

# Energia Eolica – parte 2



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# Aerogeneratori

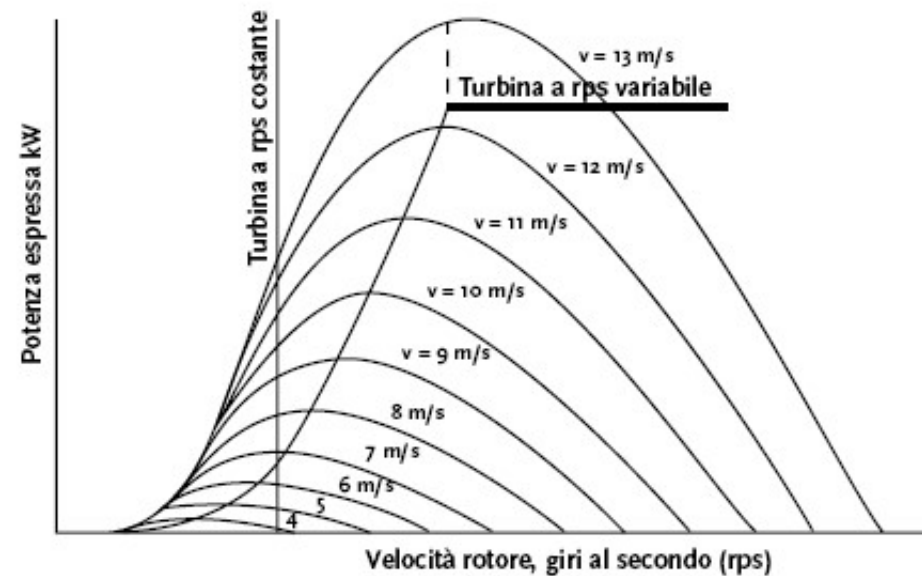
## Generatore elettrico

Per avere una **produzione di energia elettrica di elevata qualità** si svincola il regime rotatorio della turbina (e quindi dell'albero veloce in ingresso al generatore elettrico) da quello dell'apparato elettrico, grazie all'installazione di componenti elettronici per la conversione della frequenza.

Si può così lavorare sempre nelle condizioni in cui la **potenza estraibile dalla corrente fluida è massima**.

Le soluzioni impiantistiche attualmente presenti sul mercato sono tre:

1. generatore sincrono a inserzione indiretta;
2. generatore asincrono con convertitore in frequenza;
3. generatore asincrono a doppia alimentazione.

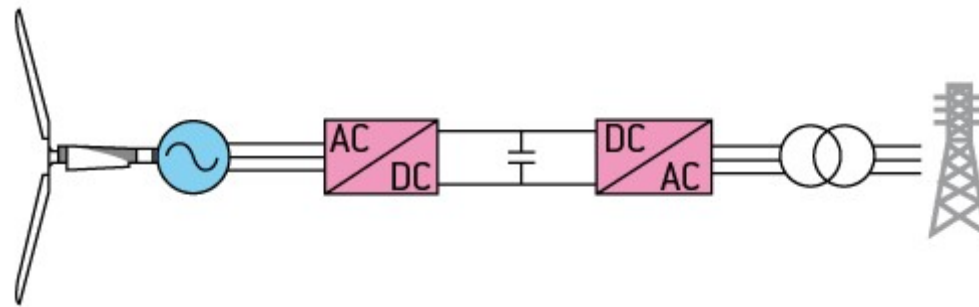


# Aerogeneratori

## Generatore elettrico - Sincrono a inserzione indiretta

1. Costituito da un **motore sincrono accoppiato direttamente alla turbina**;
2. **Non** presenta moltiplicatore di giri.

L'energia elettrica prodotta viene inviata a un convertitore AC-DC-AC per portare frequenza e tensione ai valori imposti dalla rete. La diminuzione del costo connessa all'assenza del moltiplicatore di giri è in parte compensata dall'elevato numero di coppie polari e dalla complessa componentistica elettronica presente.



Vantaggi:

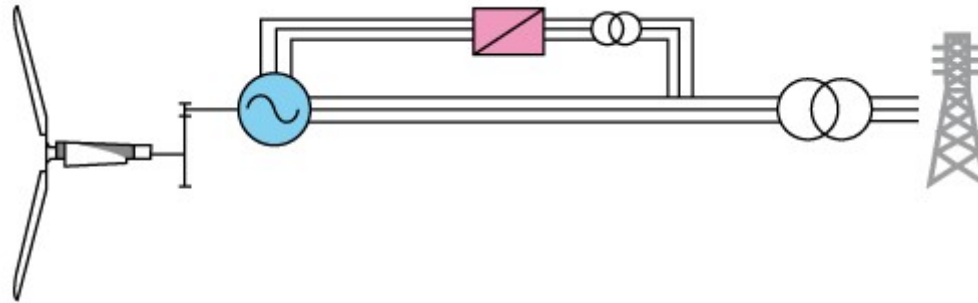
1. le basse velocità di rotazione delle parti meccaniche in movimento determinano un basso livello di usura, permettendo la riduzione dei costi di manutenzione;
2. facile regolazione del fattore di potenza.

**Soluzione più utilizzata negli aerogeneratori di piccola taglia**, ma, vista la grande evoluzione tecnologica della componentistica elettronica, in futuro si prevede un'ampia diffusione anche per macchine di media e grande potenza.

# Aerogeneratori

## Generatore elettrico - asincrono con convertitore in frequenza

1. L'eccitazione del rotore viene eseguita con un convertitore reversibile che permette la conversione dal generatore alla rete e viceversa.
2. Tramite l'elettronica di regolazione si può sovrapporre alla frequenza del rotore quella del convertitore, in modo che la frequenza risultante sia indipendente dalla velocità di rotazione del rotore.



Caratteristiche:

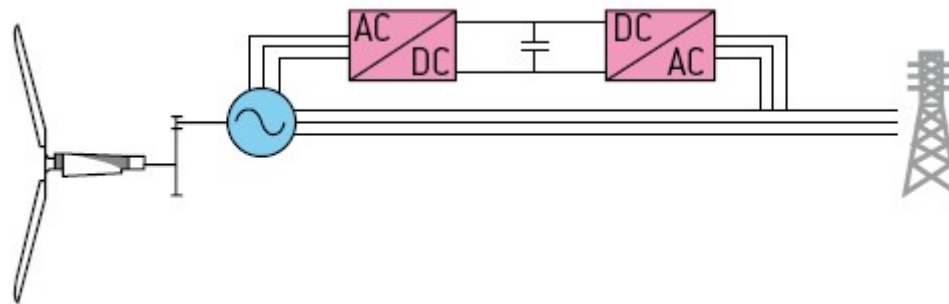
1. si possono avere velocità sia superiori sia inferiori a quella di sincronismo, sia in funzionamento da generatore che da motore.
2. È possibile abbassare il fattore di potenza perché connesso al controllo dell'ampiezza e della fase della corrente nel rotore.
3. La potenza reattiva circola nel circuito del rotore, in cui passa un terzo della potenza totale prodotta. Solo questa frazione di potenza è soggetta alle dispersioni nel convertitore in frequenza.

# Aerogeneratori

## Generatore elettrico - asincrono a doppia alimentazione

L'applicazione più diffusa è il **generatore ad avvolgimento**, che consiste nell'utilizzo del generatore accoppiato a un sistema di alimentazione rotorica controllata da un convertitore bistadio AC-DC-AC (la potenza del convertitore è circa il 25-30% di quella totale del sistema di generazione).

In questo modo è possibile regolare le grandezze elettriche rotoriche per ottenere il valore richiesto di scorrimento (coppia frenante che si combina con la coppia della turbina per controllare la velocità). L'avvolgimento statorico è invece direttamente connesso alla rete come in un normale generatore a induzione.



Tale soluzione tecnologica, molto diffusa negli aerogeneratori di grande taglia, rappresenta un compromesso, in termini di costi e prestazioni.

