

**ENEA**

# L'ENERGIA EOLICA

19

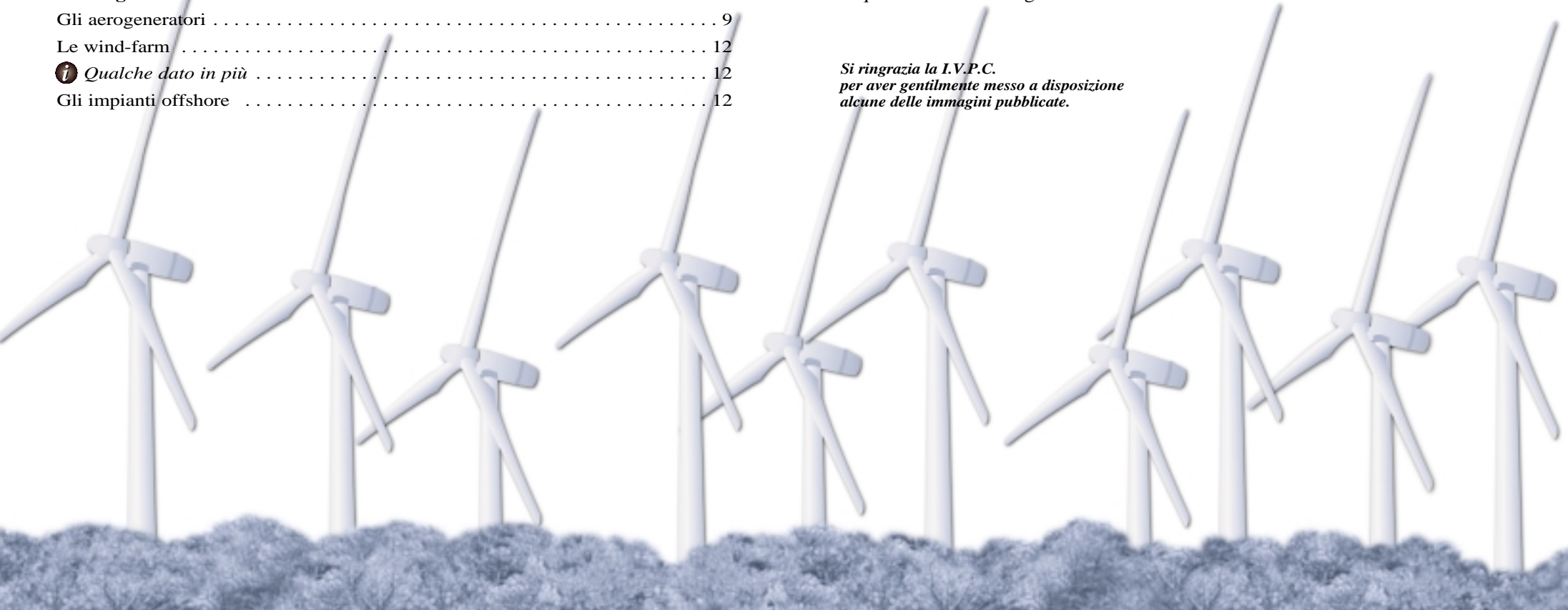


# sommario

<b>Perché questo opuscolo</b> .....	4
<b>L'energia e l'ambiente</b> .....	4
<i>i</i> Perché lo sviluppo sostenibile .....	4
<i>i</i> Il protocollo di Kyoto .....	5
<b>Le fonti rinnovabili di energia</b> .....	6
Le caratteristiche .....	6
Perché le fonti rinnovabili .....	6
Il contributo delle fonti rinnovabili nel Mondo .....	7
Il contributo delle fonti rinnovabili in Italia .....	7
Le politiche a sostegno dello sviluppo e diffusione delle fonti rinnovabili .....	8
Il ruolo della ricerca e dell'ENEA .....	8
<b>L'energia eolica</b> .....	9
Gli aerogeneratori .....	9
Le wind-farm .....	12
<i>i</i> Qualche dato in più .....	12
Gli impianti offshore .....	12

