

Mediclima 2013 GFTA

MEDICLIMA 2013

ENERGIA ed AMBIENTE: la Sardegna del futuro

Mini e micro eolico

Relatore
Prof Ing. Martino Marini

DADU, Dipartimento
di Architettura, Design e Urbanistica
Università di Sassari

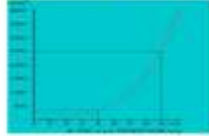
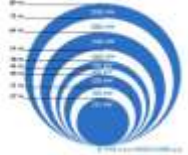


Principi di funzionamento 1

L'energia resa disponibile dal vento corrisponde all'energia cinetica della massa d'aria ($M = \rho \cdot A \cdot v$) che interagisce con il rotore nell'unità di tempo

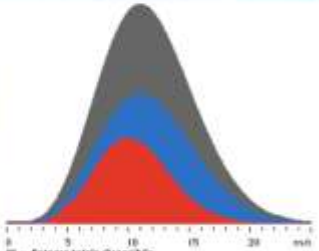
$$P_e = \rho \cdot M \cdot \left(\frac{1}{2} v^3 \right) = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3$$

L'energia varia quindi con il cubo della velocità del vento ed il quadrato del diametro del rotore

Principi di funzionamento 2

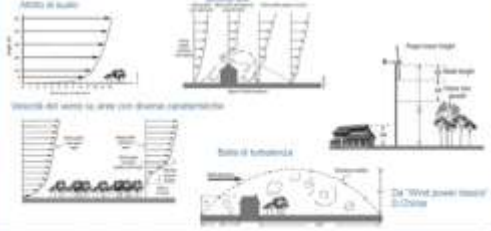
In una situazione reale non è possibile usufruire di tutta l'energia cinetica del vento: la massima frazione utilizzabile, in accordo con la legge di Betz, è pari a circa il 59%. Entra poi in gioco il rendimento globale del generatore eolico.



■ = Potenza totale disponibile
 ■ = Potenza utilizzabile (secondo Betz)
 ■ = Potenza fornita dalla turbina

Posizionamento generatore eolico

Importanza del sito e dell'altezza del generatore eolico



European Onshore Wind Atlas



Mediclima 2013 GFTA

Ventosità media annua (75 m, livello del mare)

Velocità del vento



Fonte: RSE - GSE

Mediclima 2013 GFTA

Generatore ad asse orizzontale
(horizontal axis wind turbine HAWT)



Il rotore è costituito da pale (solitamente 2-3) attaccate ad un mozzo. Le pale possono avere un orientamento fisso o mobile.

Il rotore è collegato, attraverso un moltiplicatore di giri, ad un alternatore che trasforma l'energia meccanica in elettrica.

Un sistema di controllo e di arresto gestisce il funzionamento del generatore nelle diverse condizioni di vento.

La navicella viene orientata in modo tale che l'asse del rotore risulti allineato con la direzione del vento.

Substantive documentation: [DOE](http://www.doe.gov)

Generatore ad asse verticale (Darrieus)
(Vertical Axis Wind Turbine VAWT)



Vertragsgesetz

- Può essere installato direttamente sul terreno
- Può catturare il vento da ogni direzione

Swarteggi:

- Non usufruisce della velocità ottimale del vento
- Ha rendimenti non elevati;

Mini generatori eolici commerciali



Aspetti favorevoli all'energia eolica

- Assenza di emissioni nocive e climalteranti
- Tecnologia matura con ulteriori prospettive di sviluppo
- Competitività economica e continua riduzione dei costi
- Impianti affidabili (scarsa manutenzione, lunga vita)
- Potenzialità di sviluppo di una filiera produttiva nazionale

Prossimi sviluppi tecnologici dell'eolico

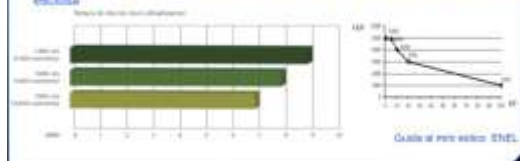
- Maggiore economicità e semplicità di installazione e gestione negli impianti "mini"
- Maggiore durata dei componenti (es. resistenza alla corrosione in ambiente marino)
- Estensione dei limiti di cut-in (mini-eolico) e cut-off del rotore
- Maggiore flessibilità di connessione ed integrazione alla rete elettrica (smart grid)
- Sistemi di accumulo dell'energia disponibile in eccesso
- Negli impianti di grossa taglia, incremento della potenza (e delle dimensioni) degli aerogeneratori onshore e offshore
- Sviluppo delle tecnologie offshore

Mediclima 2013 GFTA

Costi ed incentivi per un impianto minieolico in Italia

-Il D.M. del 18/12/2008 prevede un incentivo per gli impianti mini-idrici connessi alla rete elettrica con potenza compresa tra 1 e 200 kW. L'incentivo, di € 0,30 per ogni kWh immesso in rete ha la durata di 15 anni ed è erogato dal Gestore dei Servizi Energetici (GSE).