# Aerogeneratori

## Freni

Quasi tutte le turbine montano dei freni meccanici lungo l'albero di trasmissione, in aggiunta al freno aerodinamico. Sono in grado di:

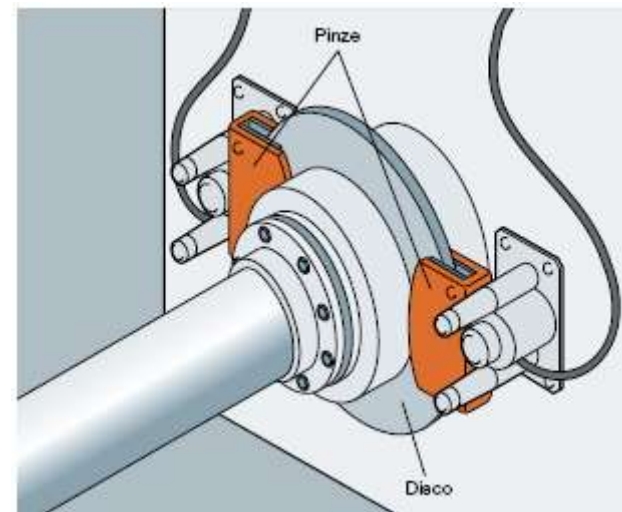
- arrestare il rotore in condizioni meteorologiche avverse,
- svolgere la funzione di "freni di stazionamento" per impedire che il rotore si ponga in rotazione quando la turbina non è in servizio.

Sono di due i tipi:

1. freni a disco;
2. freni a frizione.

I **freni a disco**: un disco metallico è fissato all'albero che deve essere frenato. Durante la fase di frenamento delle pinze ad azionamento idraulico premono delle pastiglie contro il disco, creando una coppia frenante opposta a quella motrice.

I **freni a frizione** consistono in almeno un piatto di pressione ed un piatto di frizione.



# Aerogeneratori

## Freni

**I freni meccanici possono essere posizionati sia sul lato a bassa velocità, sia su quello ad alta velocità del moltiplicatore di giri:**

1. se installati sul lato a bassa velocità devono essere in grado di esercitare una coppia frenante maggiore,
2. se installati sul lato ad alta velocità agiscono necessariamente attraverso il moltiplicatore di giri velocizzando potenzialmente il suo invecchiamento ed inoltre, nel caso in cui il moltiplicatore sia guasto i freni sul lato alta velocità potrebbero essere esclusi e non in grado di frenare il rotore.
3. la qualità del materiale dei dischi del freno montati sull'albero ad alta velocità è più critica per l'intensità delle forze centrifughe che si sviluppano.

I freni progettati per arrestare il rotore devono essere in grado di esercitare una coppia frenante maggiore di quella massima che ci si aspetta sia originata dal rotore, con tempi di arresto solitamente inferiori a 5s ed in grado di funzionare anche in caso di guasto alla loro alimentazione di energia esterna.

Devono inoltre essere in grado di mantenere il rotore nella posizione di arresto completo per le condizioni di vento definite per almeno 1 ora dalla loro attivazione

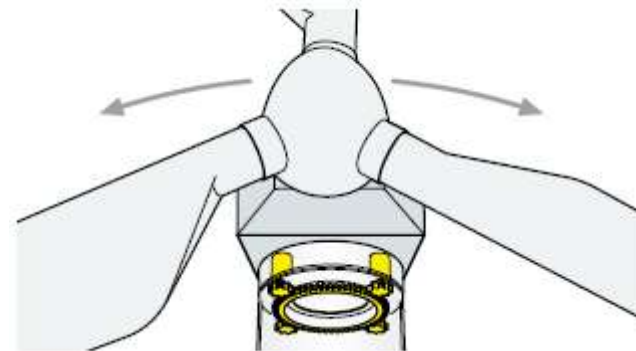
# Aerogeneratori

## Sistema di imbardata

Scopo: per far sì che il rotore sia sempre trasversale al vento.

Il sistema di movimentazione è costituito da:

1. sensori collegati sul tetto della navicella che monitorano continuamente la direzione e velocità del vento;
2. attuatori elettrici e relativi riduttori;
3. un meccanismo formato da ingranaggi, posizionati alla base della navicella, che ne permettono l'allineamento verso la modificata direzione del vento;
4. freni che, una volta completata l'operazione di allineamento del rotore, garantiranno il mantenimento della nuova posizione.





# Aerogeneratori

## Torri

La funzione della torre è quella di sostegno al sistema rotore-navicella. Sono due i principali tipi di torri utilizzate **per le turbine ad asse orizzontale**:

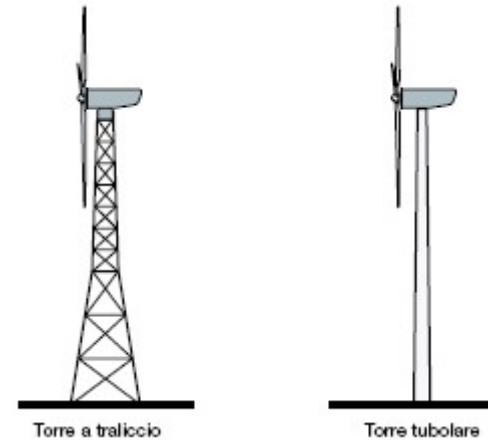
- 1.a traliccio;**
- 2.tubolari.**

Le prime turbine eoliche erano installate su **torri a traliccio** ed erano usualmente utilizzate fino alla metà degli anni '80.

Le turbine odierne sono per la maggior parte di **tipo**

**Tubolare**. Vantaggi:

- 1.Non necessitano di numerose connessioni tramite bulloni che devono poi essere controllate periodicamente
- 2.Forniscono un'area protetta per l'accesso alla turbina e la salita sulla navicella più sicura ed agevole tramite interna o ascensore nelle turbine più grandi;
- 3.Sono esteticamente più piacevoli rispetto ai tralicci;
- 4.le operazioni di montaggio sono facili: imbullonando dai tre ai sei conci si possono raggiungere altezze di circa 100 m;
- 5.il trasporto è limitato a pochi veicoli eccezionali per aerogeneratore;
- 6.l'utilizzo di gru per sollevamenti è necessario per un tempo limitato (le operazioni di montaggio durano tre-quattro giorni)..



# Aerogeneratori Torri



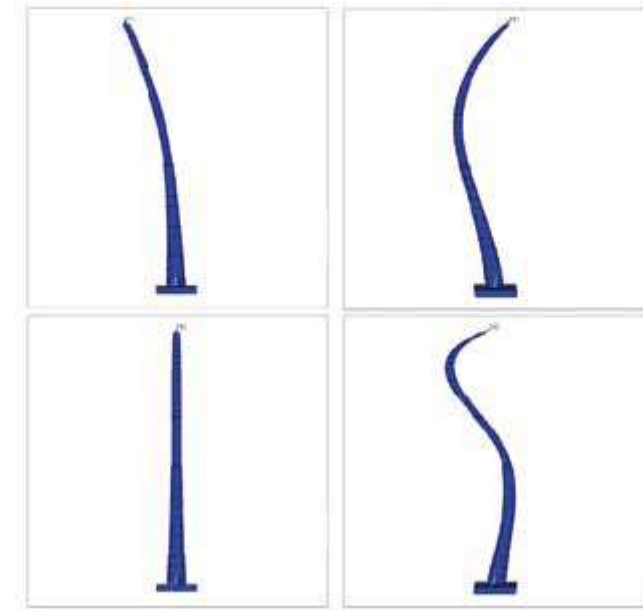
# Aerogeneratori Torri

L'altezza della torre dipende dal regime di vento del sito d'installazione.

Negli impianti on-shore la navicella è collocata generalmente ad un'altezza pari a 1 o 1.2 volte il diametro del rotore, mentre negli impianti off-shore ad un'altezza pari a 0.8 volte il diametro del rotore.

Il dimensionamento deve essere eseguito tenendo conto delle:

1. sollecitazioni statiche;
  2. sollecitazioni dinamiche;
  3. azione dinamica del vento;
  4. regimi vibrazionali indotti dalle turbolenze;
  5. regimi vibrazionali indotti da un non perfetto bilanciamento della macchina;
1. sismicità del sito di installazione.

