

Energia dal vento

Prof. Carmine Napoli

INTRODUZIONE

La macchina eolica è uno degli strumenti più antichi per produrre energia meccanica

Nella versione moderna essa serve soprattutto per generare energia elettrica per cui è detta aerogeneratore.

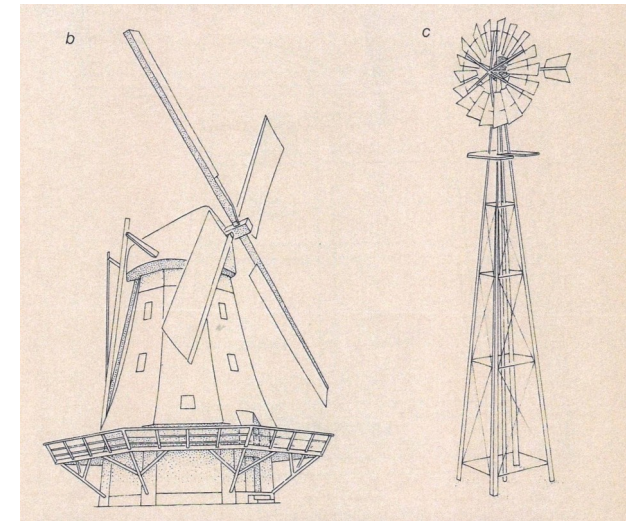
Lo sfruttamento del vento per produrre energie non è semplice a causa della sua variabilità casuale.

Oggi sono disponibili valori medi quotidiani e stagionali della ventosità, ma si deve comunque tenere in conto della variabilità del vento che comporta raffiche, calme, e mutamenti direzionali imprevedibili.

La sua variabilità è soprattutto legata alla gamma di velocità possibili che incide sulla forza prodotta che varia con il quadrato della velocità, mentre la potenza varia con il cubo.

Se la velocità del vento è 3 volte la velocità media la forza prodotta sarà nove volte la forza media.

Uno dei problemi da risolvere è che la potenza generata è variabile nel tempo, essa inoltre deve essere confrontata con la potenza richiesta dell'utilizzatore, le due quantità difficilmente sono uguali.



Se la potenza richiesta è maggiore della potenza generata sorge la necessità di reperire da un'altra fonte la potenza mancante,

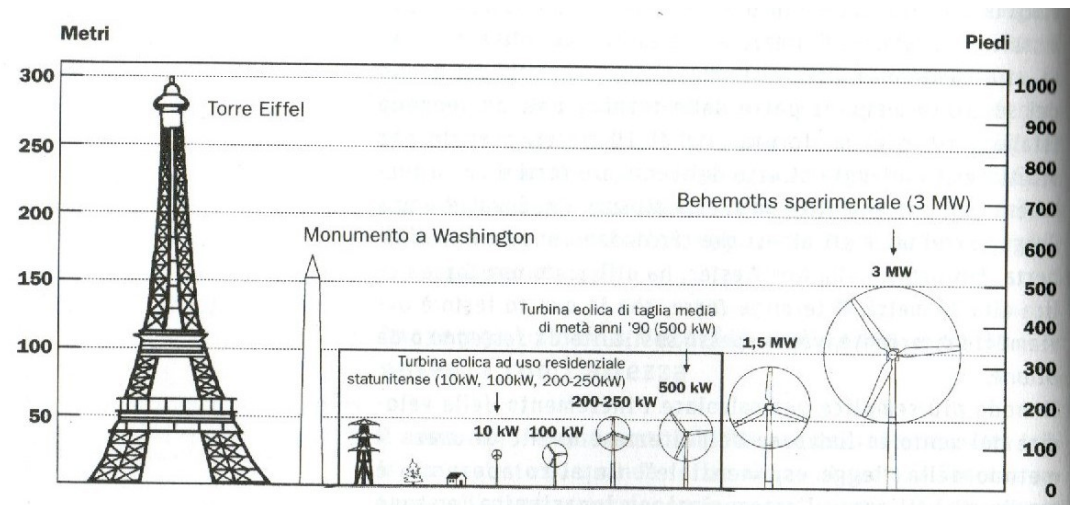
Se invece è la potenza generata ad essere maggiore della potenza richiesta allora sorge il problema di cosa del surplus di potenza.

Il problema viene risolto dell'accoppiamento dell'aerogeneratore ad una rete elettrica oppure prevedendo delle batterie di accumulo.

