



# ENERGIA EOLICA

IL VENTO È IL RISULTATO DELL'ESPANSIONE E DEL MOTO CONVETTIVO DELL'ARIA CAUSATI DAL RISCALDAMENTO IRREGOLARE DEL SOLE SU GRANDI AREE DELLA SUPERFICIE TERRESTRE.

L'UTILIZZAZIONE INDUSTRIALE DELL'ENERGIA EOLICA SI È SVILUPPATA SOPRATTUTTO NEGLI ANNI '80 GRAZIE ALLA DIFFUSIONE DELLE *WIND-FARMS* IN DANIMARCA E USA, MENTRE NELLA PRIMA METÀ DEGLI ANNI '90 SONO STATI LA GERMANIA E L'INDIA I PAESI CHE HANNO REGISTRATO I MAGGIORI TRENDS DI CRESCITA. NEGLI ULTIMI ANNI ANCHE IN SPAGNA VI È STATO UN FORTE INCREMENTO DELLA POTENZA INSTALLATA.

I PROGRESSI COMPIUTI NEGLI ULTIMI ANNI NELLA MESSA A PUNTO DELLE TECNOLOGIE, HANNO ORMAI CONSOLIDATO LA CONVINZIONE CHE QUESTA FONTE POSSA FORNIRE UN CONTRIBUTO NON TRASCURABILE ALLA PRODUZIONE DI ELETTRICITÀ.



## ASPETTI POSITIVI DELL'ENERGIA EOLICA

- NON OCCUPA UN'AREA MOLTO VASTA (3-5% DEL TERRENO DISPONIBILE).
- INCREMENTA L'ECONOMIA LOCALE E IL LAVORO.
- LA CONVERSIONE DELLA POTENZA DEL VENTO IN ELETTRICITÀ È EFFICIENTE (RENDIMENTO TEORICO 59%).
- NON PRODUCE EMISSIONI CLIMALTERANTI.
- È FACILE SMANTELLARE LE TURBINE QUANDO RAGGIUNGONO LA FINE DELLA LORO VITA LAVORATIVA E IL SITO PUÒ ESSERE RIPORTATO NELLE CONDIZIONI INIZIALI.
- L'INDUSTRIA MONDIALE È IN CRESCITA E C'È UNA CONSIDEREBILE POTENZIALITÀ DI ESPORTAZIONE.
- I PROGETTI SONO SEMPLICI E POCO COSTOSI DA MANTENERE.
- CONTRIBUISCE AL RIFORNIMENTO DI ELETTRICITÀ ATTRAVERSO LA DIVERSITÀ E PUÒ SUPPORTARE LA RETE ELETTRICA LOCALE.
- I COSTI STANNO DIMINUENDO RAPIDAMENTE E CI SI ASPETTA CHE ENTRO IL 2005 DIMINUIRANNO DEL 25%.
- LA TECNOLOGIA È BEN AFFERMATA.
- LA VITA DI UNA TURBINA È DI ALMENO 20/25 ANNI.
- LA CAPACITÀ DELLE MACCHINE VARIA DA POCHES CENTINAIA DI W A MOLTI MW E CIÒ PUÒ VENIRE INCONTRO ALLE ESIGENZE SIA DELLE ABITAZIONI PRIVATE CHE DELL'USO INDUSTRIALE.

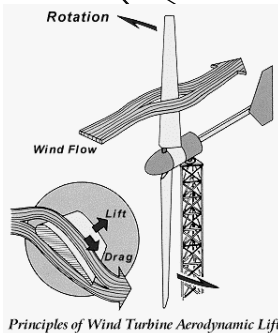


## PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

IL VENTO PASSA SU ENTRAMBE LE FACCE DELLA PALA, PIÙ VELOCEMENTE SUL LATO SUPERIORE, CREANDO UN'AREA DI BASSA PRESSIONE. QUESTA DIFFERENZA DI PRESSIONE TRA LE DUE SUPERFICI HA COME RISULTATO UNA FORZA CHIAMATA PORTANZA AERODINAMICA (*LIFT*).

LA PORTANZA SULL'ALA DI UN AEREO LO FA ALZARE DA TERRA, IN UN *AEROGENERATORE*, POICHÉ LE PALE SONO VINCOLATE A MUOVERSI SU DI UN PIANO, CAUSA LA ROTAZIONE INTORNO AL MOZZO. CONTEMPORANEAMENTE SI GENERA UNA FORZA DI TRASCINAMENTO (*DRAG*), PERPENDICOLARE ALLA PORTANZA CHE SI OPpone AL MOTO.

IL PRIMO OBIETTIVO NEL PROGETTO DI UNA TURBINA EOLICA È QUELLO DI AVERE UN ALTO RAPPORTO PORTANZA-TRASCINAMENTO.



Principles of Wind Turbine Aerodynamic Lift



## LE TURBINE EOLICHE

LA MAGGIOR PARTE DELLE TURBINE È PROGETTATA PER GENERARE LA MASSIMA POTENZA AD UNA PREFISSATA VELOCITÀ DEL VENTO. QUESTA È NOTA COME *RATED POWER* E LA VELOCITÀ DEL VENTO A CUI VIENE RAGGIUNTA È DETTA *RATED WIND SPEED*. LA *RATED WIND SPEED* È SCELTA IN BASE ALLA VELOCITÀ ANEMOLOGICA LOCALE E DI SOLITO È CIRCA 1,5 VOLTE LA VELOCITÀ MEDIA.

IN BASE ALLA DISPOSIZIONE DELL'ASSE DEL ROTORE RISPETTO ALLA DIREZIONE DEL VENTO GLI AEROGENERATORI SONO CLASSIFICATI IN DUE GRANDI CATEGORIE:

- AD ASSE ORIZZONTALE;
- AD ASSE VERTICALE.

I PRIMI SONO ANCORA OGGI QUELLI CARATTERIZZATI DAL MAGGIORE SVILUPPO TECNOLOGICO E DALLA MAGGIORE DIFFUSIONE COMMERCIALE. I PIÙ DIFFUSI HANNO IL ROTORE A TRE PALE (CON MOZZO RIGIDO, MA NE ESISTONO ANCHE A DUE E UNA PALA CON MOZZO NON RIGIDO (CON ALCUNI GRADI DI LIBERTÀ)).

LE TURBINE A TRE PALE HANNO IL ROTORE CHE SI ORIENTA MEDIANTE UN OPPORTUNO MECCANISMO VERSO LA DIREZIONE DEL VENTO E, GENERALMENTE, UTILIZZANO UN GENERATORE ASINCRONO.