-un sistema mini eolico, con potenza compresa fra 5 kW e 20 kW, ha un costo previsto (rif. ENEL) compreso fra 5.000 e 3.000 Euro per kW installato. IVA esclusa



Mediclima 2013 GFTA

Grande e piccolo eolico

- La produzione di energia elettrica dal vento è genericamente associata all'immagine di siti eolici sui crinali o in mare aperto, laddove vi sono le migliori condizioni climatiche, orografiche e ambientali per uno sfruttamento della risorsa vento a fini industriali (produzione di energia elettrica per la vendita).
- Però molto spesso, passeggiando per i porti, si notano imbarcazioni dotate di piccoli generatori eolici, del diametro non superiore a 1 metro, che vengono impiegati per caricare le batterie a motore fermo.
- Questi sistemi sono in grado di alimentare grazie al vento le piccole utenze di bordo (frigorifero, quadro di controllo, luci, etc.) inserendosi perfettamente nel contesto in cui sono installate.

Crescita eolico

- L'energia eolica si sta imponendo sul mercato mondiale e sul mercato europeo come la più importante fonte rinnovabile dopo l'idroelettrico.
- La tabella dell'EWEA (European Wind Energy Association) evidenzia l'importanza del settore che copre il 3,8% del fabbisogno elettrico europeo e la crescita a due cifre in quasi tutti i paesi.

Country	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Algeria	17	34	148	411	608	102	192	91	90	120	169	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	
Bolivia	11	27	37	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
Cameroon	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
China	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Germany	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	
France	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Italy	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Japan	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
South Korea	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
Spain	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	
Sweden	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
United States	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Portugal	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Ukraine	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Poland	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Belgium	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Canada	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
United Kingdom	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
India	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
China	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
United States	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Germany	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
France	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Italy	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Spain	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Ukraine	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Poland	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Belgium	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Canada	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
United Kingdom	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
India	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
China	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
United States	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Germany	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
France	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Italy	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Spain	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Ukraine	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Poland	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Belgium	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Canada	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
United Kingdom	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
India	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
China	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
United States	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Germany	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
France	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Italy	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Spain	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Ukraine	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143										

Mediclima 2013 GFTA

Problemi del microeolico

- Per il microeolico, con un potenziale di espansione notevolissimo, ci sono da risolvere alcuni problemi basilari:
 - a) la turbina eolica è un dispositivo meccanico rotante che viene visto, giustamente, come un oggetto potenzialmente pericoloso. Ci sono quindi resistenze psicologiche che possono essere in parte risolte dall'utilizzo di turbine eoliche ad asse verticale.
 - b) La pala eolica deve essere utilizzata alla massima distanza dal suolo possibile perché il vento aumenta rapidamente con la quota. Bisogna quindi trovare adeguati supporti, che possono essere invasivi per le strutture abitative.
 - c) I costi sono più alti e le efficienze ridotte ma a questo si può rimediare con uno studio accurato dei materiali e con disegni innovativi delle pale e con controllo attivo del sistema.

Piccoli sistemi 1

- Microsistemi (della potenza di qualche kW per cui non esistono vincoli di installazione, se non precauzione in luoghi di elevatissimo pregio) sono in grado di produrre energia elettrica allo stesso modo, per continuità e potenza di picco, dei generatori fotovoltaici (PV).
- E' opportuno pensare a micro-sistemi eolici per produrre energia elettrica su piccola scala in modo sostenibile e compatibile con l'ambiente, magari accoppiati a Pannelli Fotovoltaici.
- Le Pubbliche Amministrazioni e i professionisti assumono un ruolo importante nel processo di impiego di queste opportunità: i responsabili dell'impostazione delle linee guida in tema di energia, ambiente e territorio possono favorire la diffusione nel territorio di piccoli impianti da Fonti Energetiche Rinnovabili.

Piccoli sistemi 2

- Attraverso gli strumenti della programmazione, della facilitazione dell'iter autorizzativi, dello stanziamento di fondi, dell'adesione a progetti e iniziative programmatiche su base locale (Campaign for Take-Off : Iniziative per lo Sviluppo)
- Dall'altro lato i professionisti hanno i compiti di individuare quali potenzialità offra il territorio, studiare come integrare questi sistemi nell'ambiente tipico locale, definire progetti-pilota che concorrano alla definizione e diffusione di uno standard applicabile su base locale.

Applicazioni del microeolico 1

- In Italia esistono zone isolate dal punto di vista energetico poiché non risulta economicamente conveniente portare fino ad esse la rete elettrica; pur se in esigua misura esistono quindi utenze civili private o infrastrutture turistiche (agriturismi, fattorie, campeggi, rifugi, utenze domestiche isolate in montagna, al mare o su isole) non collegate alla rete. In questo caso sono utilizzabili aerogeneratori di piccola taglia in combinazione con sistemi di accumulo (batterie) e sistemi ibridi (con pannelli fotovoltaici e generatori diesel).
- Altre applicazioni sono legate all'alimentazione di sistemi di telecomunicazione (ripetitori, antenne di telefonia mobile installate a distanza dalla rete elettrica).
- Sistemi di pompaggio e drenaggio: siti da bonificare

Applicazioni del microeolico 2

- Utenze di illuminazione pubblica: strade, viadotti, gallerie, fari, piattaforme, impianti semaforici, ecc.
- Alimentazione di utenze isolate all'interno di aree naturali protette: il Protocollo di Intesa tra ENEL, Legambiente, Federparchi e il Ministero dell'Ambiente, siglato nel febbraio 2001, ha previsto che i crescenti fabbisogni energetici all'interno dei parchi dovuti al turismo ed al ripopolamento delle zone limitrofe possano essere soddisfatti attraverso applicazioni di FER (Fonti Energetiche Rinnovabili) di piccola taglia.