Un altro problema legato alla generazione di energia dal vento è che essa non è una fonte concentrata, ma diffusa.

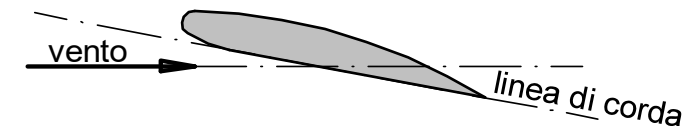
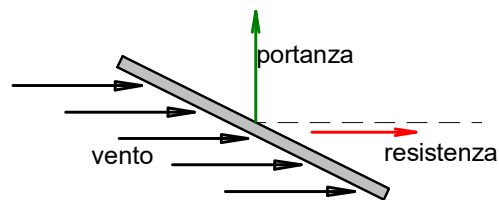
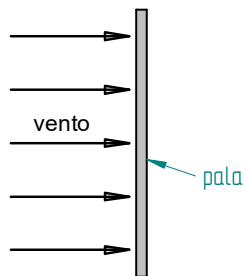
Alla velocità di 20 km/h il flusso di energia è di circa 130 watt per metro quadrato, inoltre solo parte di questa energia viene trasformata in energia elettrica.

Quindi per produrre una quantità significativa di energia elettrica le dimensioni dell'aerogeneratore devono essere molto grandi.



SOLUZIONI COSTRUTTIVE

La bassa concentrazione dell'energia eolica ha portata nel tempo a sviluppare particolari soluzioni costruttive delle pale e del movimento (rotazione) del mulino.



Se, a parità di velocità del vento e di superficie della pala, si raffrontano le due situazioni:

- il vento è perpendicolare alla pala,
- il vento tocca la pala con un certa angolazione,

nel primo caso la pala è trascinata dal moto del vento, nel secondo caso la pala è mossa da una forza che viene detta portanza.

Tra i due quello più efficiente è il secondo, come ulteriore miglioramento la pala viene fatta in una opportuna forma con un profilo detto appunto alare.

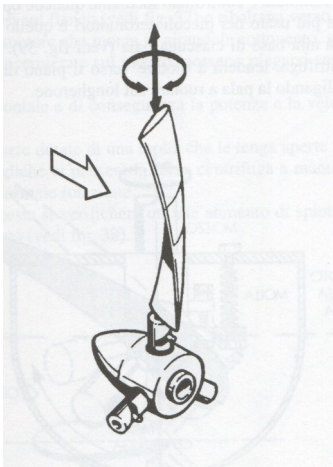
L'inclinazione delle pale ed il profilo alare, a parità di forza generata, ha una sezione più ridotta.

Infine le pale girano più veloci e questo è un vantaggio visto che nell'aerogeneratore è previsto un moltiplicatore di giri.

Un altro problema è nella possibilità che deve avere la macchina di seguire la direzione del vento.

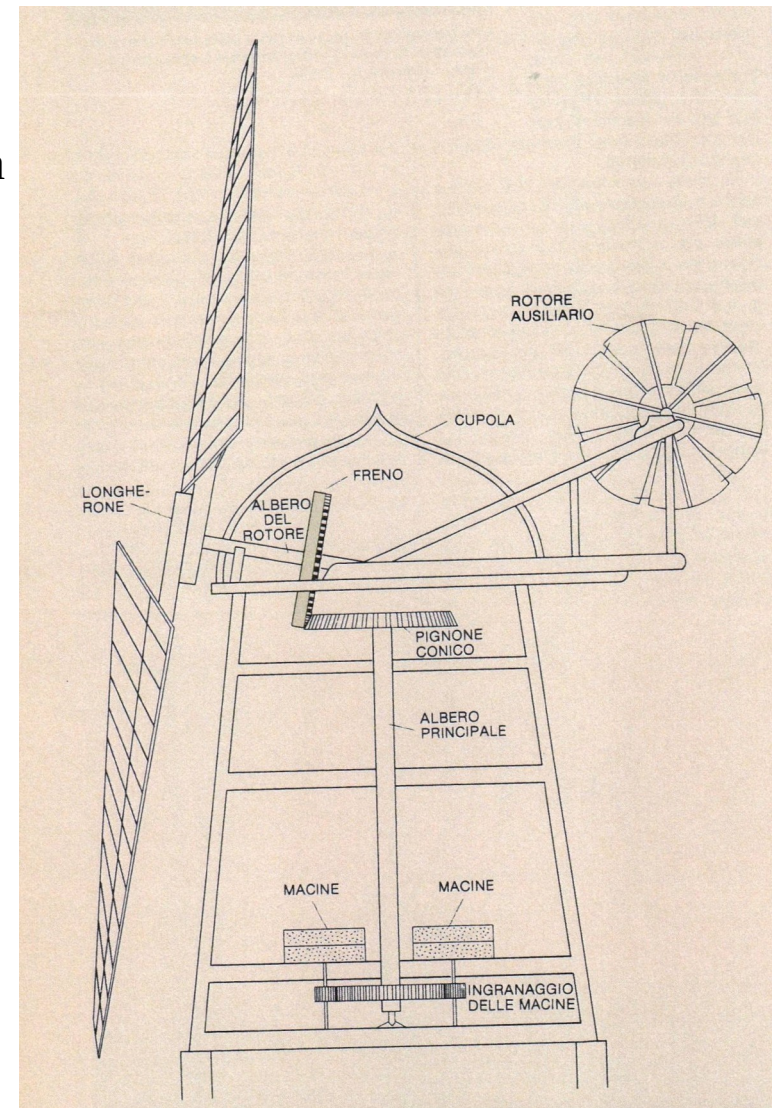
Inizialmente quando la direzione del vento cambiava tutta la torre era girata a mano, questo comportava che la struttura mancava di solidità.