LE TURBINE A DUE PALE SONO MENO COSTOSE E PIÙ LEGGERE MA HANNO LO SVANTAGGIO DI RICHIEDERE UNA VELOCITÀ DI ROTAZIONE MAGGIORE A PARITÀ DI ENERGIA PRODOTTA. QUESTA È UNA CARATTERISTICA NEGATIVA DAL PUNTO DI VISTA DEL RUMORE E DELL'IMPATTO VISIVO.

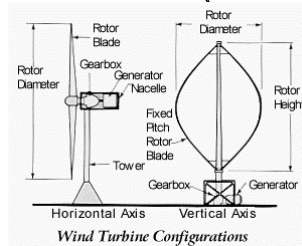


## CONFIGURAZIONE GENERALE DI UNA TURBINA EOLICA

LE PALE (*BLADES*) DELLA MACCHINA SONO FISSATE SU UN MOZZO (*HUB*) E NELL'INSIEME COSTITUISCONO IL ROTORE (*ROTOR*). IL MOZZO A SUA VOLTA È COLLEGATO A UN PRIMO ALBERO (*MAIN SHAFT*), O ALBERO LENTO, CHE RUOTA ALLA STESSA VELOCITÀ ANGOLARE DEL ROTORE. L'ALBERO LENTO È COLLEGATO AD UN MOLTIPLICATORE DI GIRI (*GEARBOX*), DA CUI SI DIPARTE UN ALBERO VELOCE (*DRIVE SHAFT*) CHE RUOTA CON VELOCITÀ ANGOLARE DATA DA QUELLA DELL'ALBERO LENTO PER IL RAPPORTO DI MOLTIPLICAZIONE DEL MOLTIPLICATORE. SULL'ALBERO VELOCE È POSTO UN FRENO (*BRAKE*) A VALLE DEL QUALE C'È IL GENERATORE ELETTRICO (*GENERATOR*) DA CUI SI DIPARTONO I CAVI ELETTRICI DI POTENZA.

TUTTI I COMPONENTI MENZIONATI SONO UBICATI NELLA NAVICELLA (*NACELLE*), A SUA VOLTA, POSIZIONATA SU UN SUPPORTO CUSCINETTO (*YAW RING*) IN MANIERA DA ESSERE FACILMENTE ORIENTABILE A SECONDA DELLA DIREZIONE DEL VENTO.

L'INTERA NAVICELLA È POSIZIONATA SU UNA TORRE (*TOWER*) CHE PUÒ ESSERE A TRALICCIO O CONICA TUBOLARE.



OLTRE A TALI COMPONENTI, È PRESENTE UN SISTEMA DI CONTROLLO CHE HA DIVERSE FUNZIONI:

- IL CONTROLLO DELLA POTENZA, CHE PUÒ ESSERE ESEGUITO RUOTANDO LE PALE INTORNO AL LORO ASSE PRINCIPALE (SISTEMA DI ATTUAZIONE DEL PASSO, *PITCH REGULATION*), IN MODO DA AUMENTARE O RIDURRE LA SUPERFICIE ESPOSTA AL VENTO, O ANCHE TRAMITE LA SCELTA DI UN OPPORTUNO PROFILO DELLE PALE (*STALL REGULATION*);
- IL CONTROLLO DELL'ORIENTAMENTO DELLA NAVICELLA, DETTO CONTROLLO DELL'IMBARDATA (*YAW CONTROL*), CHE SERVE A MANTENERE LA MACCHINA ORIENTATA NELLA DIREZIONE DEL VENTO, MA CHE PUÒ ANCHE ESSERE UTILIZZATO, IN LINEA DI PRINCIPIO, PER IL CONTROLLO DELLA POTENZA;
- L'AVVIAMENTO DELLA MACCHINA QUANDO È PRESENTE UN VENTO DI VELOCITÀ SUFFICIENTE (*CUT-IN WIND SPEED*) E LA FERMATA DELLA MACCHINA, QUANDO VI È UN VENTO DI VELOCITÀ SUPERIORE A QUELLA MASSIMA PER LA QUALE LA MACCHINA È PROGETTATA (*CUT-OFF WIND SPEED*).



## PROGETTAZIONE ED EVOLUZIONE DELLE TURBINE EOLICHE

I RISULTATI PIÙ EVIDENTI NELL'EVOLUZIONE DELLA PROGETTAZIONE SONO MIGLIORI PROFILI AERODINAMICI E L'USO DI NUOVI MATERIALI SIA METALLICI SIA POLIMERICI E IL PASSAGGIO DAI PROGETTI CHE MASSIMIZZANO LA COPPIA MOTRICE A QUELLI CHE MASSIMIZZANO L'ENERGIA.

LA TURBINA IDEALE DOVREBBE AVERE UN ALTO NUMERO DI PALE SLANCIATE E VELOCI, CON UN PROFILO AREODINAMICO CON UN ELEVATO RAPPORTO POTENZA/RESISTENZA.

ESIGENZE STRUTTURALI PERMETTONO SOLO POCHE PALE LARGHE E DI SPESSORE PIÙ ELEVATO.

IN ITALIA SONO STATE PROGETTATE ED UTILIZZATE MACCHINE MONO E BIPALA, CHE SI ADATTANO MEGLIO ALLE CONDIZIONI ANEMOLOGICHE TURBOLENTE DEL NOSTRO PAESE MA CHE SONO ORMAI OBSOLETE.

GLI ULTIMI PROGETTI INCLUDONO INOLTRE VARIE SOLUZIONI PER AUMENTARE L'ENERGIA PRODOTTA, AD ESEMPIO:

- o ALBERI A DUE VELOCITÀ: AUMENTA LA RESA A VELOCITÀ DEL VENTO BASSA;
- o ALBERI A VELOCITÀ VARIABILE: SI FA GIRARE IL ROTORE ALLA STESSA VELOCITÀ DI QUELLA DEL VENTO E COSÌ SI AUMENTA LA RESA.

DI SOLITO LE MACCHINE MODERNE INIZIANO A FUNZIONARE QUANDO LA VELOCITÀ DEL VENTO RAGGIUNGE CIRCA 15 km/h, RAGGIUNGONO IL LORO RATED POWER DAI 40 AI 48 km/h, E SI FERMANO QUANDO LA VELOCITÀ DEL VENTO RAGGIUNGE I 100 km/h.



## CLASSIFICAZIONE DELLE TURBINE

LE MODERNE TURBINE AD ASSE ORIZZONTALE SI POSSONO DIVIDERE IN TRE CATEGORIE, ASSUMENDO COME CRITERIO DISCRIMINANTE LA TAGLIA INTESA COME POTENZA DEL GENERATORE COLLEGATO ALLE PALE E COME DIAMETRO DEL ROTORE.



