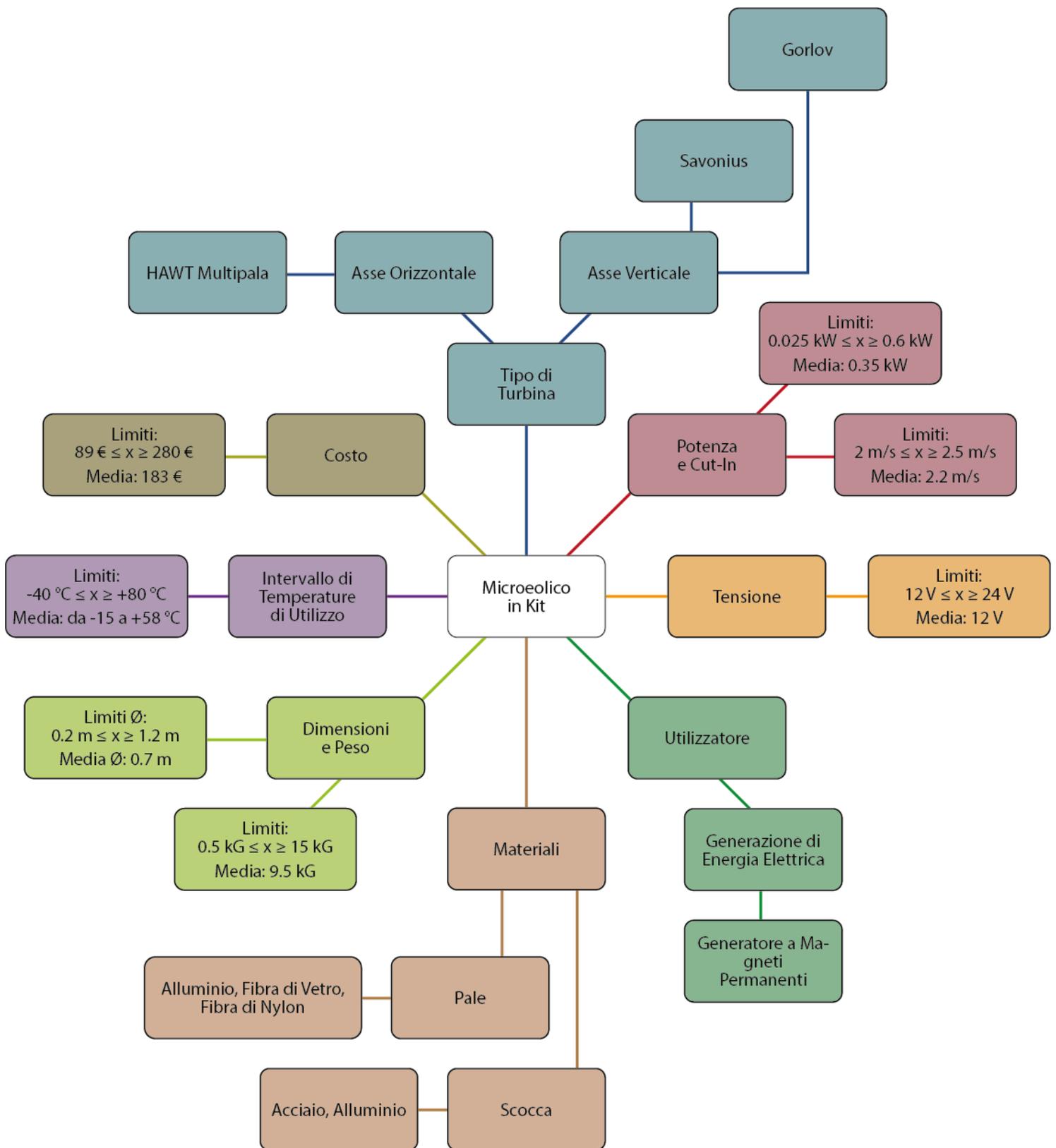
Conclusioni

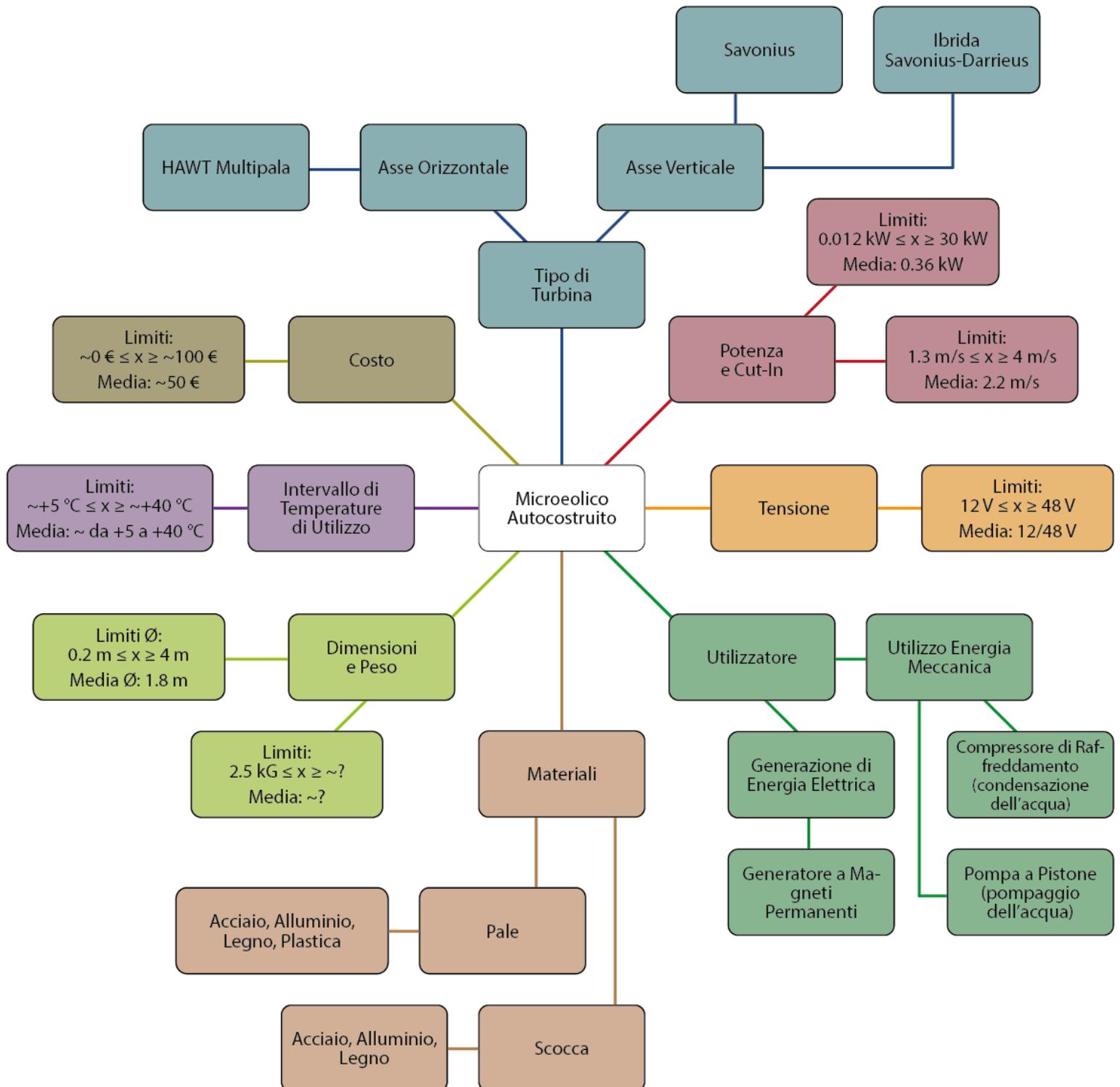
Da tutti i dati e le informazioni presentati e analizzati, è possibile stilare uno schema tassonomico del microeolico, da utilizzare come linea guida per la progettazione di nuove soluzioni, fornendo informazioni riguardanti i prodotti già presenti.



Allo stesso modo si può rimodulare lo schema inserendo solamente le informazioni riguardanti i casi studio del microeolico precostruito, in kit o autocostruito.







Per quanto riguarda invece le conclusioni teoriche, la raccolta e analisi dei vari casi studio ha messo in risalto alcuni punti importanti riguardo al microeolico in generale e al microeolico autocostruito in particolare.