Un miglioramento è stata la possibilità di rotazione della sola parte superiore della torre che, costruttivamente, risulta più solida.



Infine un ulteriore miglioramento è stato lo svergolamento della pala.

Una pala con svergolamento risulta più efficiente rispetto ad una pala senza.



Considerando i costi, di installazione e di esercizio, le macchine eoliche di maggior dimensione risultano più efficienti. Basta dire che producono maggiore energia con lo stesso numero di addetti.

In questi anni quindi si è visto costruire aerogeneratori sempre più grandi, oggi è facile trovare aerogeneratori avente un diametro di pala di 100 m.

Un ulteriore aumento di dimensioni risulta antieconomico, infatti maggiori sono le dimensioni della macchina e più difficile risulta il calcolo strutturale, inoltre la sezione del vento raccolto dalla pala aumenta con il quadrato del diametro della stessa, mentre il peso della struttura aumenta con il cubo.

Esiste quindi una dimensione ottimale.

Confrontando un vecchio rotore con uno moderno si troveranno fondamentalmente gli stessi elementi:

- una torre di sostegno,
- una girante,
- un moltiplicatore di giri ed infine
- meccanismi ausiliari che servono a controllare il numero di giri per evitare che esso assuma valori troppo elevati in presenza di forti venti o troppo bassi per venti modesti.

Una differenza sostanziale tra le vecchie macchine e le nuove sta nel fatto che una volta era necessario massimizzare le coppie (soprattutto di avviamento) mentre le nuove tendono a massimizzare l'energia prodotta.

Per questo una macchina progettata per ottimizzare la produzione di energia dovrebbe avere pale slanciate e veloci con un profilo aerodinamico ad elevato rapporto portanza/resistenza.

Il numero di pale dovrebbe essere, in teoria, il più alto possibile e dovrebbero essere strette, ma problemi strutturali ne limitano il numero.

In genere il numero di pale è 3 , è possibile avere anche rotor con una sola pala.

Ricordato che la velocità tangenziale di un punto in rotazione è, mantenendo costante il numero di giri, tanto maggiore quanto maggiore è la sua distanza dal centro.

I punti della girante che si trovano a distanza diverse dal centro di rotazione hanno velocità diverse, in particolare le estremità delle pale sono i punti a maggiore velocità.