Mediclima 2013 GFTA

Piccole macchine ad asse verticale 1

- Limitandoci all'asse verticale il mercato offre varie soluzioni



- Si tratta del Giromill, del Savonius e della turbina Gorlov. La prima e la terza possono essere viste come evoluzioni della turbina Darrieus.

Mediclima 2013 GFTA

Piccole macchine ad asse verticale 2

- La combinazione Darrieus-Savonius per superare i problemi di autoavviamento della seconda



- Uno dei limiti del microeolico sta nella bassa "efficienza" delle turbine usate. Il Savonius parte con venti anche modesti (1-2 m/s) ma ha una "efficienza" inferiore al 20% mentre Darrieus ha una "efficienza" migliore (intorno al 25%) ma opera solo con venti superiori ai 5 m/s.

Piccole macchine ad asse verticale 3

- Sono stati proposti sistemi basati sul concetto di pala elicoidale (ad es. un brevetto 2001 statunitense di Gorlov) che sembrano candidati ideali per installazioni di bassa potenza.

- Si propongono all'attenzione per le seguenti caratteristiche:

- Alta efficienza (circa 30%)
- Leggerezza
- Estetica pregevole



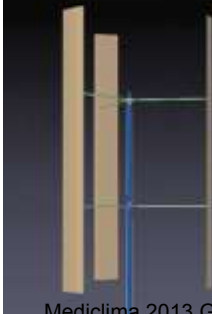
Strutture sfruttabili

- L'utilizzo di piccoli generatori eolici ad asse verticale può essere integrato a pali preesistenti
- E' possibile sfruttare potenzialmente i pali della luce attualmente in uso. Una sostituzione del palo può essere necessaria ma il punto essenziale sta nello sfruttare siti e strutture già predisposti.
- Di tutte le strutture esistenti (pali elettrici, tralicci, antenne, tetti di condomini) i pali della luce sembrano le strutture più adatte.
- Anche i tetti di case alte possono essere sfruttati con generatori eolici verticali utilizzando pali di lunghezza modesta 3-4 metri per rendere sicuro l'accesso al tetto.

Wind farm urbane

- Design innovativo: è essenziale scegliere delle soluzioni e sviluppare dei design tali da rendere non solo accettabile ma al limite appetibile la soluzione proposta.
- Occorre un accordo con gli enti locali per la gestione delle wind factories distribuite. I comuni piccoli e grandi italiani si trovano a gestire parchi di illuminazione di grandissime dimensioni.
- Il parco di Torino consta per esempio di 79.000 punti luce, quello di Genova di 50.000. Il numero di riferimento che si utilizza è di un punto luce ogni dieci abitanti.

VAWT di media taglia



- Adatte per il contesto urbano
- 2m - 20m
- 2kW - 100kW
- Spazio per soluzioni innovative

Mediclima 2013 GFTA

VAWT di media taglia



- Adatte per il contesto urbano
- 2m - 20m
- 2kW - 100kW
- Spazio per soluzioni innovative

Mediclima 2013 GFTA

Turbine urbane



- Esempio di installazione urbana a Monaco di Baviera

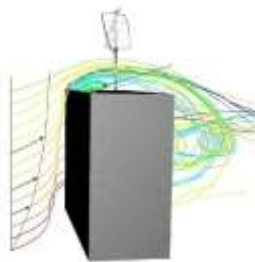


Turby (Netherlands)



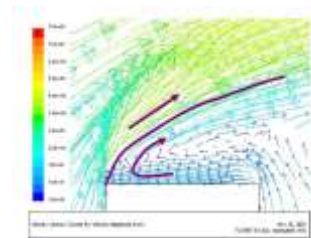
Flussi ventosi urbani 1

- Come il vento passa attraverso gli edifici ed altri ostacoli nelle vicinanze degli edifici il flusso viene distorto ed aumenta considerevolmente la sua turbolenza
- Nelle figure (source: TU Delft) si visualizza il flusso ventoso sopra un edificio.
- La turbina dovrebbe essere piazzata a centro tetto dove il vento è più forte e la turbina e fuori dalle aree turbolente



Flussi ventosi urbani 2

- Le frecce corte e il colore blu indicano venti deboli.
- Le frecce lunghe indicano i venti forti e col rosso sono indicati i venti massimi quasi immuni da deviazioni
- Questo esempio di calcolo fa vedere la complessità del flusso in situazioni di questo tipo



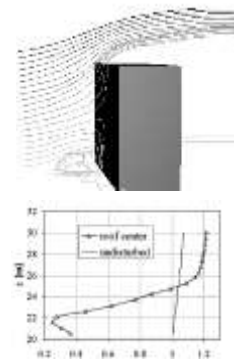
VAWT e HAWT con flussi sbiechi

- Dal momento che la corrente ventosa su un tetto non è orizzontale le turbine eoliche su un tetto operano con un flusso sbieco. Per questa ragione è stato effettuato uno studio del comportamento di una turbina Darrieus ad H con flusso sbieco
- Le misure hanno mostrato che la turbina Darrieus ad H fornisce una potenza superiore per flussi sbiechi. Le misure sono state confrontate con un modello basato sul disco attuatore e l'elemento di pala che ha previsto ugualmente un aumento della potenza estratta.
- Le turbine ad asse orizzontale invece danno una potenza minore e per questo le VAWT in flussi complessi sono da preferire