<b>Dove installare un impianto eolico</b> .....	13
<i>i</i> Come si forma il vento .....	13
La conformazione del terreno .....	14
<i>i</i> Le classi di rugosità .....	14
Come si misura il vento? .....	14
<i>i</i> La scala "Beaufort" .....	15
<b>Le wind-farm e l'ambiente</b> .....	15
<b>L'energia eolica nel Mondo</b> .....	17
<b>L'energia eolica in Italia</b> .....	18
<i>i</i> Un po' di storia .....	18
La risorsa eolica in Italia .....	19
Il quadro normativo e gli incentivi .....	19

*Si ringrazia la I.V.P.C.  
per aver gentilmente messo a disposizione  
alcune delle immagini pubblicate.*



## PERCHÉ QUESTO OPUSCOLO

L'ENEA, con questo opuscolo, vuole dare informazioni:

- Sulle caratteristiche che fanno delle fonti rinnovabili di energia uno strumento adatto a fronteggiare i diversi problemi ambientali;
- Sull'impiego dell'energia eolica, presentandone la tecnologia, l'impatto ambientale e la sua diffusione a livello nazionale e internazionale.

## L'ENERGIA E L'AMBIENTE

Oggi, oltre l'80% dell'energia utilizzata nel mondo viene prodotta bruciando combustibili fossili, quali petrolio, carbone e metano. È ormai accertato che proprio negli impianti in cui si utilizzano combustibili fossili si generano quei gas inquinanti che, una volta immessi nell'atmosfera, danneggiano l'ambiente.

### LE FONTI ENERGETICHE NEL MONDO

<b>Petrolio</b>	<b>38%</b>
<b>Carbone</b>	<b>24%</b>
<b>Gas</b>	<b>20%</b>
<b>Nucleare</b>	<b>6%</b>
<b>Idraulica</b>	<b>2%</b>
<b>Biomassa</b> (legno, ecc.)	<b>8%</b>
<b>Nuove rinnovabili</b> (eolico, solare, ecc.)	<b>2%</b>

Negli ultimi anni molto è stato fatto, anche a livello politico, per fronteggiare i diversi problemi ambientali: dall'impegno a perseguire un modello di sviluppo sostenibile alla ricerca degli strumenti più adeguati per conciliare la crescente domanda di energia, e quindi il crescente consumo di combustibili fossili, con la salvaguardia dell'ambiente.



### Perché lo sviluppo sostenibile

*Lo sviluppo economico e l'aumento dei consumi che si sono avuti nel XX secolo, se da una parte hanno portato benessere per larghi strati della popolazione, dall'altra hanno creato pressioni sull'ambiente.*

*Problemi quali il deterioramento delle risorse, la perdita della biodiversità, la produzione di rifiuti, l'inquinamento prodotto dall'impiego dei combustibili fossili dimostrano che la questione ambientale ha una dimensione planetaria.*

*Ed è proprio per garantire la sopravvivenza del pianeta, assieme alla necessità di assicurare un più equo sviluppo sociale ed economico, che gli stati si sono impegnati a perseguire un modello di sviluppo sostenibile. Uno sviluppo, cioè, in grado di soddisfare i*

*bisogni delle generazioni presenti senza compromettere la possibilità alle generazioni future di soddisfare i loro.*

### Il protocollo di Kyoto

*Autoveicoli, impianti di riscaldamento, centrali termoelettriche, inceneritori e industrie, emettono nell'atmosfera elevate quantità di gas inquinanti. Si generano così fenomeni come lo smog fotochimico e le piogge acide che interessano le città e le zone industriali, e fenomeni che invece si ripercuotono su tutto il pianeta come l'aumento dell'effetto serra e i possibili cambiamenti climatici.*

*Per fronteggiare i possibili cambiamenti climatici dovuti all'aumento dell'effetto serra, nel 1997, i paesi industrializzati responsabili di oltre il 70% delle emissioni di gas serra, hanno definito un protocollo, il protocollo di Kyoto, che stabilisce tempi ed entità della riduzione delle emissioni di gas serra e individua esplicitamente le politiche e le azioni operative che si dovranno sviluppare.*