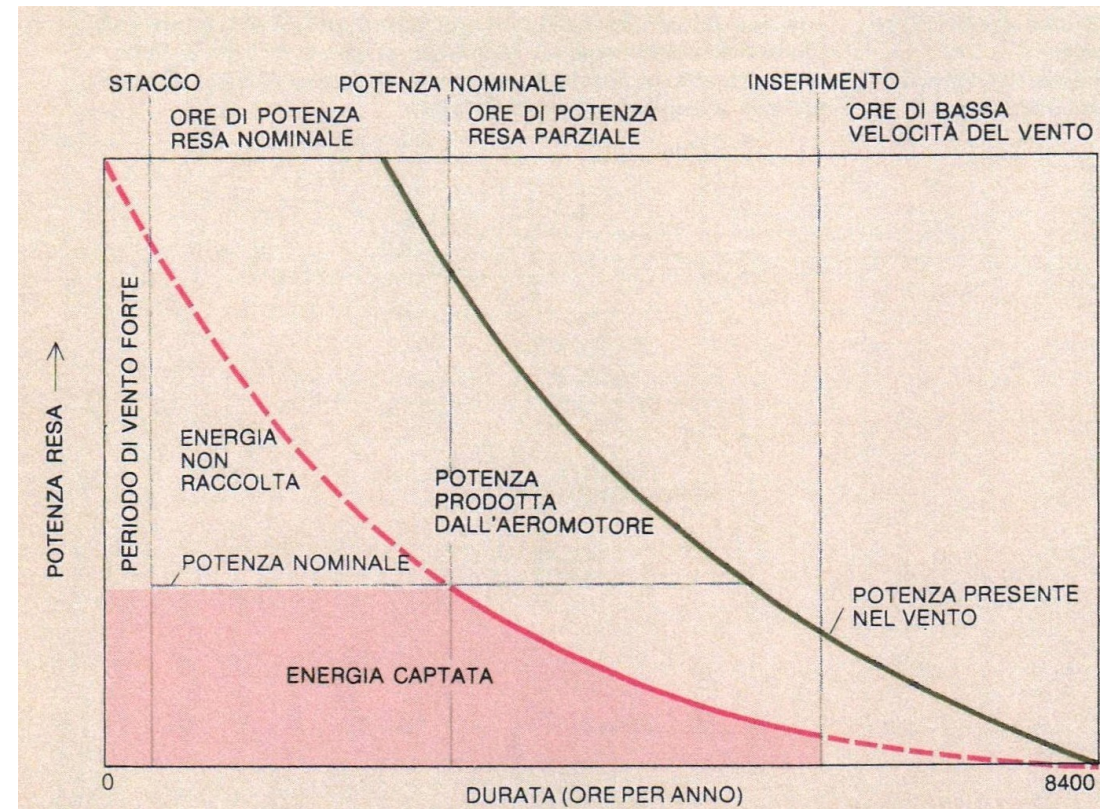
L'estremità di una pala moderna può raggiungere i 480 km/h con un vento intorno ai 30 km/h.

Il rapporto tra la **velocità della pala** e **quella del vento** (nel caso citato prima è 16) viene chiamato rapporto di velocità periferica.

Il rapporto ottimale di velocità periferico è lo stesso per pale di diversa lunghezza, ciò comporta che le pale a lunghezza minore viaggiano con numero di giri maggiori, ma soprattutto esso ci dice che esiste un numero di giri del rotore ottimale che si deve cercare di ottenere.

Una turbina di piccole dimensioni viaggia con numero di giri superiore rispetto ad una girante con diametro maggiore, ma le due velocità periferiche sono uguali.

Il diagramma a lato rappresenta l'energia prodotta in un anno raffrontata con quella teorica.



LA SITUAZIONE ATTUALE

La crisi petrolifera degli inizi degli anni settanta ha portato, in molti paesi, ad aumentare l'attività di ricerca e sviluppo delle fonti rinnovabili.

Anche le macchine eoliche sono state interessate ai programmi di ricerca e sviluppo subendo una notevole evoluzione.

Negli anni sono state proposte e sperimentate diverse soluzioni tecnologiche: generatori ad asse orizzontale, ad asse verticale, macchine con diverse potenzialità, soprattutto quelle a potenzialità maggiore del MW.

Le principali scelte tecnologiche sono essenzialmente:

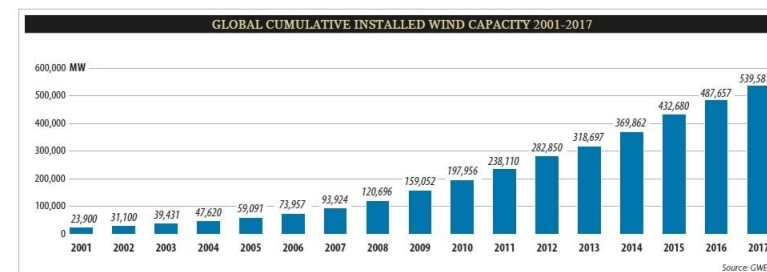
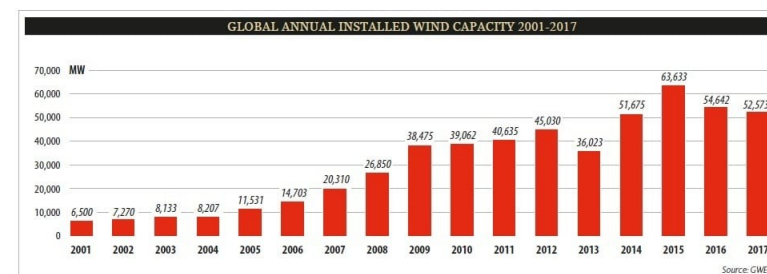
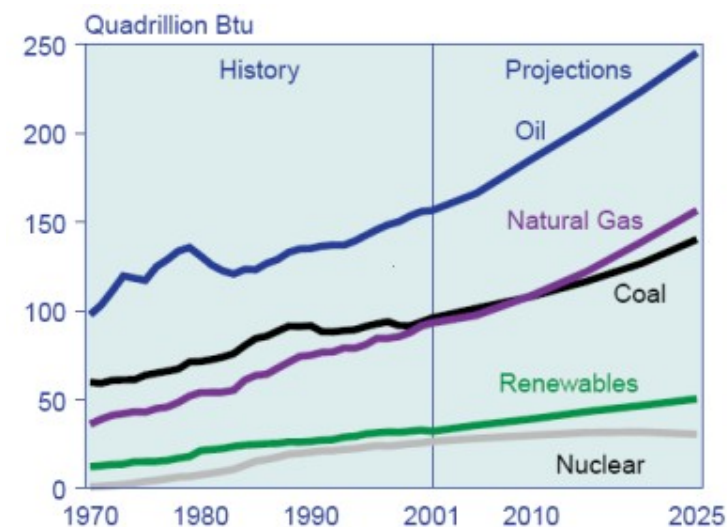
- rotore ad asse orizzontale
- aerogeneratori, soprattutto, tripala
- controllo della potenza mediante controllo del passo delle pale o per lo stallo.

La capacità eolica globale del mondo a fine 2024 ha raggiunto i 1.136 GW, con 117 GW di nuove installazioni nel corso dell'anno di cui stati installati 109 GW onshore e 8 GW offshore.

L'Europa, sempre nel 2024, ha una capacità totale di 285 GW, ha aggiunto 16,4 GW di nuova capacità eolica, con 13,8 GW onshore e 2,6 GW offshore.

In Italia la capacità eolica totale è di 12,91 GW, nel 2024 ha aggiunto 484 MW.

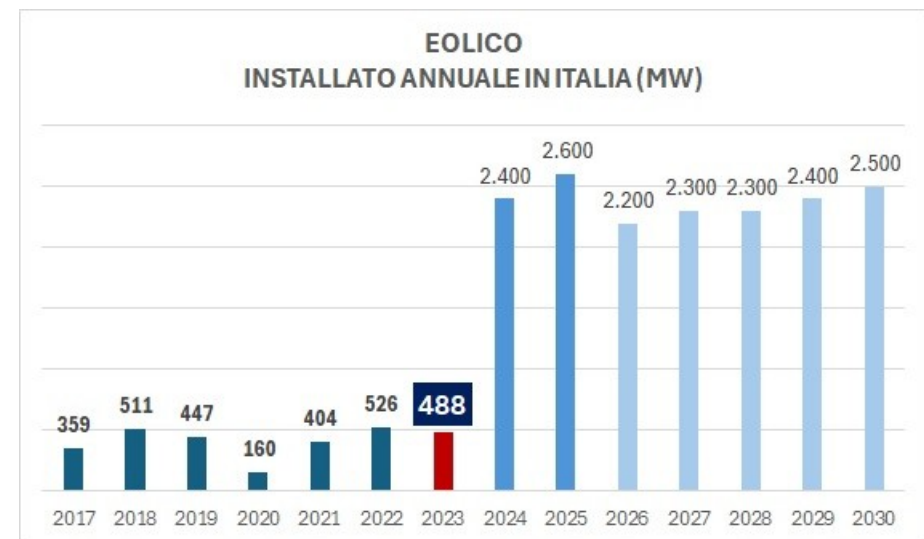
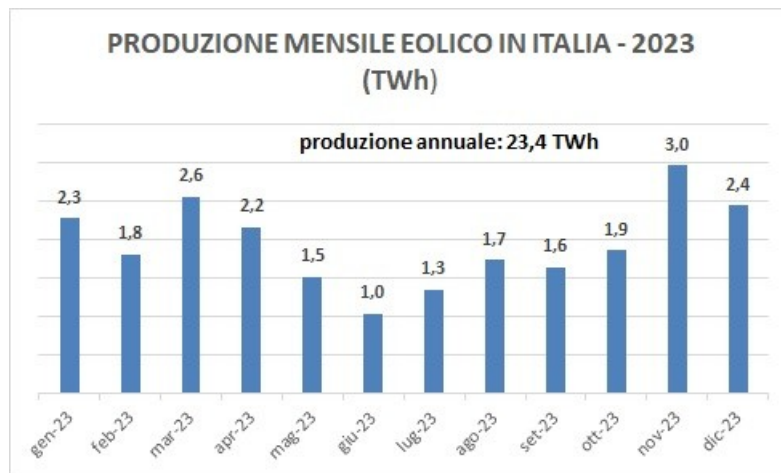
Il report di GWEC riporta l'andamento dell'eolico mondiale dal 2001. Da questa data, cioè in 17 anni, la capacità eolica globale è cresciuta di oltre 23 volte.