VANTAGGI NELL'USO DI GRANDI TURBINE

- o MACCHINE PIÙ GRANDI SONO IN GRADO DI PRODURRE ELETTRICITÀ A COSTI MINORI. QUESTO PERCHÉ I COSTI PER LE INFRASTRUTTURE, LA CONNESSIONE ALLA RETE E DI ALCUNI COMPONENTI DEL SISTEMA SONO INDIPENDENTI DALLE DIMENSIONI
- o I GENERATORI EOLICI RICHIEDONO UNA GRANDE QUANTITÀ DI SPAZIO, QUINDI IN AREE DOVE È DIFFICILE TROVARE SPAZIO PER PIÙ DI UNA TURBINA, ROTORI PIÙ GRANDI E PIÙ ALTI FANNO UN USO PIÙ EFFICIENTE DELLA RISORSA VENTO

VANTAGGI NELL'USO DI PICCOLE E MEDIE TURBINE

- o LA RETE LOCALE PUÒ NON ESSERE IN GRADO DI SOSTENERE L'ELETTRICITÀ IMMESA DA UNA GRANDE TURBINA.
- o LE FLUTTUAZIONE DELL'ELETTRICITÀ PRODOTTA DA DIVERSI AEROGENERATORI È INFERIORE A QUELLA DI UNA SOLA TURBINA PIÙ GRANDE.

- o IL RISCHIO DI GUASTO TEMPORANEO SI DISTRIBUISCE TRA TUTTE LE TURBINE PRESENTI.



## **BARRIERE ALLO SVILUPPO DELL'EOLICO** **IMPATTO VISIVO E OCCUPAZIONE DEL TERRITORIO**

L'IMPATTO VISIVO È LA BARRIERA PIÙ RILEVANTE DELL'EOLICO. MOLTO SPESSO, INFATTI, I SITI DI INTERESSE RIGUARDANO AREE DI NOTEVOLE VALORE AMBIENTALE E PAESAGGISTICO. QUINDI L'IMPIANTO PUÒ ENTRARE IN CONTRADDIZIONE CON LE ESIGENZE DI SALVAGUARDIA DELLO SCENARIO D'INSIEME E DELLA VISUALE DEI CRINALI.

È POSSIBILE RIDURRE AL MINIMO GLI EFFETTI VISIVI "SGRADEVOLI" LEGATI ALLA PRESENZA DELLE TURBINE ATTRAVERSO SOLUZIONI COSTRUTTIVE QUALI L'IMPIEGO DI TORRI TUBOLARI O A TRALICCIO A SECONDA DEL CONTESTO E DI COLORI NEUTRI PER FAVORIRE L'INTEGRAZIONE NEL PAESAGGIO, L'ADOZIONE DI CONFIGURAZIONI GEOMETRICHE REGOLARI.

IL TERRENO EFFETTIVAMENTE OCCUPATO DALLE MACCHINE E DAI SERVIZI ANNESSI È PARI AD UNA MINIMA PARTE DEL TERRITORIO DEL PARCO EOLICO, ESSENDO LA RESTANTE PARTE RICHIESTA SOLO PER LE ESIGENZE DI DISTANZA FRA LE TURBINE PER EVITARE IL FENOMENO DELL'INTERFERENZA AERODINAMICA. È QUINDI POSSIBILE CONTINUARE A UTILIZZARE IL TERRITORIO ANCHE PER ALTRI IMPIEGHI, COME L'AGRICOLTURA E LA PASTORIZIA, SENZA ALCUNA CONTROINDICAZIONE.

L'INCREMENTO DELLA POTENZA UNITARIA DELLE TURBINE CONSENTE DI OTTENERE UNA RIDUZIONE DEL TERRITORIO OCCUPATO A PARITÀ DI POTENZA INSTALLATA.



## **BARRIERE ALLO SVILUPPO DELL'EOLICO** **RUMORE**

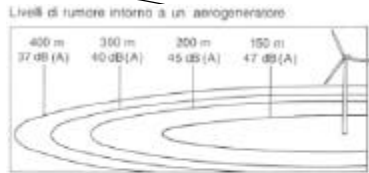
ANCHE QUESTO ASPETTO VIENE CONSIDERATO CON ATTENZIONE, IN QUANTO LE TURBINE PRODUCONO RUMORE GENERATO DAI COMPONENTI ELETTROMECCANICI E SOPRATTUTTO DA FENOMENI AERODINAMICI CHE HANNO LUOGO CON LA ROTAZIONE DELLE PALE E DIPENDONO DALLE LORO CARATTERISTICHE E DALLA VELOCITÀ PERIFERICA.

TUTTAVIA, IL PROBLEMA È SICURAMENTE TRASCURABILE OVE SI TENGA CONTO DI DUE ELEMENTI.

IL PRIMO È CHE IL RUMORE PERCEPITO IN PROSSIMITÀ DI IMPIANTI EOLICI VIENE TALVOLTA ERRONEAMENTE ATTRIBUITO AI SOLI GENERATORI EOLICI, IN REALTÀ IN ZONE VENTOSE E A QUALCHE CENTINAIA DI METRI DI DISTANZA DAI GENERATORI STESSI, IL RUMORE DI FONDO CAUSATO DAL VENTO È PARAGONABILE A QUELLO DOVUTO AGLI AEROGENERATORI.

INOLTRE, ANCHE A BREVE DISTANZA DALLE MACCHINE, NEL RAGGIO DI 200 METRI, IL RUMORE CHE SI PERCEPISCE È MOLTO SIMILE COME INTENSITÀ A QUELLO CUI SI È SOTTOPOSTI IN SITUAZIONI ORDinarie CHE SI VIVONO QUOTIDIANAMENTE QUALI LO STARE IN UNA VETTURA IN MOVIMENTO O IN UN UFFICIO. PERTANTO, ANCHE GLI OPERATORI CHE SI TROVASSERO A LAVORARE ALL'INTERNO DELL'AREA ADIBITA A CENTRALE SAREBBERO SOTTOPOSTI A UN DISTURBO, DOVUTO AL RUMORE, DEL TUTTO ACCETTABILE.

IN OGNI CASO, A UNA DISTANZA DI CIRCA 4-500 METRI DALL'IMPIANTO GLI EFFETTI SONORI DOVUTI ALLA PRESENZA DELLE MACCHINE EOLICHE DIVENTA DEL TUTTO TRASCURABILE.