### Percentuale di riduzione di gas serra entro il 2012 rispetto ai livelli del 1990

<b>Mondo</b>	<b>5,2%</b>
<b>Unione Europea</b>	<b>8%</b>
<b>Russia</b>	<b>0%</b>
<b>Stati Uniti</b>	<b>7%</b>
<b>Giappone</b>	<b>6%</b>
<b>Italia</b>	<b>6,5%</b>
<b>Paesi in via di sviluppo</b>	<b>nessuna limitazione</b>

### I gas di cui bisogna ridurre le emissioni sono:

- l'anidride carbonica, prodotta dall'impiego dei combustibili fossili in tutte le attività generiche industriali, oltreché nei trasporti;
- il protossido di azoto, gli idrofluorocarburi, i perfluorocarburi e l'esafioruro di zolfo impiegati nelle industrie chimiche manifatturiere;
- il metano, prodotto dalle discariche dei rifiuti, dagli allevamenti zootecnici e dalle coltivazioni di riso.

### Le politiche e le azioni operative che si dovranno sviluppare per ridurre le emissioni sono:

- migliorare l'efficienza tecnologica e ridurre i consumi energetici nel settore termoelettrico, nel settore dei trasporti e in quello abitativo e industriale;
- promuovere azioni di riforestazione per incrementare la capacità del pianeta di assorbimento dei gas serra;
- promuovere forme di gestione sostenibile di produzione agricola;
- incentivare la ricerca, lo sviluppo e l'uso di nuove fonti di energie rinnovabili;
- limitare e ridurre le emissioni di metano dalle discariche di rifiuti e dagli altri settori energetici;
- applicare misure fiscali appropriate per disincentivare le emissioni di gas serra.

Uno degli strumenti individuati per realizzare questo obiettivo è l'uso più esteso delle fonti rinnovabili di energia, in quanto sono in grado di garantire un impatto ambientale più contenuto di quello prodotto dalle fonti fossili.

Tra le fonti rinnovabili, l'impiego dell'energia eolica per la produzione di energia elettrica è ormai una realtà consolidata, e rappresenta un caso di successo tra le nuove fonti rinnovabili.

## LE FONTI RINNOVABILI DI ENERGIA

Le fonti "rinnovabili" di energia sono quelle fonti che, a differenza dei combustibili fossili e nucleari destinati ad esaurirsi in un tempo definito, possono essere considerate inesauribili.

Sono fonti rinnovabili di energia l'energia solare e quelle che da essa derivano: l'energia idraulica, del vento, delle biomasse, delle onde e delle correnti, ma anche l'energia geotermica, l'energia dissipata sulle coste dalle maree e i rifiuti industriali e urbani.

Con opportune tecnologie è possibile convertire queste fonti in energia termica, elettrica, meccanica o chimica.

### LE CARATTERISTICHE

Le fonti rinnovabili di energia possiedono due caratteristiche fondamentali che rendono auspicabile un loro maggior impiego.

La prima consiste nel fatto che esse rinnovano la loro disponibilità in tempi estremamente brevi: si va dalla disponibilità continua nel caso dell'uso dell'energia solare, ad alcuni anni nel caso delle biomasse.

L'altra è che, a differenza dei combustibili fossili, il loro utilizzo produce un inquinamento ambientale del tutto trascurabile.

Esistono comunque alcuni limiti che ne ostacolano il pieno impiego.

Le fonti rinnovabili, e tra esse soprattutto l'eolico e il solare, forniscono energia in modo intermittente. Questo significa che il loro utilizzo può contribuire a ridurre i consumi di combustibile nelle centrali convenzionali, ma non può sostituirle completamente.

Inoltre, per produrre quantità significative di energia, spesso è necessario impegnare rilevanti estensioni di territorio. Tuttavia va ricordato che ciò non provoca effetti irreversibili sull'ambiente e che il ripristino delle aree utilizzate non ha costi eccessivi.

### PERCHÉ LE FONTI RINNOVABILI

Il bisogno di trovare rapidamente fonti di energia alternative ai combustibili fossili nasce in seguito alla crisi economica del 1973, quando i Paesi arabi produttori di petrolio aumentarono improvvisamente il suo prezzo; di conseguenza aumentò il prezzo della benzina, del riscaldamento e dell'energia elettrica.