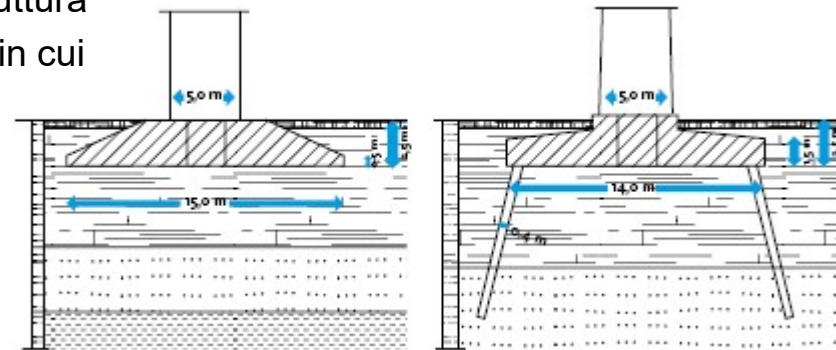


# Aerogeneratori

## Fondazioni

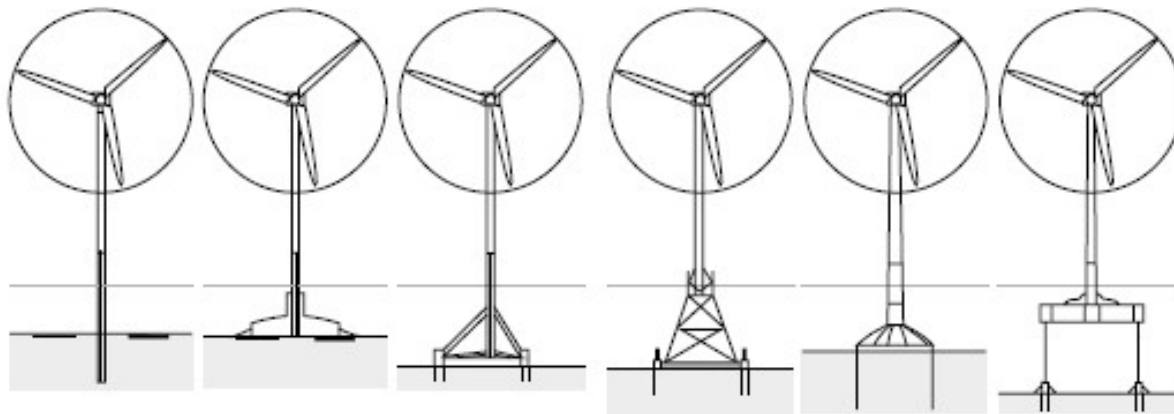
Lo studio delle sollecitazioni esercitate sulla torre e la risposta di questa servono a definire i carichi gravanti sulla fondazione per il dimensionamento strutturale.

La fondazione deve garantire stabilità alla struttura anche nel caso di vento estremo, condizione in cui la macchina viene arrestata. Nel caso di macchina in funzionamento, dovrà essere verificata la resistenza nelle condizioni di massima spinta orizzontale.



Fondazione Diretta

Fondazione sui pali



# Aerogeneratori

## Turbine Eoliche

Volendo fare una distinzione in base alla potenza degli aerogeneratori si hanno impianti così classificabili:

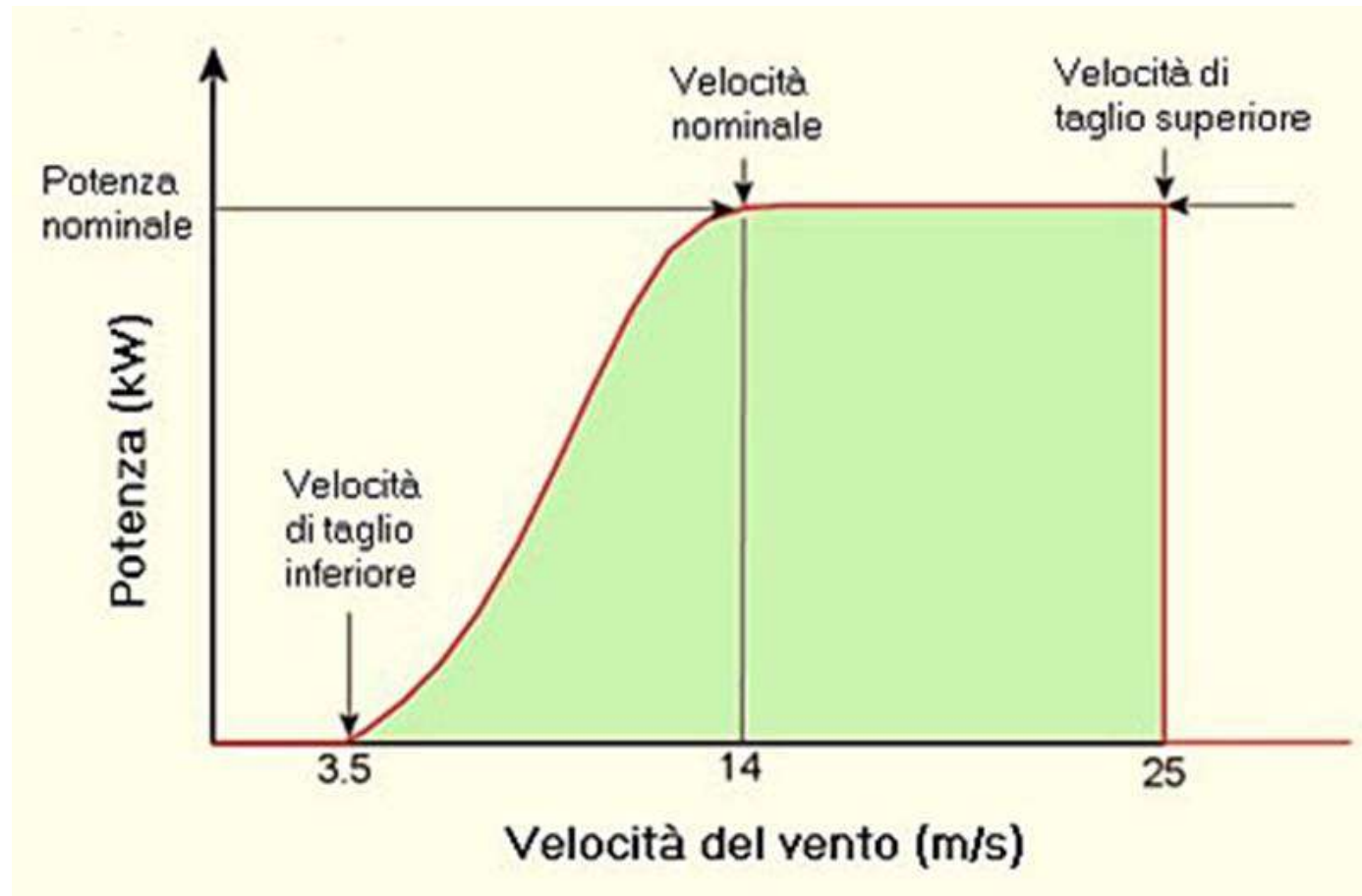
- ❑ **micro-eolici per potenze inferiori a 20kW** e costituito da impianti destinati principalmente all'alimentazione di utenze domestiche;
- ❑ **mini-eolici per potenze tra 20 e 200kW** con impianti prevalentemente destinati alla produzione e vendita dell'energia elettrica;
- ❑ **eolici per potenze superiori a 200kW** e prevalentemente costituiti da parchi eolici per l'immissione dell'energia prodotta nella rete di trasmissione.

Ogni aerogeneratore ha un funzionamento caratterizzato da precisi valori di velocità, riferite a diverse fasi:

- ❑ **Velocità di avvio** - il rotore inizia a girare e l'alternatore produce una tensione, che aumenta con l'aumento della velocità del vento;
- ❑ **Velocità di cut-in (2 - 4 m/s)** - quando la tensione è abbastanza elevata da essere utilizzabile nell'applicazione specifica, allora viene davvero prodotta energia e si attiva l'intero circuito, che diventa il carico dell'aerogeneratore;
- ❑ **Velocità nominale (10 - 14 m/s)** - è la velocità alla quale viene prodotta la potenza nominale;
- ❑ **Velocità di cut-off (20 - 25 m/s)** - è la velocità del vento oltre la quale il rotore deve essere fermato per evitare danni alla macchina; è il sistema di controllo che interviene adeguatamente, con opportuni sistemi attivi o passivi.

# Aerogeneratori

## Turbine Eoliche



# Aerogeneratori

## Sistemi di regolazione di Potenza

Esistono due sistemi di regolazione di Potenza:

- Regolazione Attiva**
- Regolazione Passiva**

### **Regolazione Attiva del Passo:**

Il sistema prevede l'installazione di dispositivi di tipo meccanico ed elettronico che ruotino le pale intorno al loro asse modificando gli angoli di incidenza secondo modalità prefissate in base al regime ventoso.

1. per basse velocità del vento l'obiettivo è massimizzare la portanza delle pale;
2. quando la velocità del vento sale e si raggiunge la potenza nominale, l'obiettivo è ridurla.