In italia

Nel 2023 si registrano allacciati alla rete circa 14 impianti (su un totale di 82) di taglia superiore ai 10 MW, per un totale di 413 MW.

In questo grafico vediamo la distribuzione della capacità eolica installata suddivisa **per Regione**. La Puglia, con 3,1 GW, guida questa graduatoria, seguita da Sicilia e Campania. In termini di numero di impianti, la regione che ne ha di più è la Basilicata (1.469), seguita da Puglia (1.391) e Sicilia (916).



IMPATTO AMBIENTALE DELLE CENTRALI EOLICHE

L'impatto ambientale di una centrale eolica che può essere composta anche da un numero molto elevato di aerogeneratori riguarda soprattutto:

- occupazione del territorio ed impatto visivo,
- rumore,
- interferenze elettromagnetiche sulle telecomunicazioni,
- effetti su flora e fauna.

Occupazione del territorio ed impatto visivo

Le macchine eoliche devono essere posizionate ad una certa distanza per evitare l'aumento della turbolenza, la scelta della distanza dipende dal modo con cui soffia il vento.

Se il vento è multidirezionale la distanza è pari a 7 diametri, se invece esiste una direzione prevalente la distanza deve essere anche di 10 diametri (delle pale) se la direzione della fila coincide con la direzione del vento, di 3 diametri se la fila è perpendicolare alla direzione del vento.

Con questi dati, considerando delle macchine che erogano 350 kW con un vento che soffia a 13 km/h si ha una densità di potenza di circa $7,4 \text{ W/m}^2$, si deve però rilevare che il terreno effettivamente occupato è solo il 2-3% della superficie del parco eolico, quindi esso può essere utilizzato anche per altri scopi.

L'installazione di aerogeneratori non altera significativamente il territorio, se non per l'aspetto visivo, che può essere restituito al suo uso iniziale.

Il problema dell'impatto visivo è, da alcuni, molto sentito, infatti, spesso le buone zone anemometriche sono anche di pregio paesaggistico.

Rumore

Gli aerogeneratori producono rumore generato dai componenti elettromeccanici, e, soprattutto, da fenomeni di turbolenza aerodinamici, prodotti dalla rotazione delle pale, che sono legati alla velocità periferica delle stesse.

Si può ritenere il problema trascurabile infatti spesso il rumore dell'aerogeneratore si confonde con il rumore di fondo, soprattutto nelle zone ventose, a 400, 500 metri dall'aerogeneratore il rumore è del tutto trascurabile.

Interferenze sulle telecomunicazioni

I disturbi alle telecomunicazioni possono riguardare sia gli apparecchi che trasmettono che quelli che ricevono.

Per gli apparecchi domestici già ad una distanza di poche decine di metri non ci sono interferenze, per gli apparecchi che trasmettono è necessaria una distanza di alcuni chilometri.

Nel caso di collegamenti radio si possono verificare interferenze anche a grande distanza, sono quindi necessari accorgimenti posizionali o una scelta opportuna di frequenza.

Effetti su flora e fauna.

Non esiste alcun effetto misurabile sulla flora.