Mediclima 2013 GFTA

Misure e modelli di calcolo

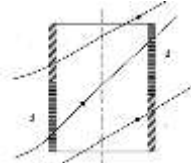
- Sono state fatte delle misure in galleria del vento e dei calcoli con un modello semplificato
- Si noti come il flusso è molto impoverito sul tetto.
- L'accordo tra misure e modellizzazione non è soddisfacente ma l'andamento generale è previsto
- Il modello in effetti può cogliere gli effetti globali più che i dettagli



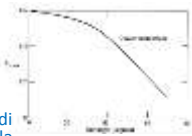
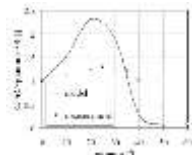
Mediclima 2013 GFTA

Prestazioni con flussi sbiechi

- In effetti poi l'angolo γ è da intendersi medio dell'attraversamento.
- Comunque si ha in ogni caso un certo incremento per angoli non troppo grandi



- Al contrario, secondo la classica teoria di Glauert, il CP massimo in una HAWT cala



Asse di rotazione e vento

- Il principio di funzionamento delle turbine eoliche ad asse verticale è lo stesso di quelle ad asse orizzontale. Entrambe sfruttano l'azione di portanza su un profilo aerodinamico per captare l'energia del vento e trasferirla su un asse.
- In effetti però le differenze sono profonde. Nelle turbine ad asse orizzontale l'asse di rotazione della macchina è allineato con la direzione del vento. Nelle turbine Darrieus esso è ortogonale al vento.
- Queste macchine non debbono essere quindi orientate. La direzione del vento è indifferente per le turbine ad asse verticale (VAWT: vertical axis wind turbines).

Darrieus a pale curve

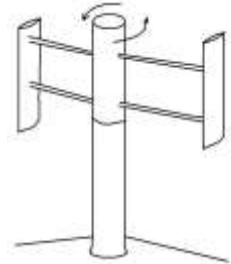


Reale Educativa 11m Darrieus, rated at 10 kW in a 12 m/s wind

- La configurazione originale è quella a pale di forma circa parabolica denominata "troposkein" corrispondente a quella assunta da una corda che ruoti attorno ad un asse
- In tal modo non servono le razze di supporto
- Le turbine a pale dritte ne hanno bisogno

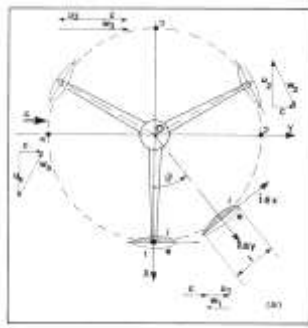
Altre turbine Darrieus

- Se le pale sono dritte, servono razze di sostegno ma la configurazione è semplicissima (turbina ad H o giromill)
- Sono state pensate anche turbine a configurazione variabile (ad ombrello ovvero con pale a V, Musgrove)
- Se con un leveraggio il calettamento viene fatto variare durante la rotazione si ha il "cyclogiro"
- E' una soluzione aerodinamicamente vantaggiosa che ha trovato poche applicazioni



Principio di lavoro

- Si considera una turbina a pale dritte indefinite senza razze (bidimensionale)
- Nel sistema assoluto si presentano i triangoli delle velocità in 4 posizioni evidenziando la forte variazione dell'angolo di incidenza



Mediclima 2013 GFTA

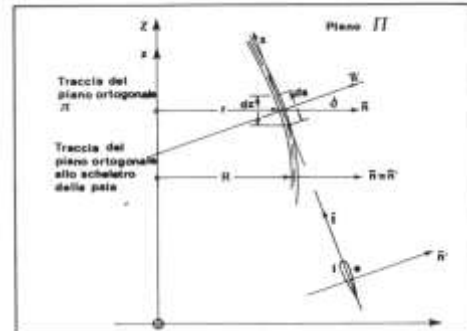
Incidenza ciclica

- Nelle turbine ad asse verticale si utilizzano profili simmetrici (NACA 0012, NACA 0015 ecc...) diversamente dalle turbine ad asse orizzontale.
- Inoltre durante la rotazione della pala l'angolo di incidenza varia continuamente.
- La turbina ad asse verticale funziona in condizioni di flusso relativo variabile (ciclico) anche in presenza di vento (assoluto) costante in direzione e intensità.
- Infatti l'azione aerodinamica dipende dalla velocità relativa e non da quella assoluta

Mediclima 2013 GFTA

Pale di scheletro curvo

- La figura già vista è sufficiente per le turbine Darrieus a pale verticali dritte. Più in generale se la normale all'asse della pala presenta un angolo δ rispetto alla direzione orizzontale
- L'azione aerodinamica è prodotta dalla sola componente normale alla pala (valore efficace).
- Quindi nel caso di pale verticali $\delta=0$ e la componente efficace è direttamente quella orizzontale da moltiplicare per $\cos(0)=1$.
- In generale invece occorre moltiplicare per $\cos\delta < 1$ ed una parte della corrente non agisce aerodinamicamente scaricandosi lungo l'asse della pala stessa. L'azione è sul piano di traccia n' anziché sul piano di traccia n