Questo tipo di controllo riesce a mantenere la potenza "intorno" al valore nominale.

La velocità del rotore, così, può variare di circa il 30% (in eccesso e in difetto) rispetto al valore nominale., grazie all'integrazione tra l'elettronica di potenza e il sistema di regolazione del Pitch.

Quando la forza del vento aumenta, il rotore è lasciato libero di accelerare per alcuni secondi e l'incremento di velocità di rotazione accumula energia cinetica nel rotore. Se il vento resta intenso, si varia l'angolo di Pitch delle pale per diminuire l'accumulo di potenza e mantenere la velocità del rotore entro i limiti.

Quando il vento cala, l'energia immagazzinata nel rotore viene rilasciata nel suo rallentamento. Se necessario, si modifica ancora l'angolo di attacco in modo da far recuperare velocità al rotore.

Stabilizzare la potenza prodotta comporta una riduzione significativa delle sollecitazioni di fatica cui i vari componenti sono soggetti.

# Aerogeneratori

## Sistemi di regolazione di Potenza

### Regolazione Passiva:

Si consideri una turbina eolica che ruota a velocità fissa.

Con l'aumentare della velocità del vento, l'angolo di incidenza sulle pale aumenta: superata una velocità limite, il flusso d'aria inizia a distaccarsi dal profilo generando la condizione di stallo.

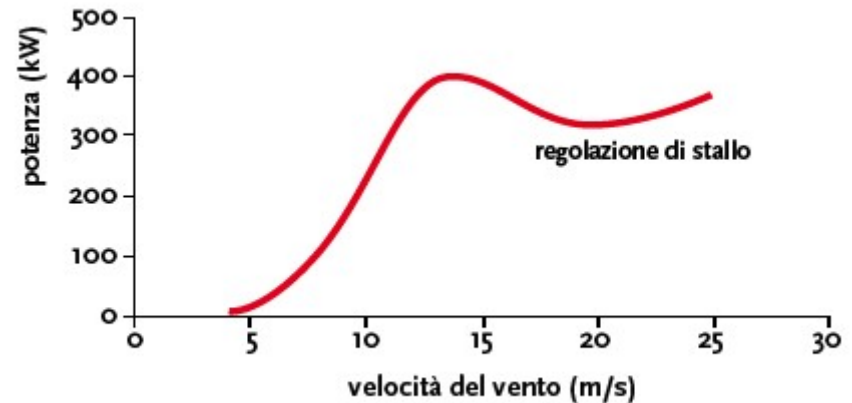
Tale fenomeno si presenta all'inizio in prossimità del mozzo, per poi estendersi verso l'estremità della pala con l'aumentare della velocità della corrente.

Lo stallo provoca una riduzione del coefficiente di portanza e della potenza erogata al mozzo e rappresenta, se sfruttato con le modalità esposte, una metodologia di regolazione automatica dell'aerogeneratore.

I principali problemi connessi a questo sistema di regolazione:

- 1.vibrazioni,
- 2.instabilità del rotore,
- 3.imprevedibilità delle condizioni che portano al distacco della vena fluida,
- 4.maggior usura.

La regolazione passiva ha trovato diffusione solo nelle macchine di piccola potenza, da qualche centinaio di chilowatt.





Sistema di gestione e connessioni elettriche

# **CONTROLLO E GESTIONE DI UN PARCO EOLICO**

# Controllo e gestione di un parco eolico

## Controllo del singolo aerogeneratore

Le diverse strategie di gestione sono sempre rivolte alla massimizzazione dell'energia producibile oppure alla messa in sicurezza del parco in condizioni climatiche avverse.

Gli aerogeneratori sono controllati singolarmente ovvero come gestione complessiva del parco eolico.

Controllo del Singolo Aerogeneratore:

1. macchine elettriche a giri variabili:

la variazione del passo

la variazione della velocità del generatore

Nel caso di una macchina con generatore a giri variabili e pala Pitch operante in carico parziale, è possibile mantenere costante l'angolo di attacco e variare il regime di rotazione del generatore in modo da portare la macchina a lavorare al  $\lambda$  ottimale.

A pieno carico può essere modificata l'inclinazione della pala, mentre si fa variare la coppia resistente del generatore per il controllo della potenza in uscita, oppure possono essere modificate entrambe le grandezze.

2. Transitori: all'avvio lo sblocco del rotore da parte dei sensori che controllano il funzionamento del freno a disco. Raggiunta la velocità di sincronismo, si provvede all'eccitazione del generatore che assorbe la coppia prodotta dal rotore.

3. In fase di emergenza, in cui è necessario arrestare la macchina, la centralina di controllo, in base ai dati che riceve dai sensori anemometrici, comanda i motori per la regolazione del pitch delle pale, che vengono poste in posizione di frenatura. Quando la velocità del rotore si è abbassata fino a quella di sincronismo, il generatore viene staccato dalla rete elettrica e viene azionato il freno rotore.

# Controllo e gestione di un parco eolico

## Controllo del parco eolico

Il controllo dell'intero parco eolico viene eseguito tramite sistemi SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition.



# Producibilità

## Producibilità di un aerogeneratore

Avendo a disposizione la curva caratteristica corretta e i dati anemologici, è possibile calcolare la produzione energetica:

$$E = \sum_{i=1}^{i=n} \left( \sum_{t=0}^{t=s} P_i(V_t) \cdot f(V_t) \right)_i$$

Prendendo in considerazione la produzione annuale totale e riferendola alla potenza nominale della macchina, si ottiene il numero di ore equivalenti l'anno di funzionamento:

$$h_{equ} = \frac{E}{P_n} = \frac{4861,7 MWh}{2 MW} = 2.430,9$$

Velocità [m/s]	Frequenza [%]	Potenza [kW]	Produzione lorda [MWh/anno]	Produzione lorda [ore eq./anno]
0	0,000	0	-	-
1	3,077	0	-	-
2	5,871	0	-	-
3	8,145	0	-	-
4	9,735	44,2	37,7	18,8
5	10,572	136	126,0	63,0
6	10,683	262	245,2	122,6
7	10,173	437	389,4	194,7
8	9,197	664	535,0	267,5
9	7,933	926	643,5	321,8
10	6,550	1.198	687,4	343,7
11	5,190	1.446	666,5	333,2
12	3,952	1.709	591,7	295,9
13	2,897	1.882	477,6	238,8
14	2,046	1.996	352,4	176,2
15	1,394	1.993	243,3	121,6
16	0,916	1.999	160,4	80,2
17	0,581	2.000	101,8	50,9
18	0,356	2.000	62,4	31,2
19	0,211	2.000	36,9	18,5
20	0,121	2.000	21,1	10,6
21	0,067	2.000	11,7	5,8
22	0,036	2.000	6,32	3,1
23	0,018	2.000	3,2	1,6
24	0,009	2.000	1,6	0,8
25	0,004	2.000	0,8	0,39
26	0,002	0	-	-
Totale lordo			5.401,9	2.701,0
Totale netto (perdite 10%)			4.861,7	2.430,9

Impatto visivo, acustico, elettromagnetico, sull'avifauna.