Per la fauna: sono gli uccelli a poter subire, in qualche misura, effetti dovuti alla presenza dei generatori eolici.

Da ricerche fatte si è ricavato che l'impatto di un aerogeneratore è lo stesso di altri manufatti umani.

ASPETTI TECNICI DELLA GENERAZIONE DI ENERGIA DA FONTE EOLICA.

La potenza P posseduta da un flusso d'aria di sezione A ed avente velocità è data dalla relazione

$$P_v = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad \text{dove } \rho \text{ è la massa volumica dell'aria.}$$

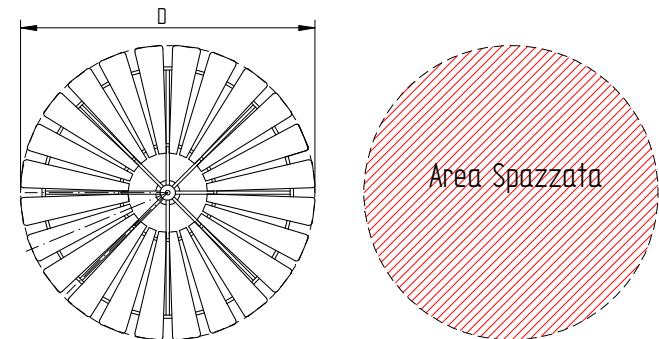
Da questa formula si ricava che, con un vento di 10 m/s (36 km/h), la potenza è pari a 612 W/m² (si è posto $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$), un valore molto basso che impone al mulino grandi dimensioni.

Il valore trovato è solo teorico , basta pensare che il vento lascia le pale con una velocità diversa da zero, quindi l'energia effettivamente disponibile è la differenza tra due energie del vento prima del contatto e dopo il contatto.

La potenza effettivamente ricavabile è data dalla relazione

$$P = C_p \cdot \frac{1}{2} \rho A v^3$$

ove A è l'area spazzata dal rotore , C_p è il cosiddetto coefficiente di potenza.



Il coefficiente C_p fornisce indicazioni relative alla prestazione effettiva della macchina.

Esso dipende dal rotore, in particola dal passo della elica e dal rapporto λ fra la velocità dell'estremità della pala e quella del vento.

C_p tiene conto oltre che del rendimento della conversione aerodinamica, anche di quello della trasmissione e della trasformazione da energia meccanica ad energia elettrica.

Il valore limite (superiore) di C_p è 0,59, in genere varia tra 0,3 e 0,5, in condizioni di progetto, durante il funzionamento può diminuire notevolmente, quanto più il λ effettivo si allontana dal valore ottimale per le pale sono state progettate.

La generazione di energia elettrica è fatta con un alternatore, sincrono od asincrono, in entrambi i casi la velocità di rotazione dello stesso può variare di poco. Questo comporta che anche la velocità di rotazione della girante può subire solo piccole variazioni, per mantenere la velocità di rotazione praticamente costante si agisce sul passo dell'elica, ma facendo ciò il valore del C_p diminuisce, anche notevolmente.

Nelle macchine più recenti si inserisce, prima del trasformatore un convertitore statico che stabilizza la frequenza della corrente ai 50 Hz della rete..