Azione efficace**Triangolo delle velocità'**

- Il triangolo delle velocità sulla pala, tipico dello studio delle macchine, viene analizzato considerando le configurazioni che assume durante la rotazione di una delle pale.
- Esso è formato dalla velocità assoluta c del vento, assunta costante in tutti i punti, dalla velocità di trascinamento u , anch'essa supposta costante, e dalla conseguente velocità relativa w .
- Vale la relazione vettoriale generale $\underline{c} = \underline{u} + \underline{w}$.
- Dal punto di vista relativo è come se la velocità assoluta c ruotasse attorno alla pala. Il punto di vista relativo è molto utile e può essere verificato confrontando i triangoli delle velocità nei punti cardinali nel sistema assoluto

Sistema relativo

- Nel sistema relativo è come se il vento ruotasse attorno alla pala con verso opposto a quello di rotazione della pala stessa nel sistema assoluto
- La pala ruotava in senso antiorario ed il vento in senso orario
- In 2 il vento è come se arrivasse dalla faccia interna della pala

**Azione aerodinamica 1**

- Essendo θ l'angolo di rotazione valgono evidentemente le seguenti relazioni:

$$w_n = c_n = c \sin \theta$$

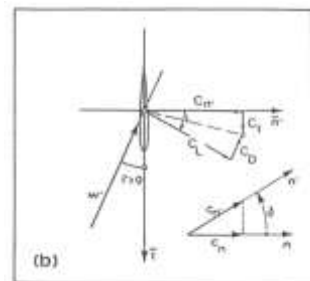
$$w_t = c_t = c \cos \theta$$

- n e t sono i versori indicati nel sistema assoluto ed in quello relativo.
- L'azione aerodinamica sulla sezione di pala può essere scomposta in una azione in direzione t che muove la pala ed in una azione secondo n che sollecita le razze.
- I coefficienti di azione tangenziale C_t e normale C_n sono le forze relative adimensionalizzate con la pressione dinamica

Mediclima 2013 GFTA

Azione aerodinamica 2

- La portanza L e la resistenza D sono normali e parallele alla velocità relativa w .
- In figura è mostrato il legame geometrico tra le azioni normale - tangenziale e portanza - resistenza cioè tra i relativi coefficienti
- L'incidenza è positiva sul lato interno della pala



Mediclima 2013 GFTA

Rapporto specifico di velocità

- Essendo la componente efficace quella normale diretta secondo n' , possiamo scrivere:

$$w' = w_t \vec{t} + w_n \vec{n} = (c \cos \vartheta - u) \vec{t} + c \sin \vartheta \cos \delta \vec{n}$$

- Introducendo il rapporto specifico di velocità $\Lambda = u/c$ la velocità relativa efficace vale:

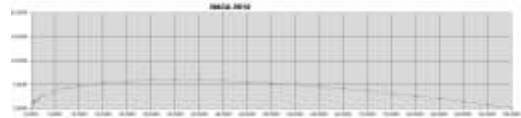
$$w' = c \sqrt{(\Lambda - \cos \vartheta)^2 + (\sin \vartheta \cos \delta)^2}$$

- L'angolo di incidenza, d'altra parte vale, sempre in base al triangolo di velocità:

$$\tan(\tau') = \frac{c_{n'}}{w_t} = \frac{\sin \vartheta \cos \delta}{\Lambda - \cos \vartheta}$$

Profili simmetrici

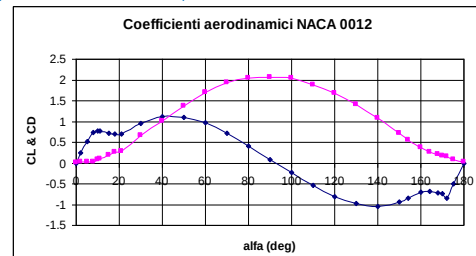
- I profili delle pale debbono essere simmetrici essendo le incidenze egualmente positive e negative durante una rivoluzione della pala
- Un profilo frequentemente adottato è il NACA 0012 di cui si riporta un disegno nella classica forma percentuale

**Curve del profilo 1**

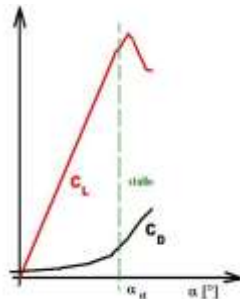
- Gli angoli di incidenza, nelle diverse condizioni di funzionamento possono essere anche molto grandi cioè tali che il profilo aerodinamico non si comporta più come tale.
- E' opportuno quindi considerare la caratteristica completa del profilo che deve essere simmetrico perché il flusso relativo arriva sia da un lato che dall'altro.
- In realtà C_L e C_D dipendono dal numero di Reynolds oltre che dall'angolo di incidenza specialmente nella zona, di grande importanza, prossima allo stallo
- Comunque le curve danno un'idea dell'andamento dei coefficienti aerodinamici.