Contemporaneamente nel mondo della ricerca crebbe la consapevolezza della esauribilità dei combustibili fossili.

Fu allora che per la prima volta si diffusero i termini di risorse "alternative" e "rinnovabili"; alternative all'idea che l'energia potesse prodursi solo facendo bruciare qualcosa, e rinnovabili nel senso che, almeno virtualmente, non si potessero mai esaurire.

Oggi, l'utilizzo delle fonti rinnovabili di energia è ormai una realtà consolidata e il loro impiego per la produzione di energia è in continuo aumento.

Questo è reso possibile non solo dal continuo sviluppo tecnologico, ma soprattutto perché gli Stati hanno attribuito a tali fonti un ruolo sempre più strategico nelle scelte di politica energetica, sia nel tentativo di ridurre la dipendenza economica e politica dai paesi fornitori di combustibili fossili, sia per far fronte alla loro esauribilità e alle diverse emergenze ambientali.

Un ulteriore incentivo all'impiego delle fonti rinnovabili viene dalle ricadute occupazionali, soprattutto a livello locale, legate alla produzione di energia con fonti disponibili sul territorio nazionale.

### IL CONTRIBUTO DELLE FONTI RINNOVABILI NEL MONDO

Nel 1996 le fonti rinnovabili hanno contribuito per circa il 17% al soddisfacimento del fabbisogno elettrico mondiale; nell'Unione Europea il dato scende a circa il 6%, mentre in Italia se si includono i grandi impianti idroelettrici è di circa il 20%.

#### IL CONTRIBUTO DELLE DIVERSE FONTI ALLA PRODUZIONE DI ENERGIA NEL MONDO

<b>Carbone</b>	<b>40%</b>
<b>Petrolio</b>	<b>10%</b>
<b>Gas naturale</b>	<b>15%</b>
<b>Nucleare</b>	<b>18%</b>
<b>Fonti rinnovabili</b>	<b>17%</b>

### IL CONTRIBUTO DELLE FONTI RINNOVABILI IN ITALIA

Il fabbisogno energetico nazionale è di circa 173 Mtep/anno. Di questo, oltre l'80% viene soddisfatto con fonti fossili importate.

Il contributo delle fonti rinnovabili, se si escludono i grandi impianti idroelettrici, è del 7,4%, pari a circa 12,8 Mtep di cui: 9,5 Mtep sono prodotti dai piccoli impianti idroelettrici, 1 Mtep da impianti geotermici e circa 2,15 Mtep dall'uso domestico delle biomasse per la produzione di calore, mentre, rispetto al potenziale sfruttabile e allo stato dell'arte a livello internazionale, è ancora trascurabile il ricorso alle altre fonti rinnovabili (solare, eolico, biocombustibili, rifiuti, ecc.).

#### IL CONTRIBUTO DELLE FONTI RINNOVABILI IN ITALIA 20% = 34,3 Mtep

<b>Grande idroelettrico</b>	<b>21,6 Mtep</b>
<b>Piccolo idroelettrico</b>	<b>9,5 Mtep</b>
<b>Geotermia</b>	<b>1 Mtep</b>
<b>Biomasse</b>	<b>2,15 Mtep</b>

## LE POLITICHE A SOSTEGNO DELLO SVILUPPO E DIFFUSIONE DELLE FONTI RINNOVABILI

Ricordiamo di seguito le iniziative e i provvedimenti presi negli ultimi anni, sia a livello nazionale che internazionale, che mirano a incentivare lo sviluppo e la diffusione delle fonti rinnovabili:

- Il Libro Bianco “Una Politica Energetica per l’Unione Europea” (gennaio 1996), che identifica come obiettivi chiave del settore energetico la competitività, la sicurezza dell’approvvigionamento e la protezione dell’ambiente, e che indica come un importante fattore per conseguire tali scopi la promozione delle fonti rinnovabili di energia.
- La delibera CIPE3 (3 dicembre 1997), con cui l’Italia ha ratificato gli impegni di Kyoto assegnando un significativo ruolo alle fonti rinnovabili per ridurre le emissioni di gas serra, e impegnandosi a raddoppiare, entro il 2010, il contributo delle fonti rinnovabili di energia per il soddisfacimento dei fabbisogni energetici nazionali.