Maturità della Tecnologia: Al momento della scrittura di questo documento, il microeolico è da considerarsi una tecnologia ancora in via di sviluppo. Il rapporto dimensione/resa risulta sfavorevole, nonostante la maggiore popolarità delle HAWT non è emersa una turbina considerabile dominant design e infine i costi iniziali, siano essi monetari o di competenze, non sono in linea con la resa rispetto ad altre opzioni come i combustibili fossili, specialmente per popolazioni più isolate / meno abbienti.

Risparmio Economico: Sebbene a lungo termine una turbina microeolica possa rendere un grande valore, l'investimento iniziale è consistente, e anche nel caso dell'autocostruzione, bisogna tenere conto dell'acquisizione di eventuali attrezzi e competenze, oltre che tempo, cosa di cui i casi studio non tengono conto, limitandosi al costo dei materiali. Il microeolico in kit si presenta come una via di mezzo notevole in questo caso.

Supporto alle Comunità in Difficoltà: Dai casi studio si denota che non è l'assenza di progetti il motivo per cui il microeolico viene raramente usato dalle comunità in questione, quanto più l'assenza di competenze necessarie al suo utilizzo. Una direzione progettuale interessante dovrebbe dunque essere rivolta a trovare una soluzione per permettere la diffusione delle informazioni, come fatto ad esempio da Piggott con il suo libro.

Sostenibilità Ambientale: Come già detto nel testo, se lo scopo di un individuo è ridurre la propria impronta ecologica, investire in altre opzioni come l'eolico vero e proprio (riducendo l'impronta della comunità) risulta un'opzione migliore.

In conclusione, per progettare nuove soluzioni in ambito microeolico, è necessario focalizzarsi precisamente sull'utente finale e da esso discernere le altre specifiche, in quanto lo spettro del microeolico è decisamente ampio, con differenze abissali tra pre-costruito e autocostruito in quasi ogni campo.

Bibliografia e Sitografia

Bibliografia e Sitografia

[1]

Pierluigi Malavasi, *L'impresa della sostenibilità. Tra pedagogia dell'ambiente e responsabilità sociale*, Vita e Pensiero, Italia, 2007

[2]

Totaro Giambattista, *La sostenibilità ecologica ambientale come presupposto per l'inclusione*, Youcanprint, Italia, 2022

[3]

<https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS>

[4]

<https://www.nrel.gov>

[5]

<https://www.enelgreenpower.com/it>

[6]

<https://www.energy.gov>

[7]

<https://www.enelgreenpower.com/it>

[8]

<https://www.energysage.com>

[9]

<https://cleanair.camfil.us/2018/03/14/developing-countries-struggling-air-pollution-can-reduce-emissions/#:~:text=Though%20every%20country%20in%20the.their%20pollution%20problems%20are%20worse>

[10]

S. Mathew, G.S. Philip, *Comprehensive Renewable Energy (Second Edition)*, Elsevier, 2012

[11]

Walter Franco, *Ingegneria Umanitaria*, Corso di laurea in design e comunicazione, PoliTO, 2023

[12]

Gerard Martin; Jeremie Roux, *Wind Turbines: Types, Economics and Development*, Nova Science Pub Inc., USA, 2010

[13]

<https://www.repsol.com/en/energy-and-the-future/future-of-the-world/wind-turbine/index.cshtml>

[14]

https://www.researchgate.net/publication/318562270_Optimization_of_Small_Low_Cost_Vertical_Axis_Wind_Turbine_for_Private_and_Institutional_Use

[15]

Natale D'Armetta, *Il Minieolico: Tecnologia e Applicazioni*, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Palermo, 2004/05, Relatori: Maurizio Cellura e Marco Beccali

[16]

S. Sharma, K. Pradeepkumar, N. Dhinesh, Y. A. Anbarasu, S. Vignesh and V. Kirubakaran, *Development of micro wind turbine for rural livelihood improvement*, 2017 International Conference on Advances in Electrical Technology for Green Energy (ICAETGT), Coimbatore, India, 2017

[17]

<https://www.makemu.it>

[18]

<https://www.grecoenergy.com/microeolico>

[19]