Curve del profilo 2

- Il profilo NACA 0012 è frequentemente adottato. Oltre 30° di incidenza l'azione aerodinamica è essenzialmente dissipativa e la resistenza prevale decisamente sulla portanza

**Stallo e funzionamento**

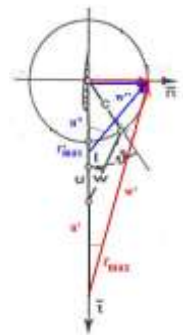
- Il coefficiente di portanza cresce linearmente dall'origine fino allo stallo
- Il coefficiente di resistenza è piccolo ma non nullo nell'origine e cresce bruscamente allo stallo
- Oltre α_{st} il funzionamento è dissipativo e ciò si verifica ciclicamente per bassi valori di λ .



Mediclima 2013 GFTA

Angolo d'incidenza massimo

- L'angolo di incidenza massimo è tanto maggiore quanto maggiore è u rispetto alla velocità c
- Per questo il Darrieus non è autoavviante e solo per elevati Λ non si verifica lo stallo
- Si nota anche che una variazione ciclica del calettamento consente di controllare gli angoli di incidenza ed il funzionamento

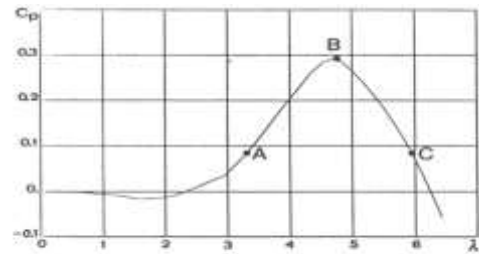


Mediclima 2013 GFTA Modelli di calcolo delle turbine eoliche tangenziali

- Consideriamo ora l'applicazione di un modello, in base ai quali è stato sviluppato un codice di calcolo
- Si tratta del modello del disco attuatore monodimensionale (Momentum Model)
- A livelli crescenti di complessità e accuratezza il modello delle vorticità ed i calcoli alle differenze finite per risolvere le equazioni complete del flusso
- E' probabilmente il più semplice per lo studio delle prestazioni di una turbina Darrieus.

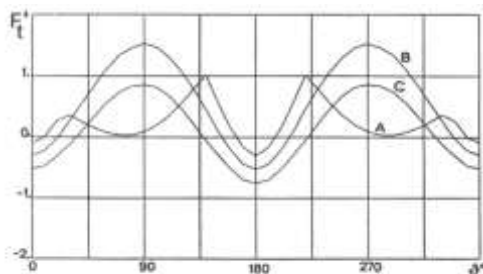
Curva caratteristica

- La curva caratteristica è nulla o negativa per i bassi valori di $\lambda = u/v_{\text{vento}}$



Curva caratteristica di una turbina con solidità pari a 0,2. I punti A, B e C indicano le condizioni operative analizzate.

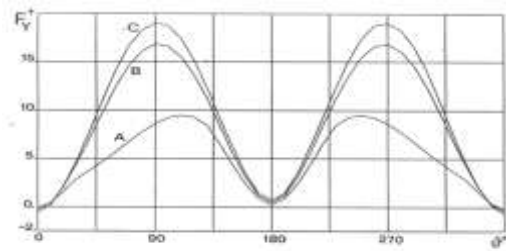
Azione tangenziale (1 pala)



Componente della sollecitazione aerodinamica agente sulla pala lungo la direzione t.

Sollecitazione sul pilone

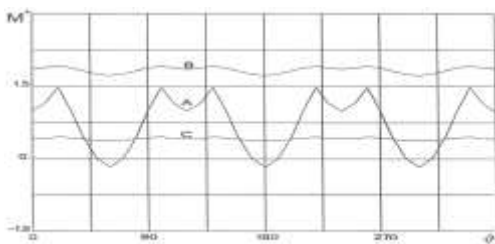
- Le sollecitazioni cicliche sono forti.



Componente della sollecitazione aerodinamica sulla direzione del vento (FY), per un valore esempio di alpha.

Coppia motrice dal vento

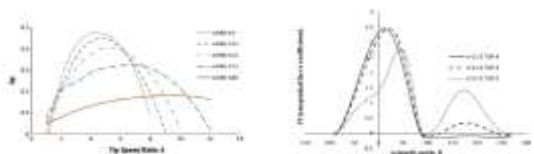
- Con tre pale le fluttuazioni della coppia sono ridotte specie vicino alle condizioni ottimali



Mediclima 2013 GFTA

Studi recenti su giromill 1

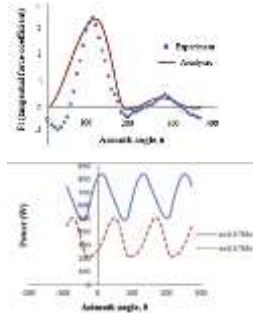
- Le turbine Darrieus ad H hanno una geometria semplice ma una aerodinamica complicata (campagna di misure presso PoliMi)
- Ad esempio l'andamento della curva caratteristica su piccole macchine (solidità=Nc/R)



Mediclima 2013 GFTA

Studi recenti su giromill 2

- Il confronto teorico-sperimentale sulla forza tangenziale (solidità = 0.15, $\lambda = 5$) è soddisfacente
- La potenza prodotta è fluttuante anche su un rotore tripala, calcolata con un modello di calcolo relativamente accurato