Distribuzione spaziale del rumore prodotto da un moderno aerogeneratore in terreno aperto e pianeggiante e confronto con i livelli sonori relativi ad altre sorgenti (Fonte ISES Italia)



Lay-out e curve di rumore di un parco eolico tipo in funzionamento a potenza nominale



## **BARRIERE ALLO SVILUPPO DELL'EOLICO** **INTERFERENZE ELETTROMAGNETICHE SULLE TELECOMUNICAZIONI**

L'ORIGINE DI DISTURBI ELETTROMAGNETICI DOVUTI ALLA PRESENZA DI AEROGENERATORI È DA RICERCARE NELLA INTERFERENZA DELLE PALE (SPECIALMENTE SE IN MATERIALI METALLICI O RIFLETTENTI O SE DOTATE DI STRUTTURE METALLICHE ALL'INTERNO) E DEI SOSTEGNI CON CAMPI ELETTROMAGNETICI SUPPORTO DI TELECOMUNICAZIONI (TELEVISIONE, SEGNALI DI PONTI RADIO, MEZZI DI AIUTO ALLA RADIONAVIGAZIONE, ECC.)

I RISULTATI DELLE RICERCHE SU QUESTO TEMA SONO IN GENERE CONFORTANTI E MOSTRANO CHE È POSSIBILE EVITARE DEL TUTTO LE INTERFERENZE CON OPPORTUNI ACCORGIMENTI SOPRATTUTTO CONSIDERANDO IL PROGRESSIVO RICORSO A MATERIALI NON METALLICI NELLA COSTRUZIONE DELLE TURBINE.



## **BARRIERE ALLO SVILUPPO DELL'EOLICO EFFETTI SU FLORA E FAUNA**

PER QUANTO RIGUARDA LA FLORA, DALLA ESPERIENZE MATURATE IN PAESI CON ELEVATA DIFFUSIONE DELL'EOLICO NON RISULTA ALCUN EFFETTO MISURABILE.

PER QUANTO RIGUARDA LA FAUNA, SONO GLI UCCELLI STANZIALI E, SOPRATTUTTO, MIGRATORI E I PIPISTRELLI A POTER SUBIRE EFFETTI DOVUTI ALLA PRESENZA DELLE TURBINE: C'È INFATTI IL RISCHIO DI COLLISIONE CON LE PALE.

A TALE RIGUARDO, ALCUNI DATI RIFERITI ALLE CENTRALI EOLICHE DI ALTAMON PASS (STATI UNITI) E TARIFA (SPAGNA) HANNO EVIDENZIATO DANNI AGLI UCCELLI ABBASTANZA CONTENUTI E COMUNQUE NON SUPERIORI A QUELLI CAUSATI DA QUALUNQUE ALTRA COSTRUZIONE UMANA.

VI SONO IN MERITO ALCUNI DATI SPERIMENTALI: TRA IL 1989 E IL 1991, PRESSO LA CENTRALE EOLICA DI ALTAMON PASS SONO STATI TROVATI MORTI 182 UCCELLI.

QUESTI DATI POSSONO SEMBRARE RILEVANTI: IN REALTÀ, SE CONFRONTATI CON I DANNI PRODOTTI DA ALTRE CENTRALI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA QUALUNQUE ALTRA FONTE CONVENZIONALE, MOSTRANO CHE L'IMPATTO DELL'ENERGIA EOLICA SULL'AVIFAUNA È DEL TUTTO ACCETTABILE.

PRESSO LA CENTRALE DI TARIFA (SPAGNA) È STATO ESEGUITO UN ACCURATO MONITORAGGIO DEI DANNI AGLI UCCELLI E SI È RILEVATA UNA SORTA DI "EVOLUZIONE ADATTATIVA" DEGLI UCCELLI STESSI ALLE MUTATE CONDIZIONI AMBIENTALI, CON UNA SENSIBILE RIDUZIONE NEL TEMPO DEL NUMERO DI ESEMPLARI DANNEGGIATI DALLA PRESENZA DEI GENERATORI.



## **BARRIERE ALLO SVILUPPO DELL'EOLICO ITER AUTORIZZATIVI**

- CONCESSIONE EDILIZIA O ALTRO ATTO ABILITATIVO RILASCIATO DAL COMUNE COMPETENTE PER TERRITORIO
- AUTORIZZAZIONE ALL'INSTALLAZIONE DA PARTE DELLA PROVINCIA
- NULLA OSTA AMBIENTALE A SEGUITO DELLA PROCEDURA DI VIA DA PARTE DELLA REGIONE
- NULLA OSTA AI SENSI DEL REGIO DECRETO 3267 DEL 1923 DA PARTE DELL'ISPettorATO FORESTALE IN CASO DI PRESENZA DI VINCOLO IDROGEOLOGICO
- NULLA OSTA IN CASO DI PRESENZA DI VINCOLO PAESISTICO
- NULLA OSTA DELLA SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGICA
- NULLA OSTA DELLE FORZE ARMATE PER LA SICUREZZA DEL VOLO A BASSA QUOTA
- NULLA OSTA DELL'ENAC E DELL'ENAV PER LA SICUREZZA DEL VOLO E PER LA SEGNALAZIONE DEGLI OSTACOLI VERTICALI
- AUTORIZZAZIONE DEL GENIO CIVILE ALLA COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DELL'ELETTRODOTTO DI COLLEGAMENTO E DELLA CABINA DI TRASFORMAZIONE
- AUTORIZZAZIONE AL COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE RILASCIATA DAL GRTN
- EVENTUALI ALTRI PARERI O NULLA OSTA QUALORA VI SIANO PARTICOLARI VINCOLI
- PARERE SULL'INTERFERENZA ALLE RADIOFREQUENZE DA PARTE DEL MINISTERO DELLE TELECOMUNICAZIONI
- PARERE FAVOREVOLE DELLA ASI



## **SOLUZIONI IMPIANTISTICHE** **IMPIANTI COLLEGATI ALLA RETE DI DISTRIBUZIONE**

I PARCHI EOLICI (*WIND FARMS*) SONO GRUPPI DI PIÙ TURBINE INTERCONNESSE. L'USO DI QUESTO TIPO DI DISPOSIZIONE È DETTATO DA ESIGENZE ECONOMICHE E FUNZIONALI: LA SOLUZIONE PIÙ VANTAGGIOSA ECONOMICAMENTE, INFATTI, È QUELLA DI GENERARE POTENZA CON 10-30 MACCHINE. LE MACCHINE EOLICHE, INOLTRE, DEVONO ESSERE POSIZIONATE SUL TERRITORIO A DEBITA DISTANZA L'UNA DALL'ALTRA, PER EVITARE IL FENOMENO DELL'INTERFERENZA AERODINAMICA, CHE HA DUE TIPI DI CONSEGUENZE. IL PRIMO È CORRELATO ALL'AUMENTO DELLA TURBOLENZA SULLE MACCHINE POSIZIONATE ALL'INTERNO DI UN PARCO EOLICO, IL SECONDO ALLE PERDITE DI POTENZA. LA DISTANZA FRA LE MACCHINE SI ESPRIME IN NUMERI DI DIAMETRI DELLA MACCHINA. NEL CASO DI PARCHI EOLICI POSTI IN SITI CON VENTI MULTIDIREZIONALI, LA DISTANZA RACCOMANDATA È PARI A 7 DIAMETRI (CIRCA 350-450 METRI), MENTRE QUELLA TRA LE FILE PERPENDICOLARI ALLA DIREZIONE DEL VENTO PARI A 3-5 DIAMETRI (IN GENERALE 150-180 METRI).