### IL RUOLO DELLA RICERCA E DELL’ENEA

Per garantire un maggior impiego delle fonti rinnovabili è importante incentivare anche la ricerca e lo sviluppo tecnologico.

In questi settori sono presenti numerosi operatori, tra cui l’ENEA, che hanno conseguito importanti risultati, rendendo disponibili nuove tecnologie di sfruttamento, trasformazione e utilizzo dell’energia, sia essa prodotta da fonti fossili che da fonti rinnovabili.

Lo scopo, naturalmente, è quello di far sì che il paese disponga di un sistema energetico diversificato, economicamente sostenibile e a basso impatto ambientale.

### L’ENEA in questo ambito:

- svolge e promuove attività di ricerca;
- favorisce i processi di innovazione tecnologica nelle industrie e nelle pubbliche amministrazioni;
- fornisce supporto tecnico e organizzativo alle pubbliche amministrazioni;
- svolge e supporta campagne di sensibilizzazione rivolte ai cittadini, per diffondere nuove tecnologie e per promuovere modelli di consumo alternativi.

## L’ENERGIA EOLICA

**L’energia eolica è l’energia posseduta dal vento.**

L’uomo ha impiegato la sua forza sin dall’antichità, per navigare e per muovere le pale dei mulini utilizzati per macinare i cereali, per spremere olive o per pompare l’acqua. Solo da pochi decenni l’energia eolica viene impiegata per produrre elettricità. I moderni mulini a vento sono chiamati aerogeneratori.

Il principio di funzionamento degli aerogeneratori è lo stesso dei mulini a vento: il vento che spinge le pale. Ma nel caso degli aerogeneratori il movimento di rotazione delle pale viene trasmesso ad un generatore che produce elettricità.

### GLI AEROGENERATORI

Esistono aerogeneratori diversi per forma e dimensione. Possono, infatti, avere una, due o tre pale di varie lunghezze: quelli con pale lunghe 50 centimetri vengono utilizzati come caricabatterie, quelli con pale lunghe circa 30 metri, sono in grado di erogare una potenza di 1.500 kW, riuscendo a soddisfare il fabbisogno elettrico giornaliero di circa 1.000 famiglie.

Il tipo più diffuso è l’aerogeneratore di taglia media, alto oltre 50 metri, con due o tre pale lunghe circa 20 metri. Questo tipo di aerogeneratore è in grado di erogare una potenza di 500-600 kW e soddisfa il fabbisogno elettrico giornaliero di circa 500 famiglie.



## AEROGENERATORE

### Il rotore

Il rotore è costituito da un mozzo su cui sono fissate le pale che possono ruotare ad una velocità superiore ai 200 chilometri orari. Le pale più utilizzate sono realizzate in fibra di vetro.

I rotori a due pale sono meno costosi e girano a velocità più elevate. Sono però più rumorosi e vibrano di più di quelli a tre pale. Tra i due la resa energetica è quasi equivalente.

Sono stati realizzati anche rotori con una sola pala, equilibrata da un contrappeso. A parità di condizioni, questi rotori sono ancor più veloci dei bipala, ma hanno rese energetiche leggermente inferiori.

Ci sono anche rotori con numerose pale, di solito 24, che vengono impiegati per l'azionamento diretto di macchine, come le pompe.

Sono stati messi a punto dei rotori con pale "mobili". Variando l'inclinazione delle pale al variare della velocità del vento è possibile mantenere costante la quantità di elettricità prodotta dall'aerogeneratore.

### Il sistema frenante

È costituito da due sistemi indipendenti di arresto delle pale: un sistema di frenaggio aerodinamico e uno meccanico.

Il primo viene utilizzato per controllare la potenza dell'aerogeneratore, come freno di emergenza in caso di sovravelocità del vento e per arrestare il rotore. Il secondo viene utilizzato per completare l'arresto del rotore e come freno di stazionamento.