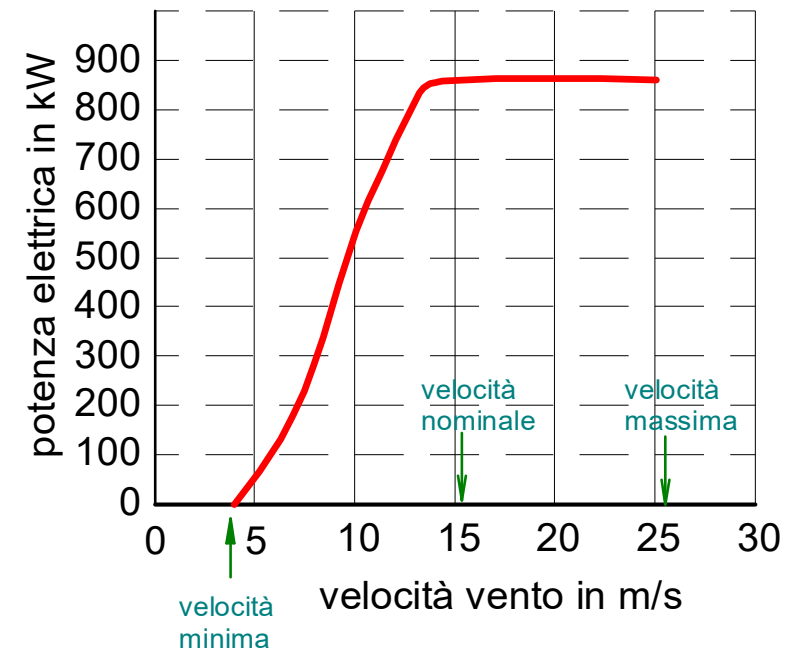
LA CURVA DI POTENZA

Le prestazioni di un aerogeneratore sono rappresentate da una curva detta curva di potenza che riporta la potenza elettrica resa (kW) in funzione della velocità (m/s) del vento indisturbato a monte del rotore valutato all'altezza del mozzo dello stesso, per la macchine ad asse orizzontale.

Dalla curva si ricava che esiste una velocità minima di produzione della potenza che in genere è intorno a 3 m/s.

Con l'aumentare della velocità del vento la potenza aumenta fino ad una velocità nominale della macchina(in genere tra 10 e 18 m/s).

Aumentando ancora la velocità, il sistema di controllo, varia il passo dell'elica per cui la potenza, per velocità maggiori, rimane costante. Fino ad una velocità di circa 25 m/s che rappresenta la massima velocità di funzionamento dell'aerogeneratore.

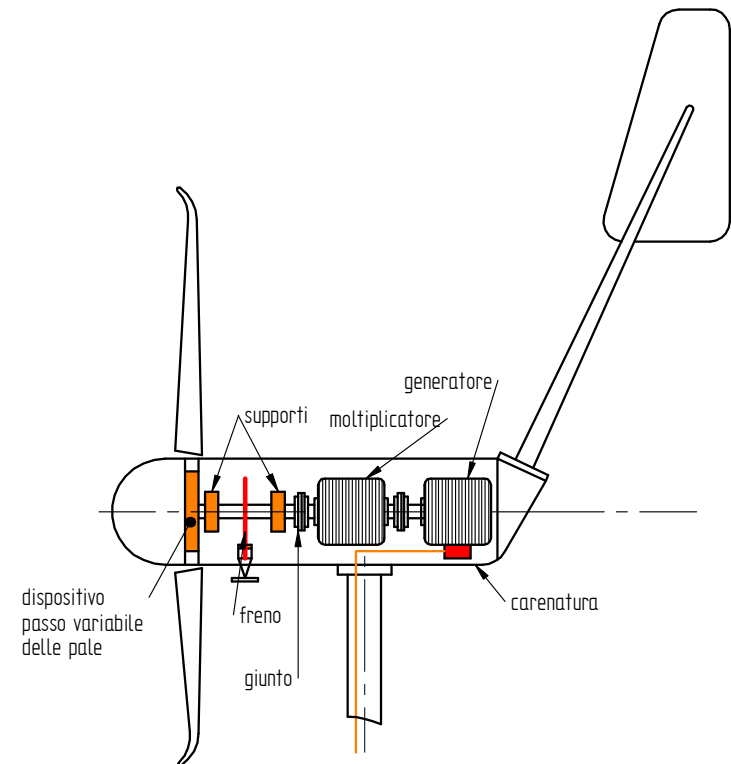


GLI ELEMENTI DI UN AEROGENERATORE

Oltre alla pale, la carcassa esterna (detta navicella) ed il timone visibili dall'esterno.

All'interno della navicella sono presenti

- un dispositivo per far girare le pale e cambiare il passo dell'elica
- un albero di trasmissione per trasmettere il moto dalle pale al generatore.
- un freno (meccanico o magnetico) che serve a bloccare l'elica
- la pala gira ad un basso numero di giri per cui è necessario un moltiplicatore di giri, in genere esso è un ingranaggio o un accoppiamento mediante cinghia dentata (per evitare scorrimento)
- un alternatore per produrre energia elettrica che può essere sia sincrono che asincrono.
- un trasformatore.



ELEMENTI PER PROGETTARE UN MICRO MULINO

La progettazione di un mulino a vento avviene attraverso le fasi:

1. Si determina la velocità media del vento ed il numero di ore di vento su cui si può contare
2. In base agli utilizzatori si trova la potenza necessaria
3. Si sceglie il tipo di mulino
4. Si valuta il suo rendimento
5. Si effettua il calcolo delle dimensioni.