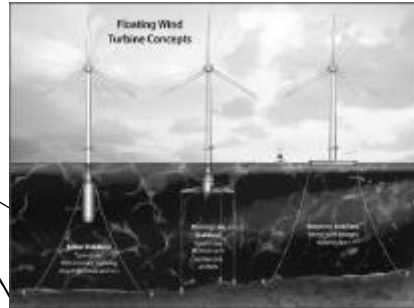
LE TURBINE POSSONO ESSERE COLLOCATE SULLA TERRA FERMA (*ON-SHORE*) O FUORI COSTA (*OFF-SHORE*).

### IMPIANTI *ON-SHORE*





## IMPIANTI OFF-SHORE



I COSTI SONO PIÙ ALTI MA L'AUMENTO È COMPENSATO DALL'INCREMENTO DI PRODUZIONE ALMENO DEL 30%. LO SVILUPPO DI QUESTA MODALITÀ IMPIANTISTICA RICHIEDE UN NUMERO ELEVATO DI GRANDI AEROGENERATORI IN MODO DA COMPENSARE GLI ALTI COSTI DI INSTALLAZIONE, DI CONNESSIONE ALLA RETE A TERRA E MONITORAGGIO REMOTO. LE INSTALLAZIONI, SOPRATTUTTO PER MOTIVI ECONOMICI, SONO REALIZZATE SU FONDALI BASSI (<20 m) E POCO LONTANO DALLA COSTA.



## **SOLUZIONI IMPIANTISTICHE IMPIANTI NON COLLEGATI ALLA RETE DI DISTRIBUZIONE**

### RETI AUTONOME

LE RETI AUTONOME ALIMENTATE DA FONTE EOLICA COSTITUISCONO UNA PROMETTENTE APPLICAZIONE. LA FORNITURA DI ELETTRICITÀ A UTENZE CON UNA DOMANDA ELEVATA E LONTANE DALLA RETE VIENE GENERALMENTE ATTUATA MEDIANTE GENERATORI DIESEL. SPESSE PERÒ QUESTA SOLUZIONE È COSTOSA A CAUSA DEGLI ALTI COSTI DI MANUTENZIONE E FORNITURA (SENZA CONTARE L'ASPETTO AMBIENTALE).

È QUESTO IL TIPICO CASO DELLE ISOLE PICCOLE E MEDIE CONSIDERATO ANCHE CHE QUESTE PRESENTANO SICURAMENTE BUONI POTENZIALI EOLICI.

LA SOLUZIONE IDEALE È IL RICORSO AI SISTEMI IBRIDI. QUESTO TIPO DI IMPIANTI UTILIZZA LA FONTE EOLICA (O ALTRE RINNOVABILI ED IN SPECIAL MODO IL SOLARE FOTOVOLTAICO) IN CONGIUNZIONE CON UNA FONTE TRADIZIONALE (GENERALMENTE DIESEL). RISULTA PIUTTOSTO ECONOMICA NEL CASO DI CONNESSIONE A RETI DECENTRATE DI POTENZA FINO AL MW (È IL CASO DI PICCOLE ISOLE).

UN SISTEMA EOLICO-DIESEL È TIPICAMENTE COSTITUITO ANCHE DA TURBINE DI TAGLIA MEDIO-PICCOLA ASSOCIATE AD UN SISTEMA DI ACCUMULO E CONNESSE AD UNA RETE DI MEDIA O BASSA TENSIONE UTILIZZANDO IL GENERATORE DIESEL PER GARANTIRE LA CONTINUITÀ DELLA FORNITURA.

IL COSTO DEL kWh RISULTA MAGGIORE CHE NEL CASO DI GRANDI TURBINE MA COMUNQUE QUASI SEMPRE MINORE RISPETTO ALLA PRODUZIONE CON SOLO DIESEL, DIPENDENDO IN QUEST'ULTIMO CASO ANCHE DAI PROBLEMI DI APPROVVIGIONAMENTO.



## **SOLUZIONI IMPIANTISTICHE IMPIANTI NON COLLEGATI ALLA RETE DI DISTRIBUZIONE**

### UTENZE ISOLATE

LE UTENZE ISOLATE (CIOÈ UTENZE CHE NON È POSSIBILE RAGGIUNGERE CON LA RETE A CAUSA DEI COSTI) COSTITUISCONO UN'ALTRA APPLICAZIONE DELLE TURBINE EOLICHE.

PER QUEI SITI DOVE LA RISORSA VENTO È SUFFICIENTE (VELOCITÀ MEDIA ANNUA SOPRA I 6,5 m/s), L'ENERGIA EOLICA PUÒ OFFRIRE UN'ALTERNATIVA AFFIDABILE ED ECONOMICA PER SERVIRE UTENZE DOMESTICHE CONVENZIONALI.



## **ELEMENTI ECONOMICI**

I COSTI PER L'INSTALLAZIONE DI UNA CENTRALE EOLICA SI AGGIRANO MEDIAMENTE ATTORNO A 0,8/1 MILIONI DI EURO PER MW. TALI COSTI COMPREDONO TUTTE LE FASI NECESSARIE ALLO SVILUPPO DI UNA CENTRALE:

- o LA FASE INIZIALE (INDIVIDUAZIONE DEL SITO, MICROSITING, STUDIO ANEMOLOGICO, ITER AUTORIZZATIVI, ACCORDI CON I PROPRIETARI DEI TERRENI, ECC.);
- o LA PROGETTAZIONE ESECUTIVA DELLA CENTRALE;
- o LA REALIZZAZIONE DELLA CENTRALE.

I FATTORI CHE POSSONO AVERE UNA PIÙ MARCATA INFLUENZA SUI COSTI SONO LA SCELTA DEGLI AEROGENERATORI, L'ACCESSIBILITÀ AL SITO, LA DISTANZA DALLA RETE DI TRASPORTO DELL'ENERGIA ELETTRICA E LE CARATTERISTICHE TECNICHE DELLA STESSA.

I COSTI DI GESTIONE DELLA CENTRALE, COMPRESIVI DI MANUTENZIONE ORDINARIA, ASSICURAZIONE ED ALTRI COSTI DI GESTIONE, SONO STIMABILI INTORNO AL 3% ALL'ANNO DEL COSTO DI INSTALLAZIONE.