### La torre e le fondamenta

La torre sostiene la navicella e il rotore, può essere a forma tubolare o a traliccio. In genere è costruita in legno, in cemento armato, in acciaio o con fibre sintetiche.

La struttura dell'aerogeneratore per poter resistere alle oscillazioni ed alle vibrazioni causate dalla pressione del vento deve essere ancorata al terreno mediante fondamenta.

Le fondamenta molto spesso sono completamente interrate e costruite con cemento armato.

### Il moltiplicatore di giri

Il moltiplicatore di giri serve per trasformare la rotazione lenta delle pale in una rotazione più veloce in grado di far funzionare il generatore di elettricità.

### Il generatore

Il generatore trasforma l'energia meccanica in energia elettrica. La potenza del generatore viene indicata in chilowatt (kW).

### Il sistema di controllo

Il funzionamento di un aerogeneratore è gestito da un sistema di controllo che svolge due diverse funzioni. Gestisce, automaticamente e non, l'aerogeneratore nelle diverse operazioni di lavoro e aziona il dispositivo di sicurezza che blocca il funzionamento dell'aerogeneratore in caso di malfunzionamento e di sovraccarico dovuto ad eccessiva velocità del vento.

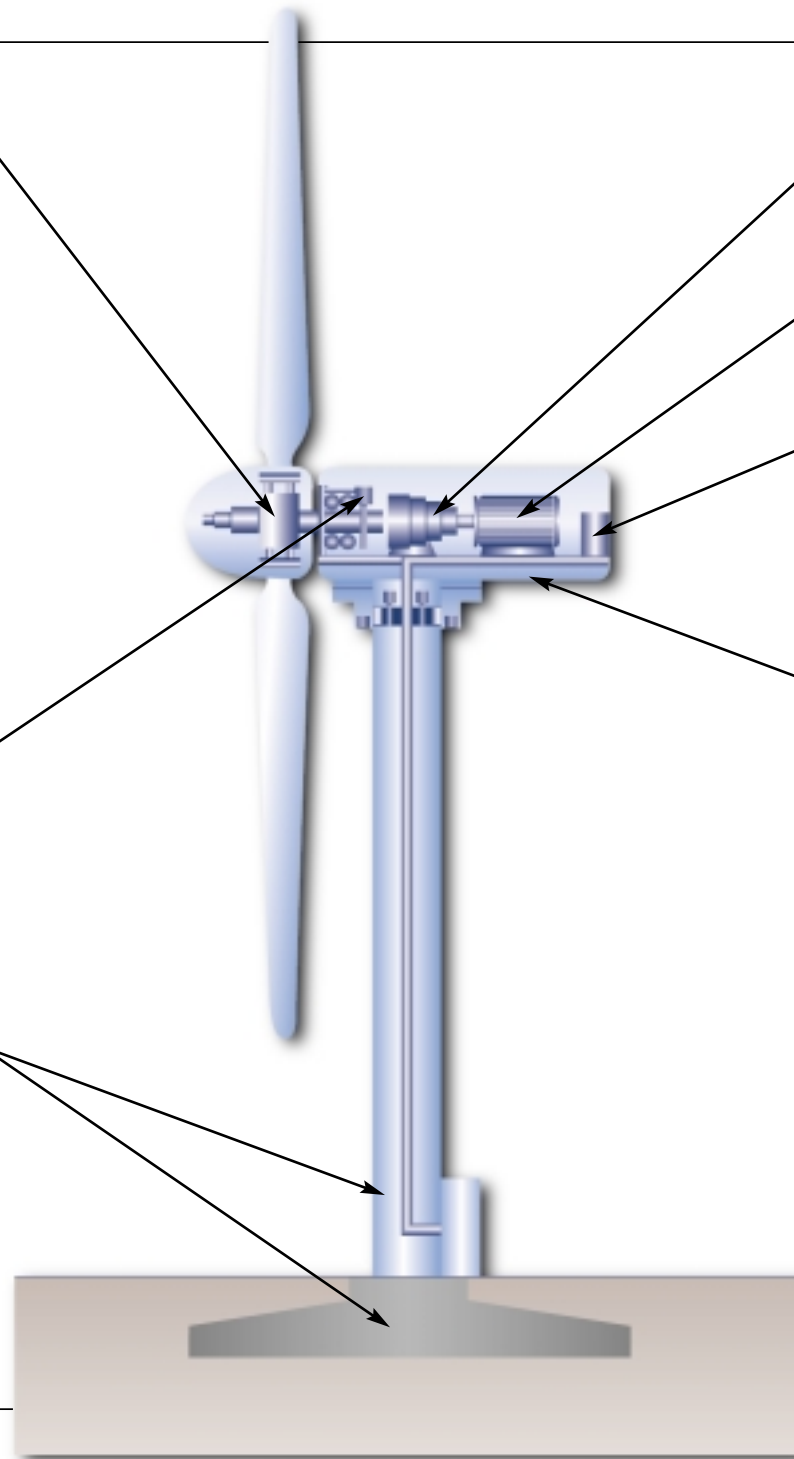
### La navicella e il sistema di imbardata