# IMPATTI AMBIENTALI

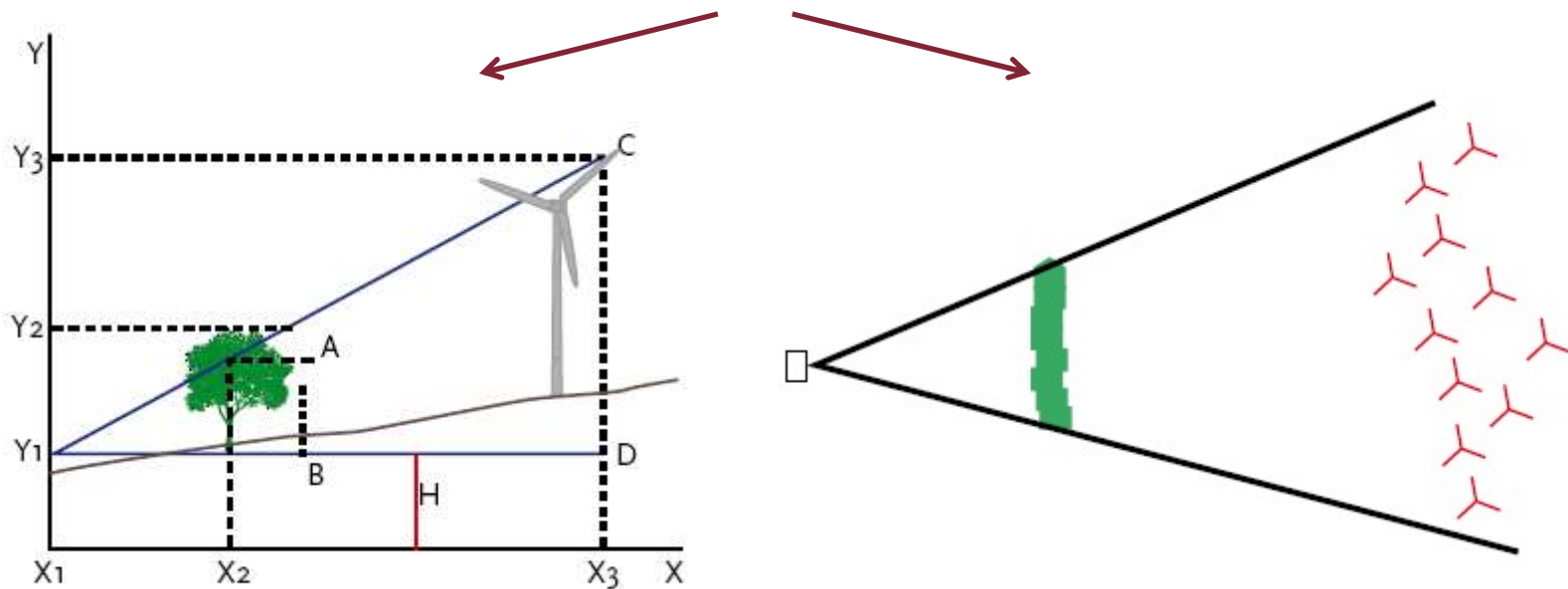
# Impatto Ambientale

## Impatto visivo

L'**emergenza visiva**, definito come la variazione locale dell'altezza media degli oggetti visibili dal punto di stazione sul giro d'orizzonte di  $360^\circ$  ( $2\pi$ ) compiuto in ciascuna delle direzioni dei quattro settori cardinali e comprendenti l'impianto in progetto; il tutto mediato con un peso individuato sulla base degli sfondi, dell'illuminazione e delle condizioni meteorologiche prevalenti.

Il punto di stazione è costituito da un punto di osservazione coincidente con un luogo scenicamente, naturalisticamente o socialmente importante dal punto di vista dell'interesse da salvaguardare.

Una volta determinato l'indice di impatto, si possono analizzare alcuni interventi di miglioramento della situazione visiva: **soluzione di schermatura e soluzione di mitigazione**.



# Impatto Ambientale

## Impatto acustico

1. L'impatto acustico degli aerogeneratori è dovuto essenzialmente al movimento del rotore, che genera rumore soprattutto in prossimità delle aree periferiche delle pale.

Il sistema di variazione del numero di giri, che permette di ridurre la velocità del rotore quando il vento è più debole e consente velocità delle estremità delle pale più contenute, a tutto vantaggio dell'abbattimento del rumore.

Quando il vento è più intenso, il rumore associato al rotore viene coperto dai fruscii che il vento stesso genera nell'ambiente circostante, determinando un impatto acustico minimo della macchina.

2. Le apparecchiature presenti all'interno della navicella generano anch'esse rumore, in particolare il moltiplicatore di giri e il generatore elettrico.

Tuttavia, grazie all'utilizzo di basamenti e di smorzatori elastici e all'insonorizzazione della navicella, è possibile abbattere considerevolmente il rumore e le vibrazioni trasmesse all'esterno.

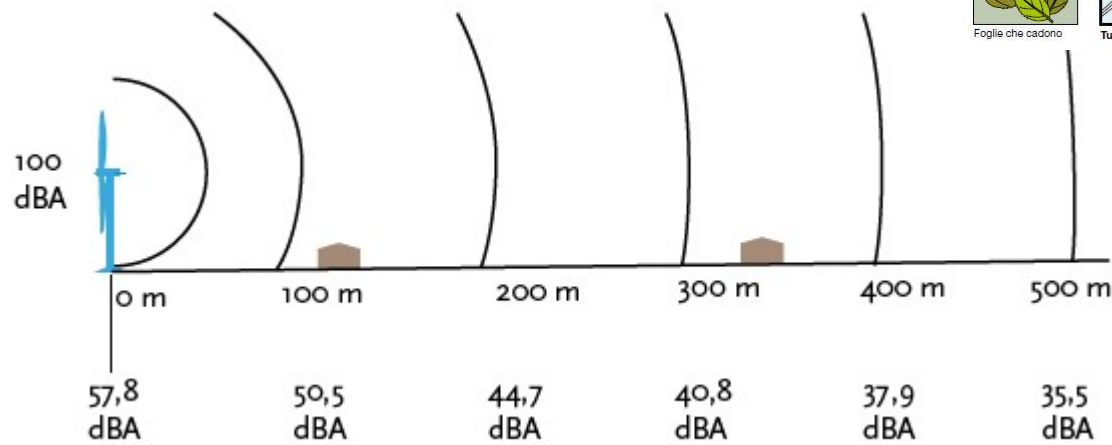
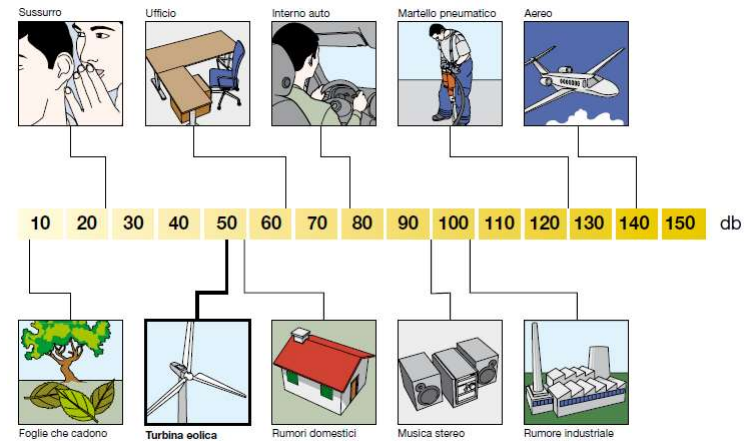
Nelle macchine di elevata potenza, la navicella è posizionata a un'altezza tale da permettere una riduzione del rumore dovuta alla distanza intercorrente tra le apparecchiature e il terreno.

# Impatto Ambientale

## Impatto acustico

Se  $L_a$  è l'intensità del rumore emesso da un aerogeneratore, considerando l'assorbimento atmosferico  $\alpha_a$ , alla distanza  $R$  dalla macchina verrà registrato un rumore di fondo pari a:

$$L_R = L_a - 10 \log_{10}(2 \pi R^2) - \alpha_a \cdot R$$



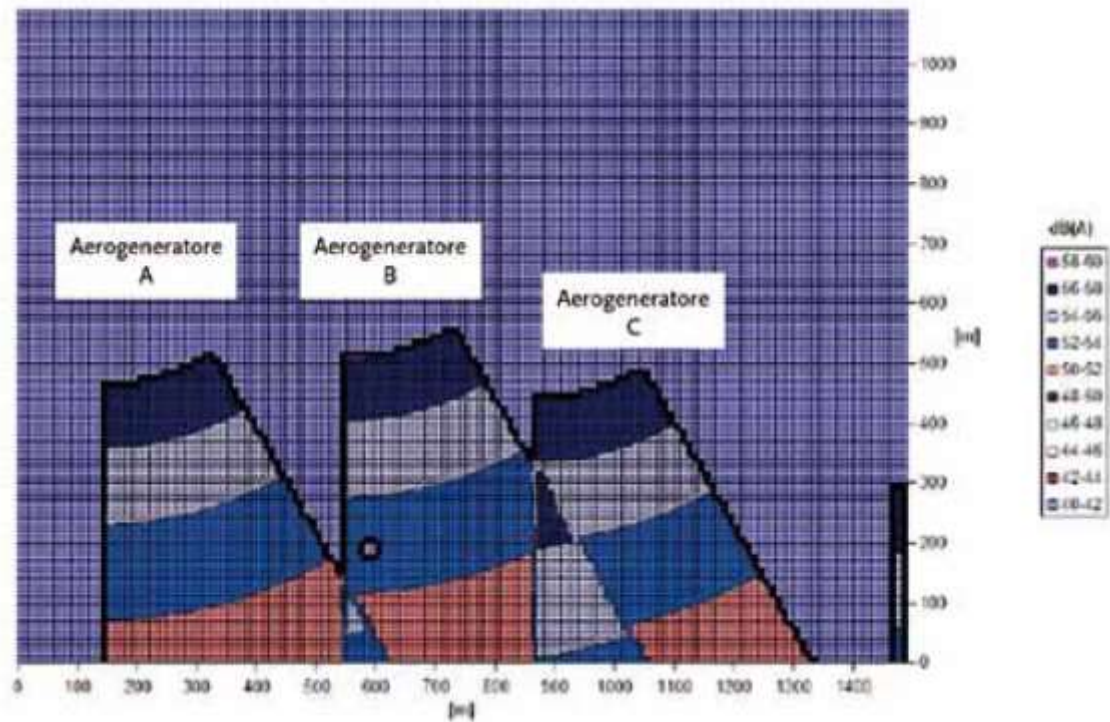


# Impatto Ambientale

## Impatto acustico

Nel caso di un parco eolico occorre sovrapporre gli effetti relativi ai singoli generatori. Nel caso di n aerogeneratori avremo:

$$L_n = 10 \log \sum_{j=1}^n 10^{\left(\frac{L_j}{10}\right)}$$



# Impatto Ambientale

## Impatto elettromagnetico e sull'avifauna

I **disturbi elettromagnetici** sono limitati alla zona appena circostante il parco eolico e riguardano prevalentemente interferenze delle onde radio. Queste hanno carattere locale e non sono dovute alla presenza, all'interno della navicella, del generatore elettrico dotato dei relativi ausiliari. La navicella viene di norma schermata contro questa eventualità e, per di più, l'energia elettrica viene generata a tensioni relativamente basse.

L'interazione con l'**avifauna stanziale** e migratoria è uno dei temi più controversi riguardanti le centrali collocate in zone a elevato interesse naturalistico. Esistono numerose specie di uccelli considerate protette; in Italia, molte di esse trovano rifugio stanziale o stagionale proprio nella zona appenninica, interessata dall'eventuale sviluppo di parchi eolici. Malgrado il numero di incidenti provocati dalla presenza di centrali eoliche sia estremamente basso, per sicurezza è bene sfruttare zone in cui è riconosciuta l'assenza di rotte migratorie ed evitare le aree ove nidificano specie protette.

La presenza delle pale in rotazione può generare **ombre intermittenti** sul territorio circostante nei mesi in cui il Sole è più basso sull'orizzonte. Tale fenomeno può creare disturbi qualora vicino all'impianto vi siano abitazioni. La presenza di ombre intermittenti, di rilevanza soprattutto nei Paesi del Nord, è quasi irrilevante in Italia.

## Costi di impianto

### Voci di spesa

Attualmente, il costo specifico di realizzazione di un parco eolico varia da **1150 a 1350 € per kW** installato.

Elementi di costo	Sul totale	Per capitoli
Aerogeneratori		77,0%
Pale	15,4%	
Mozzi	1,5%	
Supporto pale	2,3%	
Controllo pale	2,9%	
Albero rotore	1,9%	
Supporto rotore	1,2%	
Moltiplicatore	10,0%	
Struttura portante	3,4%	
Orientazione navicella	2,5%	
Involucro navicella	1,2%	
Generatore	8,0%	
Controlli elettrici	5,4%	
Altri componenti	2,3%	
Torre	15,2%	
Montaggio	3,7%	
Opere civili		3,6%
Fondazioni	2,8%	
Strade	0,8%	
Linea elettrica		7,5%
Linea interna	1,6%	
Linea collegamento e sottostazione	5,9%	
Altro		11,9%
Controllo a distanza	0,1%	
Monitoraggio ambientale	0,8%	
Progettazione e direzione lavori	3,8%	
Misurazioni e autorizzazioni	4,1%	
Finanziamento durante la costruzione	1,8%	
Altri finanziamenti, assicurazioni, legali	1,4%	
Totale	100,0%	100,0%

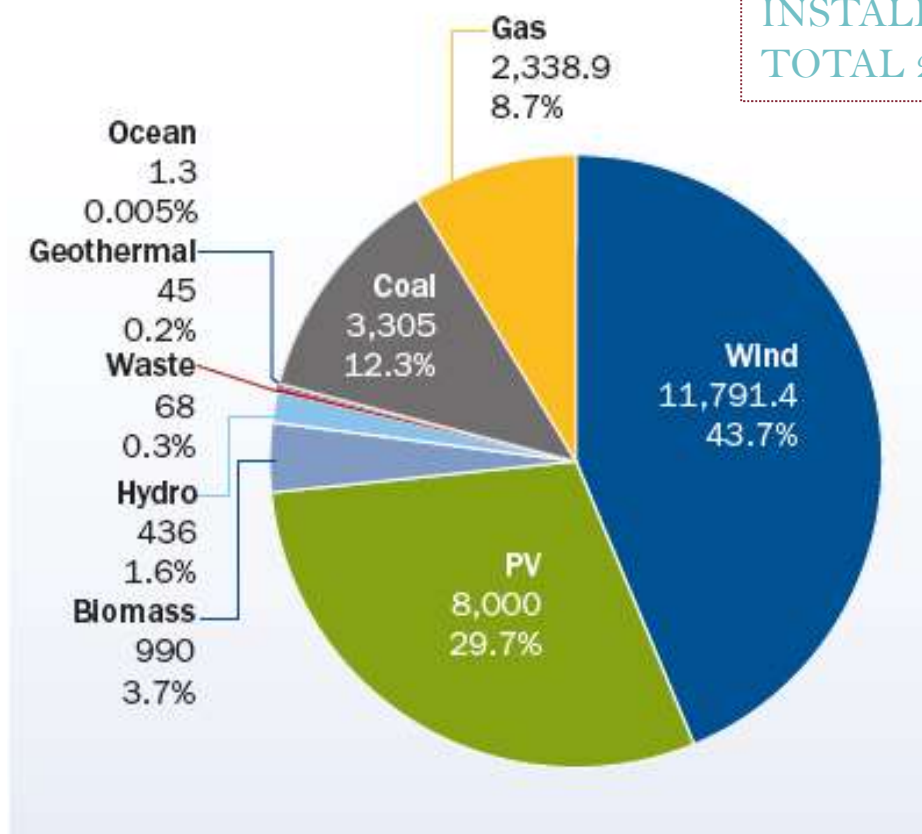
## Diffusione impianti eolici - EU

	Installed 2013	End 2013	Installed 2014	End 2014
<b>EU Capacity (MW)</b>				
Austria	308.4	1,683.8	411.2	2,095
Belgium	275.6	1,665.5	293.5	1,959
Bulgaria	7.1	681.1	9.4	690.5
Croatia	81.2	260.8	85.7	346.5
Cyprus	-	146.7	-	146.7
Czech Republic	8	268.1	14	281.5
Denmark*	694.5	4,807	67	4,845
Estonia	10.5	279.9	22.8	302.7
Finland	163.3	449	184	627
France	630	8,243	1,042	9,285
Germany	3,238.4	34,250.2	5,279.2	39,165
Greece	116.2	1,865.9	113.9	1,979.8
Hungary	-	329.2	-	329.2
Ireland	343.6	2,049.3	222.4	2,271.7
Italy	437.7	8,557.9	107.5	8,662.9
Latvia	2.2	61.8	-	61.8
Lithuania	16.2	278.8	0.5	279.3
Luxembourg	-	58.3	-	58.3
Malta	-	-	-	-
Netherlands	295	2,671	141	2,805
Poland	893.5	3,389.5	444.3	3,833.8
Portugal*	200	4,730.4	184	4,914.4
Romania	694.6	2,599.6	35.4	2,953.6
Slovakia	-	3.1	-	3.1
Slovenia	2.3	2.3	0.9	3.2
Spain	175.1	22,959.1	27.5	22,986.5
Sweden	689	4,381.6	1,050.2	5,424.8
UK	2,075	10,710.9	1,736.4	12,440.3
<b>Total EU-28</b>	<b>11,357.3</b>	<b>117,283.6</b>	<b>11,791.4</b>	<b>128,751.4</b>