## DIFFUSIONE DELL' EOLICO

NEGLI ULTIMI CINQUE ANNI LA POTENZA EOLICA INSTALLATA È CRESCIUTA, SU SCALA MONDIALE, MEDIAMENTE DEL 30% ANNUO.

NEL 2001 SI È REGISTRATO UN AUMENTO RECORD: 6.500 MW, OLTRE IL 70% RISPETTO ALL'ANNO PRECEDENTE.

LA POTENZA EOLICA INSTALLATA HA RAGGIUNTO, SU SCALA MONDIALE, UN TOTALE DI POCO INFERIORE AI 60.000 MW (IL 75% SI TROVA IN EUROPA E PRODUCE 60 TWh ALL'ANNO PARI AL 2,4% DEI CONSUMI DELL'UNIONE EUROPEA).

AL PRIMO POSTO È LA GERMANIA CON UN TOTALE DI CIRCA 18 GW DI POTENZA INSTALLATA. L'ENERGIA EOLICA TEDESCA FORNISCE IL 10,5% DELLA PRODUZIONE NAZIONALE DI ELETTRICITÀ.

AL SECONDO POSTO È LA SPAGNA, CON UNA POTENZA EOLICA TOTALE DI CIRCA 10 GW CHE FORNISCE IL 8% DELLA PRODUZIONE NAZIONALE DI ELETTRICITÀ.

LA DANIMARCA, CON UNA POTENZA EOLICA INSTALLATA DI CIRCA 3.2 GW, È AL TERZO POSTO CON UNA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA PARI AL 20% DEL FABBISOGNO NAZIONALE.

AL QUARTO E QUINTO POSTO SEGUONO GLI STATI UNITI E L'INDIA.

QUESTI CINQUE PAESI TOTALIZZANO L'84% DELLA POTENZA EOLICA MONDIALE.

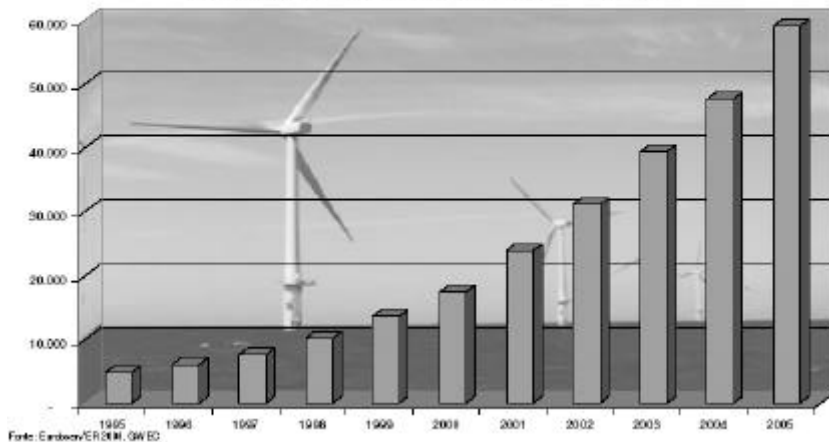


POTENZA EOLICA TOTALE INSTALLATA NEL MONDO 1995-2005 (MW)

1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
4.310	6.101	7.680	10.251	12.800	17.200	23.600	31.100	39.341	47.620	59.034

Fonte: E.ON Energy Research Center, GWEC

POTENZA EOLICA TOTALE INSTALLATA NEL MONDO 1995-2005 (MW)



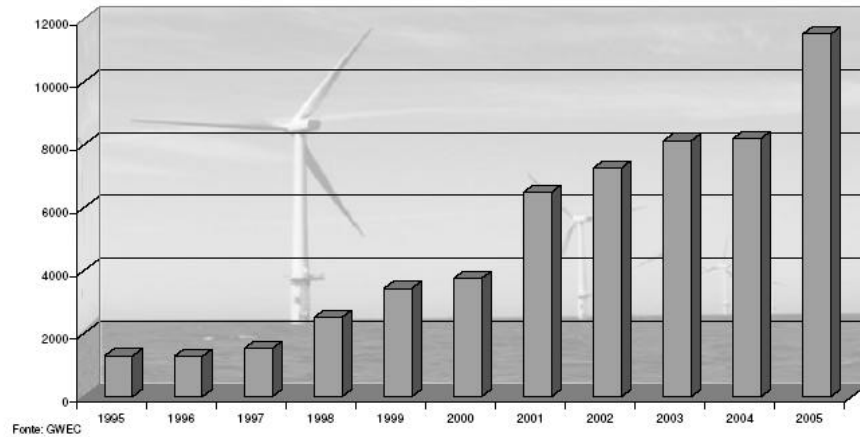


**POTENZA EOLICA INSTALLATA NEL MONDO PER ANNO 1995-2005 (MW)**

1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1290	1290	1530	2520	3440	3760	6500	7270	8133	8207	11531