La navicella è una cabina in cui sono ubicati tutti i componenti di un aerogeneratore, ad eccezione, naturalmente, del rotore e del mozzo.

La navicella è posizionata sulla cima della torre e può girare di 180° sul proprio asse.

Per assicurare sempre il massimo rendimento dell'aerogeneratore è importante mantenere un allineamento più continuo possibile tra l'asse del rotore e la direzione del vento.

Negli aerogeneratori di media e grossa taglia, l'allineamento è garantito da un servomeccanismo, detto sistema di imbardata, mentre nei piccoli aerogeneratori è sufficiente l'impiego di una pinna direzionale. Nel sistema di imbardata un sensore, la banderuola, indica lo scostamento dell'asse della direzione del vento e aziona un motore che riallinea la navicella.



## LE WIND-FARM

Più aerogeneratori collegati insieme formano le wind-farm, “fattorie del vento”, che sono delle vere e proprie centrali elettriche.

Nelle wind-farm la distanza tra gli aerogeneratori non è casuale, ma viene calcolata per evitare interferenze reciproche che potrebbero causare cadute di produzione.

Di regola gli aerogeneratori vengono situati ad una distanza di almeno cinque-dieci volte il diametro delle pale.

Nel caso di un aerogeneratore medio, con pale lunghe circa 20 metri, questo significa installare uno ogni 200 metri circa.



### Qualche dato in più

*Una fattoria del vento, ad esempio, costituita da 30 aerogeneratori da 300 kW l'uno in una zona con venti dalla velocità media di 25 chilometri orari, può produrre 20 milioni di kWh all'anno. Vale a dire quanto basterebbe a soddisfare le esigenze di circa 7.000 famiglie.*

*Per raggiungere lo stesso risultato con una centrale a carbone si libererebbero nell'aria ben 22 mila tonnellate di anidride carbonica, 125 tonnellate di anidride solforosa e 43 tonnellate di ossido di azoto.*

## GLI IMPIANTI OFFSHORE

Sono le wind-farm costruite in mare. Rappresentano un'utile soluzione per quei paesi densamente popolati e con forte impegno del territorio che si trovano vicino al mare.



La tecnologia degli aerogeneratori da utilizzare in siti offshore è in pieno sviluppo: a livello commerciale esistono macchine da 1 MW ed esistono prototipi da circa 3 MW.

Secondo alcune stime, gli impianti eolici nei mari europei potrebbero fornire oltre il 20% del fabbisogno elettrico dei paesi costieri.

Attualmente in Europa sono operative 5 centrali costruite in Olanda, Svezia e Danimarca con una potenza totale di 30 MW. In Italia non esiste ancora alcun impianto offshore, ma è stato calcolato un potenziale sfruttabile di 3.000 MW, pari a quello sulla terraferma, in grado di soddisfare il 4% degli attuali consumi di elettricità.

## DOVE INSTALLARE UN IMPIANTO EOLICO?

Per produrre energia elettrica in quantità sufficiente è necessario che il luogo dove si installa l'aerogeneratore sia molto ventoso.