Turbine Darrieus con pale elicoidali

- Per ridurre le inevitabili vibrazioni dovute alla variazione dell'angolo di incidenza tra 20° e -20° che inducono sollecitazioni meccaniche due volte per giro la turbina Turby (ma anche Gorlov) è realizzata con tre pale di forma elicoidale.
- In tal modo l'incidenza sui diversi tratti della stessa pala è diversa ed si ha una variazione graduale delle sollecitazioni
- la macchina resta non autoavviante ma questo problema è risolto dal sistema di controllo che d'altronde non deve orientare la macchina

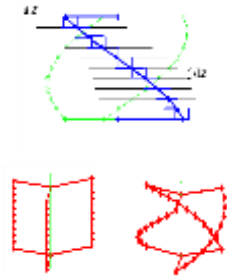
TURBY

- Questa macchina ha una potenza nominale di 2,5 kW con un costo attorno a 6000 €



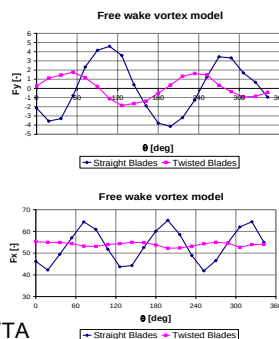
Calcoli e confronti 1

- Sono stati effettuati dei confronti tra le prestazioni e le sollecitazioni subite da rotori a pale diritte ed a pale elicoidali
- Il calcolo è stato effettuato congiuntamente da Uniss e Unige
- Le prestazioni sono analoghe ma le sollecitazioni come prevedibile cambiano



Calcoli e confronti 2

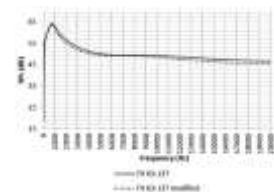
- Con il modello di calcolo delle vorticità si è verificato che la sollecitazione sul pilone nella direzione x del vento riduce la sua fluttuazione
- Anche la sollecitazione trasversale, a parità di media nulla, riduce decisamente l'ampiezza dei cicli



Mediclima 2013 GFTA

Rumore e profili palari 1

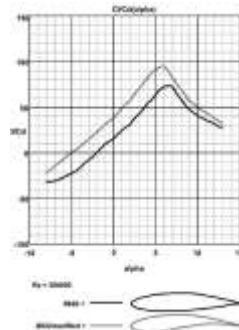
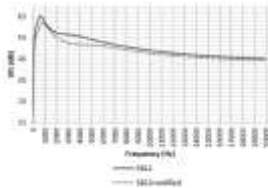
- Il rumore è un aspetto decisamente rilevante per le piccole installazioni
- Il rumore di origine aerodinamica è quello essenziale e può essere ridotto con un ridisegno delle sezioni palari



Mediclina 2013 GFTA

Rumore e profili palari 2

- Si possono migliorare a seguito di studi aerodinamici sia le prestazioni aerodinamiche sia quelle acustiche



Aspetti legislativi 1

- In relazione all'impiego di aerogeneratori in edilizia, è un riferimento quanto contenuto nell'art. 11 del D.Lgs. 30 maggio 2008, n. 115 - *Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE* (Gazzetta ufficiale 3 Luglio 2008, n. 154).
- E' una disposizione normativa a livello nazionale relativa all'installazione di aerogeneratori di piccola taglia in edilizia (in particolare, microeolico); risulta significativa in quanto si introduce all'interno delle misure per la semplificazione autorizzativa.
- Esistono poi numerose normative regionali abbastanza differenziate nelle diverse parti d'Italia

Aspetti legislativi 2

- Fatto salvo quanto previsto dall'articolo 26, comma 1, della legge 9 gennaio 1991, n. 10, e successive modificazioni, gli interventi di incremento dell'efficienza energetica che prevedano l'installazione di singoli generatori eolici con altezza complessiva non superiore a 1,5 metri e diametro non superiore a 1 metro, nonché di impianti solari termici o fotovoltaici aderenti o integrati nei tetti degli edifici con la stessa inclinazione e lo stesso orientamento della falda e i cui componenti non modificano la sagoma degli edifici stessi, sono considerati interventi di manutenzione ordinaria e non sono soggetti alla disciplina della denuncia di inizio attività di cui agli articoli 22 e 23 del testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia, di cui al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, e successive modificazioni, qualora la superficie dell'impianto non sia superiore a quella del tetto stesso. Ecc....

Aspetti legislativi 3

- La Legge n° 244 del 24/12/07 (Finanziaria 2008 – art. 2 comma 145) ha introdotto un innovativo sistema incentivante che riconosce per la durata di 15 anni una tariffa onnicomprensiva di 30 eurocent/kWh per la produzione di energia da fonte eolica fino a 200 kW di potenza installata
- Qualora si voglia intraprendere un'iniziativa nel campo dell'eolico di piccola taglia si consiglia di prendere in considerazione con particolare attenzione la legislazione vigente a livello regionale e provinciale. Gli Enti Locali infatti rivestono oggi un ruolo determinante in campo energetico, ed in particolare nella promozione delle fonti rinnovabili a livello locale.