Fonte: GWEC

**POTENZA EOLICA INSTALLATA NEL MONDO PER ANNO 1995-2005 (MW)**



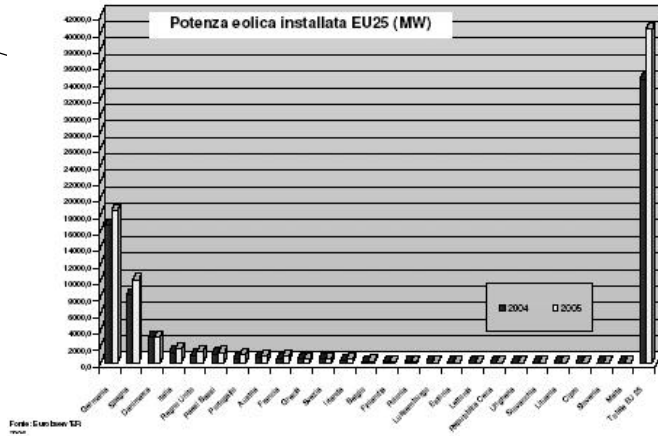
Fonte: GWEC



**Potenza eolica installata in EU 25 (MW) 2004-2005**

	2004	2005	Capacità installata nel 2005	Crescita [%]	Impianti dismessi
Germania	16628,8	18427,5	1807,8	10,80%	9,0
Spagna	8263,0	10027,9	1764,9	21,40%	0,0
Danimarca	3124,0	3128,0	22,0	0,10%	18,0
Italia	1265,8	1717,4	451,7	35,70%	0,0
Regno Unito	890,4	1337,2	446,8	50,20%	0,0
Paesi Bassi	1077,7	1219,0	154,0	13,10%	13,6
Portogallo	522,0	1021,6	499,6	95,70%	0,0
Austria	606,2	819,0	217,8	35,10%	5,0
Francia	382,3	756,0	373,7	97,80%	0,0
Grecia	472,6	472,6	100,7	21,30%	0,0
Svezia	442,0	492,0	50,0	11,30%	0,0
Irlanda	326,9	480,2	153,3	46,90%	0,0
Belgio	96,0	167,4	71,4	74,40%	0,0
Finlandia	82,0	82,0	4,0	0,00%	4,0
Polonia	68,1	71,8	3,7	5,50%	0,0
Lussemburgo	35,3	35,3	0,0	0,00%	0,0
Estonia	5,7	32,0	26,3	461,40%	0,0
Lettonia	24,0	24,0	0,0	0,00%	0,0
Repubblica Ceca	16,5	20,3	3,8	23,00%	0,0
Ungheria	3,3	17,5	14,2	437,70%	0,0
Slovacchia	5,1	5,1	0,0	0,00%	0,0
Lituania	0,9	0,9	0,0	0,00%	0,0
Cipro	0,0	0,0	0,0	-	0,0
Slovenia	0,0	0,0	0,0	-	0,0
Malta	0,0	0,0	0,0	-	0,0
<b>Totale EU 25</b>	<b>34338,5</b>	<b>40455,4</b>	<b>6165,7</b>	<b>17,90%</b>	<b>49,6</b>

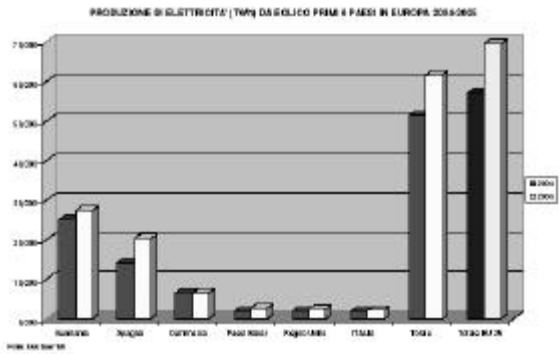
Fonte: EurObserv'ER 2006



### PRODUZIONE DI ELETTRICITÀ DA IMPIANTI EOLICI PRIMI 6 PAESI D'EUROPA NEL 2004 E 2005 (TWh)

	2004	2005
Germania	25,049	27,325
Spagna	14,179	20,280
Danimarca	6,649	6,579
Paesi Bassi	1,879	2,751
Regno Unito	1,935	2,504
ITALIA	1,022	2,224
<b>Totale</b>	<b>51,822</b>	<b>61,995</b>
<b>Totale EU 25</b>	<b>57,099</b>	<b>68,507</b>

Fonte: E.ON Energy Research Center





## LE PROSPETTIVE FUTURE

SI PREVEDE IN GENERALE UN FORTE SVILUPPO DELL'INDUSTRIA EOLICA CHE POTREBBE RAGGIUNGERE NEI PROSSIMI CINQUE ANNI, SU SCALA EUROPEA, UNA POTENZA INSTALLATA DI ALMENO 90.000 MW.

USANDO L'ENERGIA EOLICA, SI POTREBBE ENTRO IL 2020 PRODURRE IL 12% DEL FABBISOGNO ELETTRICO MONDIALE E ALMENO IL 20% DI QUELLO EUROPEO.

TRA I VARI PROGRAMMI NAZIONALI, LA FRANCIA PUNTERÀ DECISAMENTE SULL'ENERGIA DEL VENTO: IL MINISTRO DELL'INDUSTRIA FRANCESE HA INFATTI ANNUNCIATO UN PROGRAMMA DI 7-10.000 MW DI CENTRALI EOLICHE ENTRO IL 2010, CON UN INVESTIMENTO DI OLTRE 10 MLD DI EURO.

ANALOGHI PROGRAMMI SONO STATI PRESENTATI DALL'INDIA CHE PREVEDE 6.000 MW ENTRO IL 2012 E DALLA GRAN BRETAGNA CHE HA ILLUSTRATO IL PIANO DEL 10% DI RINNOVABILI AL 2010 DI CUI ALMENO 1.500 MW REALIZZATI CON CENTRALI EOLICHE OFF SHORE.

IN MOLTI PAESI DEL NORD EUROPA LA SOLUZIONE DI INSTALLARE CENTRALI EOLICHE NEI BRACCI DI MARE POCO PROFONDI È CONSIDERATA LA SOLUZIONE OTTIMALE PER SUPPLIRE ALLA MANCANZA DI VASTI SPAZI DISPONIBILI PER LE WIND FARMS, PER SUPERARE LA CRESCENTE OPPOSIZIONE AMBIENTALE ALL'USO ECCESSIVO DEL TERRITORIO, PER SFRUTTARE REGIMI DI VENTO PIÙ REGOLARI E COMPENSARE COSÌ I COSTI SENSIBILMENTE PIÙ ALTI.



## LA SITUAZIONE IN ITALIA E LE PROSPETTIVE FUTURE

L'ITALIA È A UN LIVELLO ANCORA BASSO, CON UNA POTENZA INSTALLATA DI 1.639 MW NEL 2005 (INCREMENTO DEL 44% RISPETTO AL 2004) ED UNA GENERAZIONE DI ENERGIA ELETTRICA PARI A 2.343,4 GWH (CORRISPONDENTE ALLO 0,7% DEL TOTALE).

SONO INSTALLATI 148 IMPIANTI PER UNA POTENZA MEDIA A TURBINA PARI A CIRCA 1.000 kW A TURBINA CONTRO I 640 kW DEL 2000.

LE POTENZIALITÀ SONO STIMATE IN 5.000 MW SU TUTTO IL TERRITORIO NAZIONALE.

LA PREVISIONE È DI INSTALLARE ULTERIORI 1.400 MW AL 2006 E 2.500/3.000 AL 2012.

REGIONE	POTENZA INSTALLATA [MW]
CAMPANIA	398,1
PUGLIA	300,7
SARDEGNA	332,8
SICILIA	301,4
ABRUZZO	156,9
BASILICATA	76,2
MOLISE	51,2



Potenza eolica al 23 novembre 2006 in MW. In parentesi è indicata la nuova potenza collegata alla rete nel 2006.



### FASI DI INSTALLAZIONE





## IL MINI-EOLICO

— NEGLI ULTIMI ANNI LE TECNOLOGIE ADOTTATE PER LE TURBINE CON POTENZA INFERIORE AI 100 kW HANNO RAGGIUNTO I MASSIMI LIVELLI ANCHE GRAZIE ALL'ESPERIENZA MATURATA NEL SETTORE DELLE TURBINE CON POTENZE SUPERIORI.

IL RISULTATO PRINCIPALE DELLO SVILUPPO TECNOLOGICO È STATO QUELLO DI ABBASSARE NOTEVOLMENTE IL LIMITE MINIMO DI FUNZIONAMENTO DI QUESTE MACCHINE RENDENDOLE EFFICACI ANCHE PER VALORI DI VELOCITÀ DEL VENTO MOLTO BASSE.