<https://etneo.com>

[20]

<http://www.breezergy.com/index.html>

[21]

<https://www.halo.energy>

[22]

<https://www.bergey.com>

[23]

<https://benincasainnovazioni.it/blog/airon-turbine-eoliche-innovative>

[24]

<https://www.vevor.it>

[25]

<https://www.cncest.store>

[26]

<https://www.fruugo.it>

[27]

<https://cdning01.kitneed.it>

[28]

<https://windempowerment.org>

[29]

<https://pureselfmade.com>

[30]

https://www.youtube.com/watch?v=ti9FkEg8G_Y&t=149s

[31]

<https://www.gruppoindia.it>

[32]

<https://thepremierdaily.com/wind-turbine-electricity-drinking-water/>

[33]

https://www.youtube.com/watch?v=d_jP1oyyc1s&t=1s

[34]

<https://www.indiatimes.com/technology/news/indian-inventor-creates-wind-turbine-614460.html>

[35]

<https://www.thebetterindia.com/243765/andhra-pradesh-engineer-innovation-wind-turbine-generates-electricity-drinking-water-ros174/>

[36]

<https://www.youtube.com/watch?v=oFIXxXIMJBg>

[37]

<https://www.gruppoindia.it>

[38]

<https://www.printables.com/it/model/124399-project-aeolus-vertical-axis-wind-turbine-v2>

[39]

<https://www.aria-srl.it>

[40]

<https://vikaspedia.in/energy/energy-production/wind-energy/wind-energy-for-water-pumping>

[41]

M. Velasco, O. Probst, S. Acevedo, *Theory of wind electric pumping*, Department of Electrical Engineering, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, Mexico, 2003

[42]

Joseph B. Utrick, *Energy and Buildings*, Nova Science Pub Inc., Regno Unito, 2009

[43]

Sara Louise Walker, *Building mounted wind turbines and their suitability for the urban scale*, School of the Built Environment, Northumbria University, Newcastle Upon Tyne, Regno Unito, 2010

[44]

Marloes Caduff et al., *Wind Power Electricity: The Bigger The Turbine, The Greener The Electricity?*, Istituto di Ingegneria Ambientale di Zurigo, Svizzera, 2012

[45]

Lidia Lombardi et al., *Renewable Energy*, Università Nicolò Cusano di Roma, Italia, 2018

[46]

https://www.researchgate.net/figure/Fig-A2-Tip-speed-ratio-vs-Power-Coefficient-for-different-rotor-topologies-Data-from_fig100_343053714

[47]

<https://www.linkedin.com/pulse/small-wind-turbine-market-size-2023-share-latest/>

Iconografia

Iconografia

Figura [1]

<https://fontidienergiarinnovabile.it/wp-content/uploads/2023/06/attivita-sostenibili.jpg>

Figura [2]

<https://ventitrenta.it/wp-content/uploads/2018/09/Obiettivi-per-lo-sviluppo-sostenibile.jpg>

Figura [3]

https://www.shutterbug.com/images/styles/960-wide/public/photo_post/%5Buid%5D/IMG_1496-edit-1.jpg

Figura [4]

https://live.staticflickr.com/4110/5178307545_b648715181_b.jpg

Figura [5]

<http://www.consulente-energia.com/ima/rge14rid.jpg>

Figura [6]

<https://www.infobuildenergia.it/wp-content/uploads/2024/01/eolico-onshore-e-eolico-offshore.jpg>

Figura [7]

<https://www.farmfoundation.org/wp-content/uploads/2022/01/iStock-585518028.jpg>

Figura [8]

<https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1364032122004324-gr8.jpg>

Figura [9]

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/55/Savonius_wind_turbine.jpg

Figura [10]

https://www.owellindustries.com/data/thumb/res/en/20210508/af532d565297c38e.jpg_20210508163840_720x600.jpg

Figura [11]

https://www.lancaster.ac.uk/users/oed-2022ugconference/wp-content/uploads/ug2022/w9s6gktv/Castellani_F._Astolfi_D._Peppoloni_M._Natili_F._Butt_D._and_Hirschl_A._2019._Experimental_vibration_analysis_of_a_small_scale_vertical_wind_energy_system_for_residential_use._Machines_7_2_.png