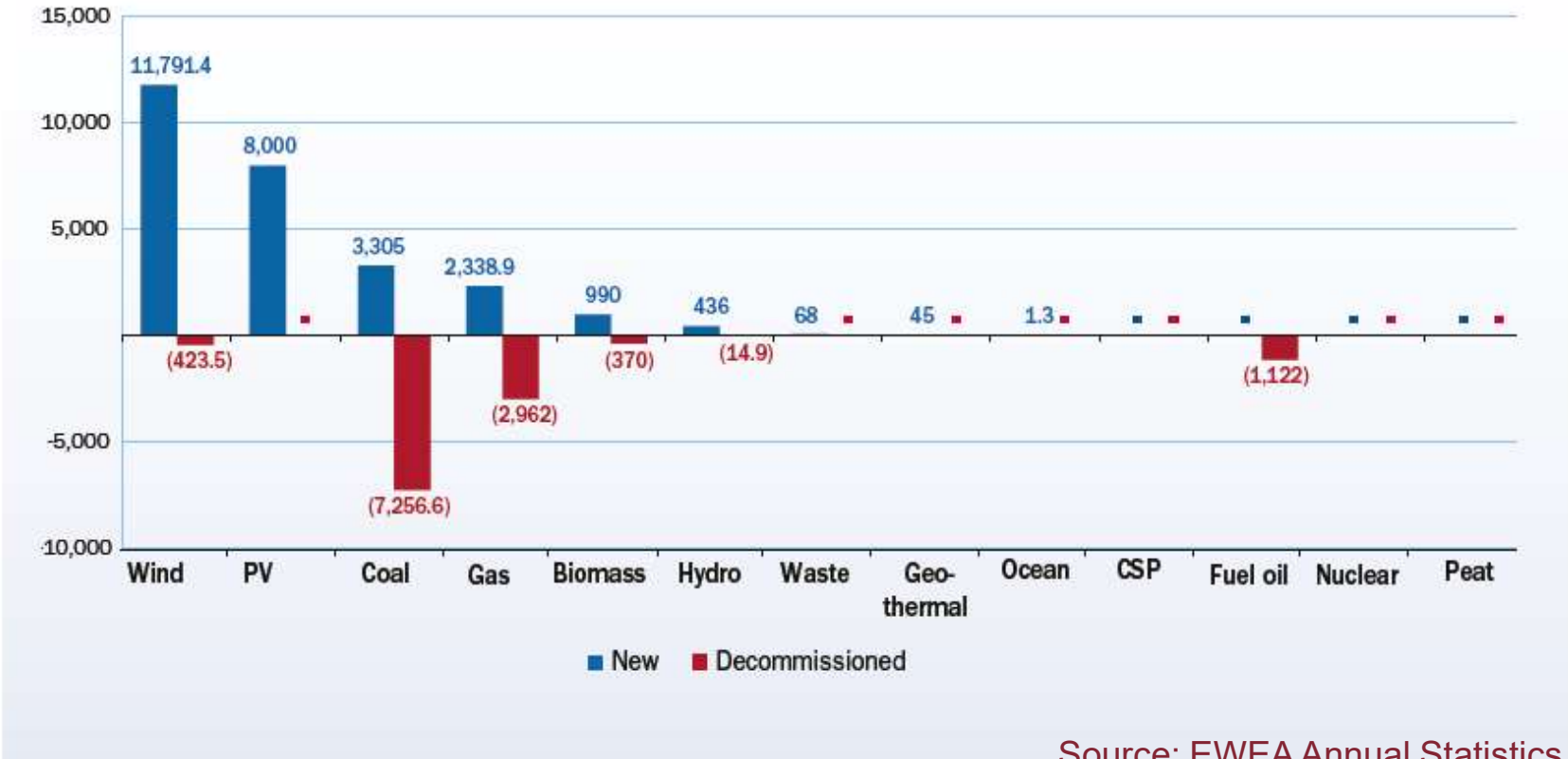
## Istallazioni 2015 - EU

SHARE OF NEW POWER CAPACITY  
INSTALLATIONS IN EU (MW)  
TOTAL 26.975,5 MW

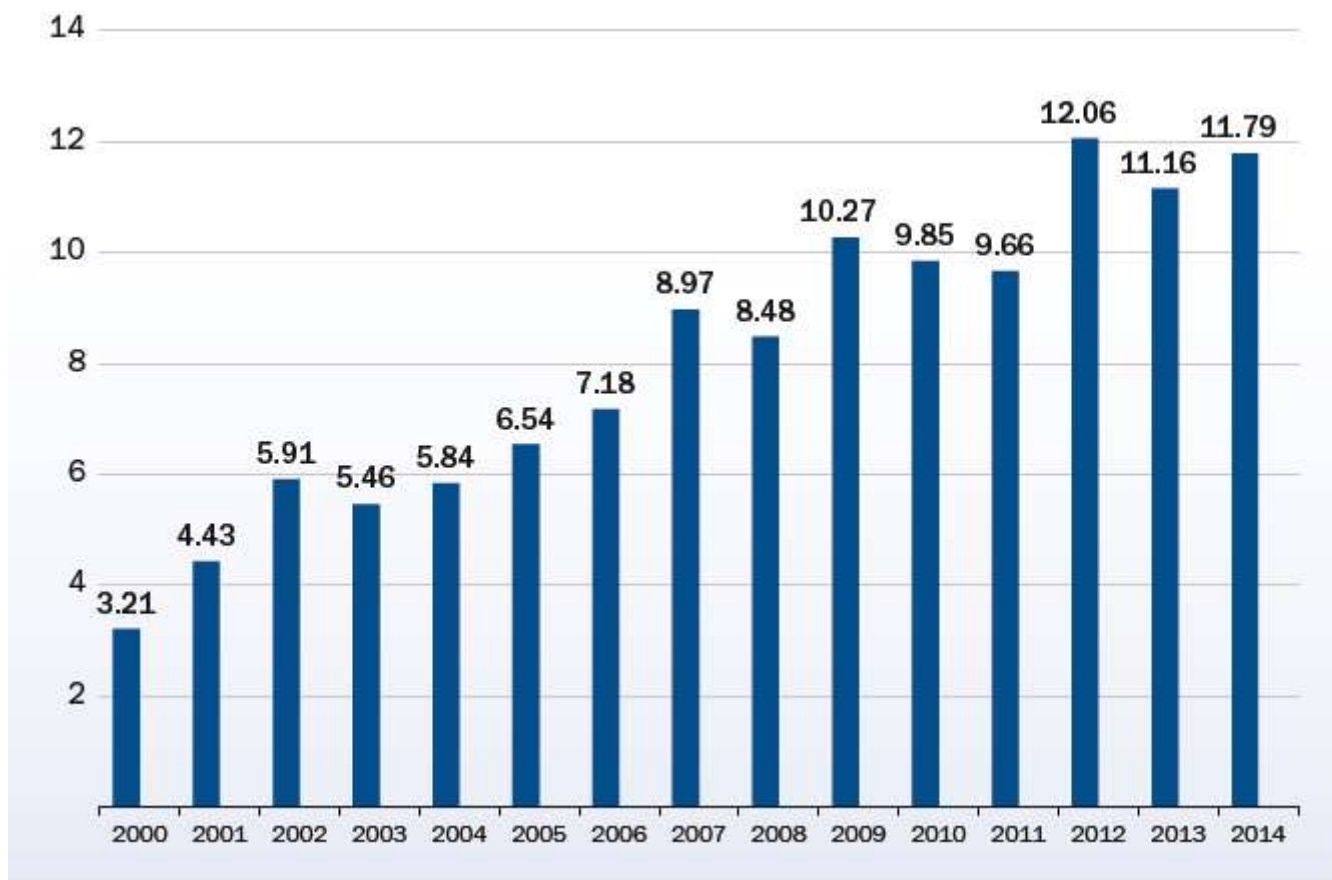


Source: EWEA Annual Statistics 2015

# Andamento installazioni/decommissioning

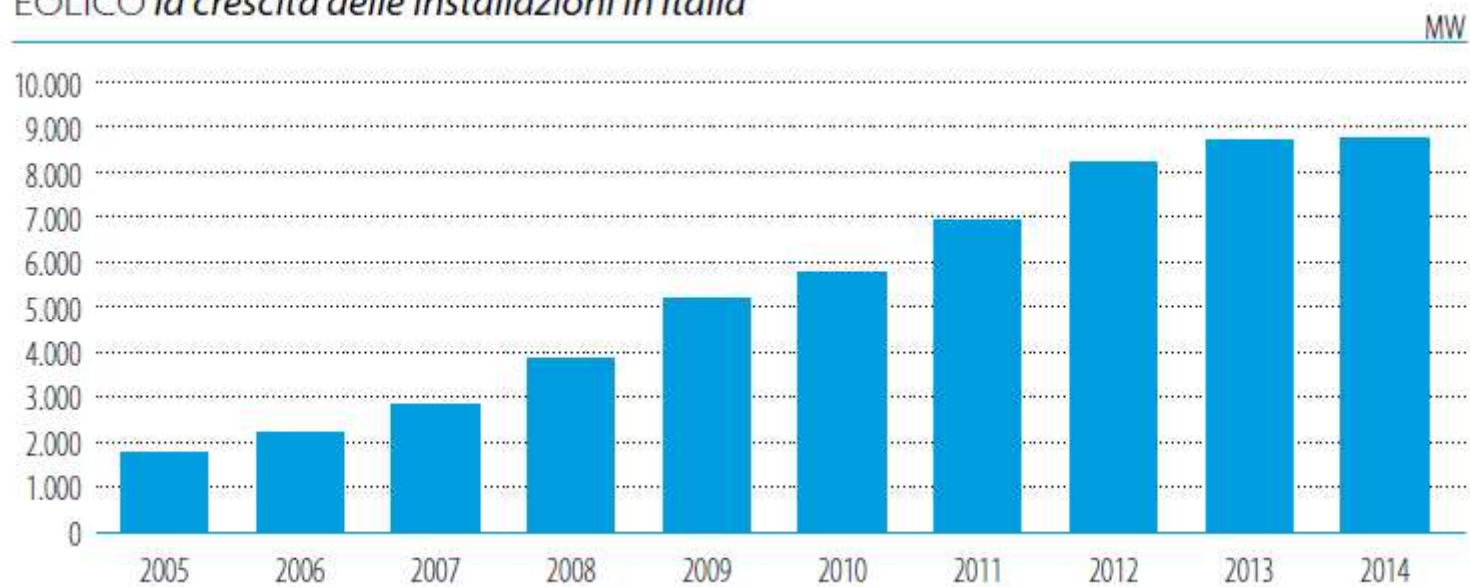


## Istallazioni eolico 2015 – EU (GW)



# Istallazioni eolico Italia

EOLICO *la crescita delle installazioni in Italia*

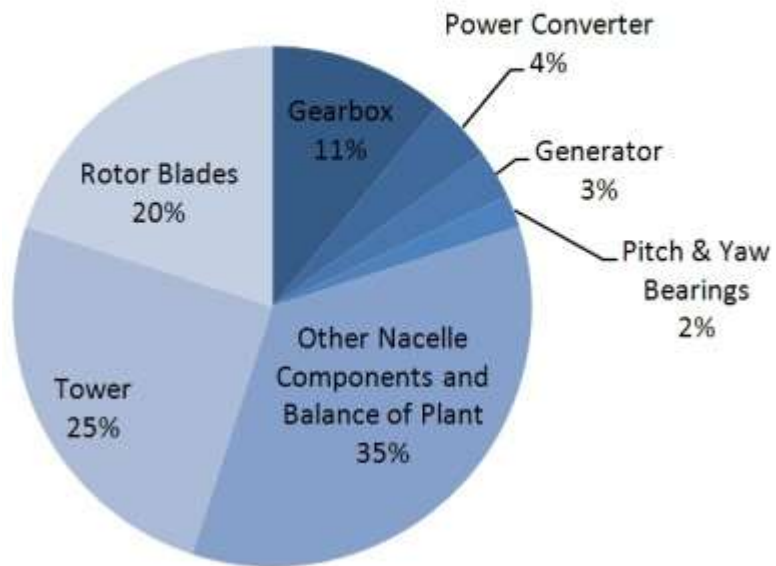


Rapporto "Comuni Rinnovabili 2015" di Legambiente



# Costi di investimento per un impianto eolico

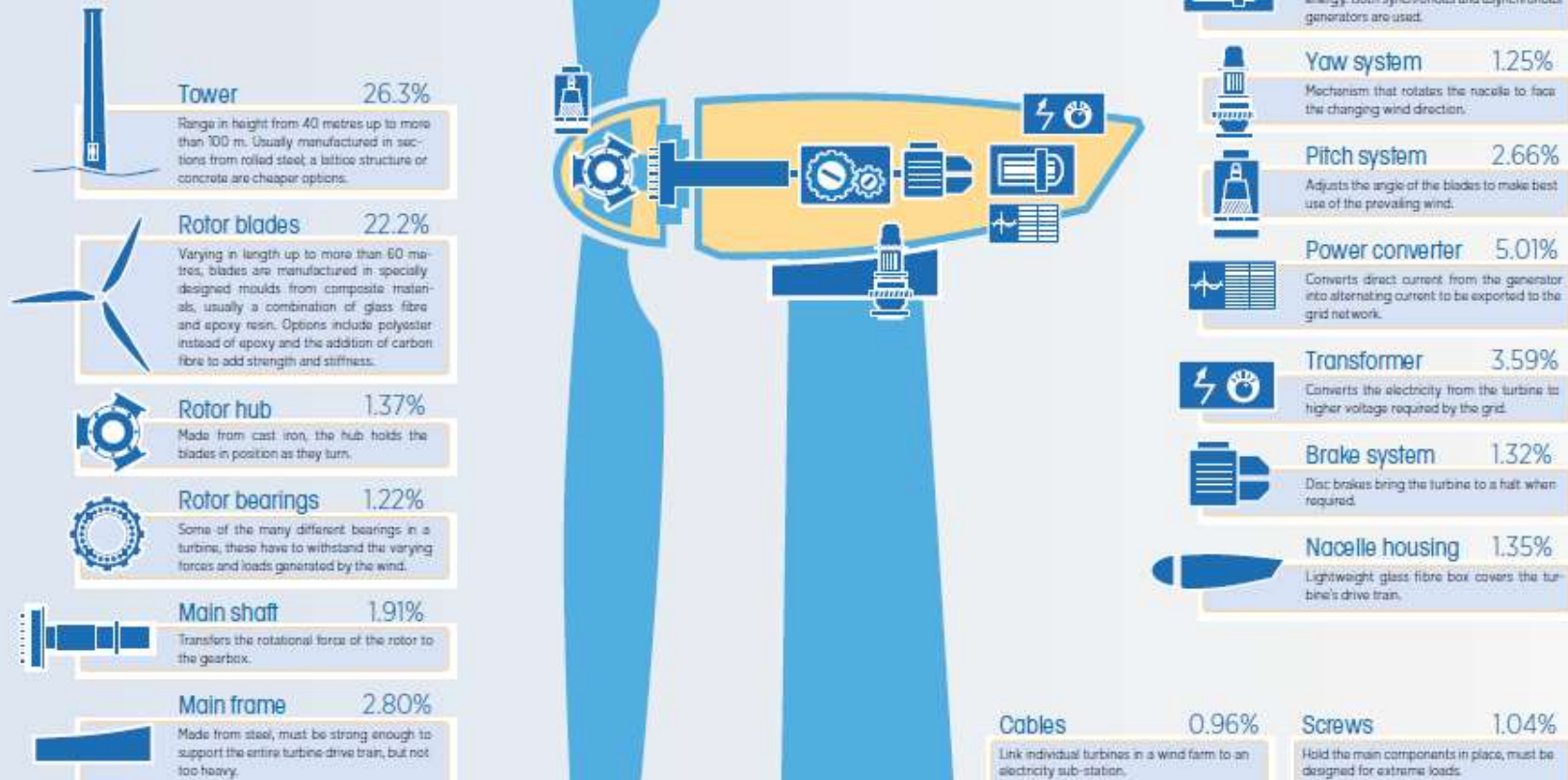
**CAPEX cost breakdown for a wind turbine**



# Costi di investimento per un impianto eolico

## How a wind turbine comes together

A typical wind turbine will contain up to 8000 different components. This guide shows the main parts and their contribution in percentage terms to the overall cost. Figures are based on a REpower MM92 turbine with 45.3 metre length blades and a 100 metre tower.



# Wind farm step by step



# Wind farm step by step



## Wind farm step by step



# Wind farm step by step



# Wind farm step by step



## Wind farm step by step





# Wind farm step by step



# Wind farm step by step



# Wind farm step by step



## Wind farm step by step



## Wind farm step by step



# Wind farm - FAILURES