SONO STATE SVILUPPATE TURBINE CON DIVERSE POTENZE E CON RANGE DI FUNZIONAMENTO MOLTO AMPI PER QUANTO RIGUARDA LE VELOCITÀ MEDIE DEL VENTO E CHE QUINDI POSSONO FUNZIONARE PER ALCUNE MIGLIAIA DI ORE ALL'ANNO.

VENGONO USATE TIPICAMENTE PER LE UTENZE ISOLATE, UNITAMENTE AD UN SISTEMA DI BATTERIE PER L'ACCUMULO DELL'ENERGIA PRODOTTA, POSSONO ESSERE ALLACCIATE DIRETTAMENTE IN RETE (*NET METERING*), POSSONO ALIMENTARE PICCOLE RETI, SISTEMI DI POMPAGGIO E RECINZIONI ELETTRIFICATE.

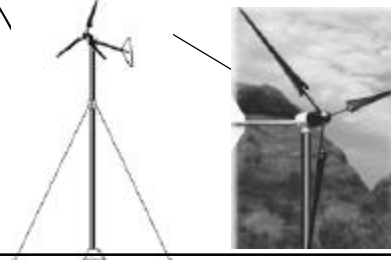
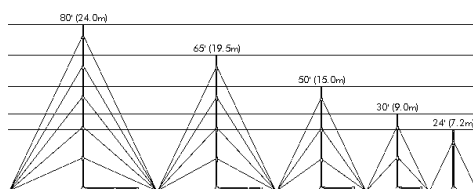
QUESTI SISTEMI GARANTISCONO ALTA AFFIDABILITÀ DI FUNZIONAMENTO ED ALLO STESSO TEMPO NON RICHIEDONO INTERVENTI DI MANUTENZIONE.



## TURBINE CON POTENZA < 1 kW

VI SONO DIVERSE TIPOLOGIE DI SISTEMI DI MINI EOLICO CON POTENZE INFERIORI AL kW, LE TAGLIE REPERIBILI SONO SOLITAMENTE PARTA 400, 500 E 900 W.

I SISTEMI SONO FORMATI DA TURBINA, PALO DI SOSTEGNO METALLICO CON ALTEZZE VARIABILI, INVERTER, APPARECCHIATURE ELETTRICHE, CAVI E CONTATORE (O BATTERIE)





## TURBINE DA 1 kW

IL DIAMETRO DEI ROTORI È DI CIRCA 2-2,5 m E HANNO UNA POTENZA DI PICCO DI 1,5-1,6 kW.  
SONO MACCHINE AD ASSE ORIZZONTALE, A TRE PALE (DI SOLITO IN FIBRA DI VETRO E NON ORIENTABILI) E CON TORRE DI SOSTEGNO TUBOLARE CON ALTEZZE VARIABILI DA 9 A 32 m.  
LA VELOCITÀ MINIMA DEL VENTO NECESSARIA AL FUNZIONAMENTO DI QUESTE MACCHINE È DI 3 m/s.  
LA VELOCITÀ MASSIMA DI FUNZIONAMENTO È DI 55 m/s. IL FUNZIONAMENTO PUÒ SUPERARE LE 6.000 ORE ALL'ANNO.



Rese energetiche medie in funzione della velocità vento media ad altezza mozzo rotore

Velocità media [m/s]	Produzione media [kWh]		
	Giornaliera	Mensile	Annuale
3,5	1,9	55	680
4	2,8	85	1010
4,5	3,9	115	1410
5	5,1	155	1850
5,5	6,4	195	2320
6	7,7	235	2790
6,5	8,9	270	3260



## TURBINE DA 10 A 20 kW

POSSONO ESSERE ALLACCIATE DIRETTAMENTE IN RETE, FUNZIONARE CON SISTEMI DI BATTERIE O SERVIRE PER IL FUNZIONAMENTO DI POMPE DI SOLLEVAMENTO DELL'ACQUA DA UN POZZO.

IL DIAMETRO DEI ROTORI È DI CIRCA 5/8 m.

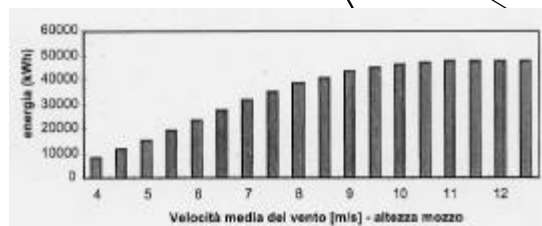
SONO MACCHINE AD ASSE ORIZZONTALE, A TRE PALE (DI SOLITO IN FIBRA DI VETRO E ORIENTABILI) E CON LA TORRE DI SOSTEGNO TUBOLARE O RETICOLARE CON ALTEZZE VARIABILI DA 18 A 40 m A SECONDA DELLE CARATTERISTICHE DEL SITO DI INSTALLAZIONE.

LA VELOCITÀ MINIMA DEL VENTO NECESSARIA AL FUNZIONAMENTO DI QUESTE MACCHINE È DI 3 m/s.  
LA VELOCITÀ MASSIMA DI FUNZIONAMENTO È DI 55 m/s. IL FUNZIONAMENTO PUÒ SUPERARE LE 5.000 ORE ALL'ANNO.



Rese energetiche medie in funzione della velocità vento media ad altezza mozzo rotore

Velocità media [m/s]	Produzione media [kWh]		
	Giornaliera	Mensile	Annuale
3,5	15,5	471	5603
4	23,3	700	8424
4,5	32,0	972	11664
5	41,9	1247	14960
5,5	49,7	1515	18177
6	57,4	1702	21140
6,5	65,1	1980	23705



### TURBINE DA 50-100 kW

LE TURBINE CON POTENZA DI 50-100 kW SONO UNICAMENTE ALLACCIABILI IN RETE POICHÉ RICHIEDEREBBERO UN SISTEMA DI BATTERIE CON DIMENSIONI E COSTI ELEVATI.

IL DIAMETRO DEI ROTORI È VARIABILE DA 14 A 25 m.

SONO MACCHINE AD ASSE ORIZZONTALE, A TRE PALE (IN FIBRA DI VETRO E ORIENTABILI) E CON LA TORRE DI SOSTEGNO TUBOLARE O RETTICOLARE CON ALTEZZE VARIABILI DA 28 A 40 m.

LA VELOCITÀ MINIMA DEL VENTO NECESSARIA AL FUNZIONAMENTO DI QUESTE MACCHINE È DI 3,5 m/s. LA VELOCITÀ MASSIMA DI FUNZIONAMENTO È DI 70 m/s. IL FUNZIONAMENTO PUÒ SUPERARE LE 6.500 ORE ALL'ANNO.