Figura [12]

https://ejeng.org/public/journals/1/submission_2936_4287_c_overImage_en_US.png

Figura [13]

https://www.energiaitalia.news/wp-content/uploads/2023/03/shutterstock_2064279029-scaled.jpg

Figura [14]

https://media-assets.wired.it/photos/61825a3a3a15f540710ebeb6/master/w_1600%2Cc_limit/GettyImages-1228555835.jpeg

Figura [15]

https://www.fotovoltacosulweb.it/immagini/upload/2014/05/bat_6.jpg

Figura [16]

<https://www.repstatic.it/content/contenthub/img/2021/07/13/122005353-febe4e44-94c4-4bf9-ac1e-b213885706fc.jpg>

Figura [17]

https://m.media-amazon.com/images/I/41rRw1RdZvL._AC_UF894,1000_QL80_.jpg

Figura [18]

<https://assets.bizclikmedia.net/1800/46a1274d6559a346fae92f7979b12272:1850d73aa8e6d6ed95b4ac05e7614b36/neom-atla0-7.JPG>

Figura [19]

<https://assets.newatlas.com/dims4/default/092fec5/2147483647/strip/true/crop/1620x1080+150+0/resize/1200x800!/quality/90/?url=http%3A%2F%2Fnewatlas-brightspot.s3.amazonaws.com%2Farchive%2Fsandia-exascale-wind-turbine-design-1.jpg>

Figure [20] [21] [22] [23] [24] [25] [26]

<https://www.makemu.it>

Figura [27]

<https://www.grecoenergy.com/microeolico>

Figure [28] [29] [30] [31] [32] [33] [34] [35]

<https://etneo.com>

Figure [36] [37] [38] [39]

<http://www.breezergy.com/index.html>

Figure [40] [41] [42]

<https://www.halo.energy>

Figure [43] [44] [45]

<https://www.bergey.com>

Figure [46]

<https://benincasainnovazioni.it/blog/airon-turbine-eoliche-innovative>

Figure [47] [48] [49] [50]

<https://www.vevor.it>

Figura [51]

<https://www.cncest.store>

Figura [52]

<https://www.fruugo.it>

Figura [53] [54]

<https://cdnimg01.kitneed.it>

Figura [55]

<https://windempowerment.org/wp-content/uploads/2020/02/piggott5-1024x683.jpg>

Figura [56]

<https://windempowerment.org/wp-content/uploads/2020/02/piggott7-683x1024.png>

Figura [57]

<https://is1-ssl.mzstatic.com/image/thumb/Publication116/v4/8c/32/f8/8c32f8c5-96fd-c1b0-7413-e1a9487aae8e/9781311654106.jpg/1200x630wz.png>

Figura [58]

<https://pureselfmade.com/wp-content/uploads/P5010001-1800x1350.jpg>

Figure [59] [60]

https://www.youtube.com/watch?v=ti9FkEg8G_Y&t=149s

Figura [61]

https://www.gruppoindia.it/wp-content/uploads/2023/03/AP_Guntur_005.jpg

Figure [62] [63]

<https://www.youtube.com/watch?v=oFIXxXIMJBg>

Figure [64] [66] [67] [68]

https://www.gruppoindia.it/wp-content/uploads/2023/03/AP_Guntur_005.jpg

Figure [69] [70]

https://media.printables.com/media/prints/124399/images/1198223_3a4ebd01-b07b-4675-b57e-30ecfca83585/thumbs/inside/1600x1200/png/large_display_vawt_air_scoop_v2_2021-may-13_05-55.webp

Figure [71] [72] [73] [74]

<https://www.aria-srl.it>

Figura [75]

https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-windmill-water-pumping-system_fig1_286921692

Figura [76]

Joseph B. Utrick, *Energy and Buildings*, Nova Science Pub Inc., Regno Unito, 2009

Figure [77] [78]

<https://www-sciencedirect-com.ezproxy.biblio.polito.it/science/article/pii/S0960148117306225?via%3Dihub>

Figura [79]

https://www.researchgate.net/figure/Fig-A2-Tip-speed-ratio-vs-Power-Coefficient-for-different-rotor-topologies-Data-from_fig100_343053714