Eolico e V.I.A. 1

- In Italia gli impianti industriali per la produzione di energia mediante lo sfruttamento del vento sono da assoggettare a verifica di esclusione dalla procedura di Valutazione di Impatto Ambientale attraverso la verifica della vigente normativa a livello regionale.
- La Valutazione di Impatto Ambientale (V.I.A.) è uno strumento di supporto alle decisioni. Si esplica attraverso una procedura amministrativa finalizzata a valutare la compatibilità ambientale di un'opera in progetto, attraverso un'analisi degli effetti che l'opera stessa esercita sulle componenti ambientali e socio-economiche interessate. La V.I.A. dovrebbe inoltre individuare gli interventi per mitigare e compensare eventuali impatti.

Mediclina 2013 GFTA

Eolico e V.I.A. 2

- Con l'Atto di indirizzo D.P.R. 12.4.1996 l'Italia ha a sua volta delegato le Regioni e le Province Autonome a disciplinare i contenuti e la procedura di V.I.A. per le opere dell'Allegato II. In particolare le tipologie progettuali sono suddivise in due categorie: opere da assoggettare a V.I.A. regionale (Allegato A), ed opere da assoggettare a verifica di esclusione dalla procedura di V.I.A. (Allegato B). Gli impianti eolici sono inseriti in Allegato B.
- Nell'individuazione delle forme di incentivazione di un impianto micro-eolico occorre quindi fare riferimento a due diversi regimi, cui tra l'altro corrispondono differenti finalità e benefici.
 - ☐ Impianti micro-eolici di potenza nominale inferiore a 20 kW
 - ☐ Impianti micro-eolici di potenza nominale superiore a 20 kW fino a 100 kW

Mediclina 2013 GFTA Impianti micro-eolici fino a 20 kW

- Sono impianti destinati al solo autoconsumo; non sono considerate officine elettriche e conseguentemente non hanno diritto alla vendita dell'energia prodotta.
- Incentivo: non esiste imposizione fiscale ai sensi della L. 133/99; non infatti necessaria denuncia all'U.T.F. (Ufficio Tecnico di Finanza) in quanto non considerate officine elettriche.
- Gli impianti tra 20 e 100 kW sono in grado di autoconsumare l'energia prodotta, tutta o in parte, ma anche di venderne le eccedenze. Sono considerati Officine Elettriche e quindi richiesta denuncia all'U.T.F., con la conseguente imposizione fiscale.

Impianti micro-eolico da 20 a 100 kW

- Gli incentivi sono relativi al prezzo di vendita dell'energia ed ai sussidi in conto esercizio e sono uguali a quelli di cui godono anche gli impianti di taglia maggiore, e cioè
 - Priorità di disaccoppiamento in quanto impianti da Fonti Energetiche Rinnovabili.
 - Possibilità di ottenimento e relativa vendita dei Certificati Verdi per i primi otto anni di esercizio dell'impianto, qualora la produzione di energia elettrica annua superi i 50 MWh (Ogni CV ha il valore di 100 MWh, ma viene concesso dal GRTN adottando il criterio commerciale di arrotondamento).
 - Possibilità di ottenimento e relativa vendita dei Certificati RECS, del valore ciascuno di 1 MWh di energia prodotta.

Analisi delle autorizzazioni richieste 1

- Le principali pratiche di tipo autorizzativo da espletare per impianti oltre i 20 kW di potenza o che comunque determinino un sostanziale impatto sull'ambiente in cui sono inseriti:
 - concessione di uso dei suoli (rilasciata da Comune e Regione),
 - concessione edilizia (Comune, Regione),
 - nullaosta paesaggistico (Regione, Soprintendenza beni culturali e ambientali, Ministero beni culturali e ambientali),
 - nullaosta idrogeologico (Corpo forestale dello Stato, Corpo delle miniere),
 - nullaosta sismico (Ufficio sismico regionale),
 - nullaosta militare per la sicurezza al volo (Comando Regione Militare, Regione).

Analisi delle autorizzazioni richieste 2

- Ultimo l'impianto si dovrà procedere a:
 - Istruzione della pratica di denuncia per apertura di officina elettrica. La licenza UTF contiene le dichiarazioni bimestrali dell'energia prodotta ai fini della corresponsione delle relative imposte.
 - Certificato di Collaudo dell'opera
- La realizzazione di un impianto di potenza inferiore a 20 kW, in sostanza non richiede particolari autorizzazioni. Tuttavia è preferibile chiedere informazioni ai costruttori di micro-aerogeneratori o ai professionisti del luogo che conoscono per esperienza le effettive realtà locali

Microturbine e riqualificazione energetica 1

- Impianti microeolici in edifici di nuova costruzione e in interventi di riqualificazione energetica



Mediclina 2013 GFTA

Microturbine e riqualificazione energetica 2

- Possibile realizzazione di un impianto da 25 kW che sfrutta la palinatura di un parcheggio : a) 50 pali con turbine da 0.5 kW, b) Studio delle tecniche per irrobustire il palo di supporto e sua eventuale sostituzione, c) Generatore accoppiato coassialmente alla pala eolica, d) Inverter posizionato alla base del palo e) Cablaggi che sfruttano le canaline preesistenti, f) Monitoraggio e controllo distribuito e wireless