Per determinare l'energia eolica potenzialmente sfruttabile in una data zona bisogna conoscere la conformazione del terreno e l'andamento nel tempo della direzione e della velocità del vento.



### Come si forma il vento

*La terra cede all'atmosfera il calore ricevuto dal sole, ma non lo fa in modo uniforme. Nelle zone in cui viene ceduto meno calore la pressione dei gas atmosferici aumenta, mentre dove viene ceduto più calore, l'aria diventa calda e la pressione dei gas diminuisce. Si formano così aree di alta pressione e aree di bassa pressione, influenzate anche dalla rotazione della terra.*

*Quando diverse masse d'aria vengono a contatto, la zona dove la pressione è maggiore tende a trasferire aria dove la pressione è minore. Succede la stessa cosa quando lasciamo sgonfiare un palloncino. L'alta pressione all'interno del palloncino tende a trasferire l'aria verso l'esterno, dove la pressione è più bassa, dando luogo a un piccolo flusso.*

*Il vento è dunque lo spostamento d'aria, più o meno veloce, tra zone di diversa pressione. E tanto più alta è la differenza di pressione, tanto più veloce sarà lo spostamento d'aria, tanto più forte sarà il vento.*

## LA CONFORMAZIONE DEL TERRENO

La conformazione di un terreno influenza la velocità del vento. Infatti, il suo valore dipende, oltre che dai parametri atmosferici, anche dalla conformazione del terreno.

Più un terreno è rugoso, cioè presenta variazioni brusche di pendenza, boschi, edifici e montagne, più il vento incontrerà ostacoli che ridurranno la sua velocità.



### Le classi di rugosità

Per definire la conformazione di un terreno sono state individuate quattro classi di rugosità:

**Classe di rugosità 0:** suolo piatto come il mare, la spiaggia e le distese nevose.

**Classe di rugosità 1:** suolo aperto come terreni non coltivati con vegetazione bassa e aeroporti.

**Classe di rugosità 2:** aree agricole con rari edifici e pochi alberi.

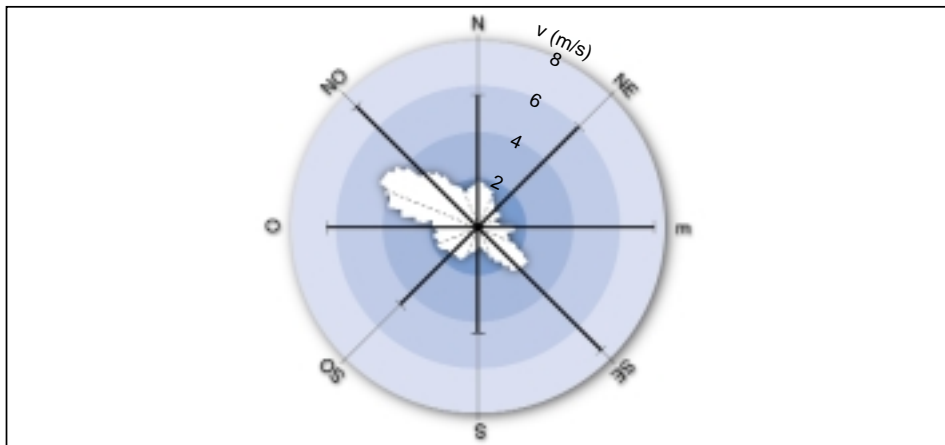
**Classe di rugosità 3:** suolo rugoso in cui vi sono molte variazioni di pendenza del terreno, boschi e paesi.

In generale la posizione ideale di un aerogeneratore è in un terreno appartenente ad una bassa classe di rugosità e che presenta una pendenza compresa tra i 6 e i 16 gradi.

Il vento deve superare la velocità di almeno 5,5 metri al secondo e deve soffiare in modo costante per gran parte dell'anno. Mentre i migliori siti eolici offshore sono quelli con venti che superano la velocità di 7-8 metri al secondo, che hanno bassi fondali (da 5 a 40 metri) e che sono situati ad oltre 3 chilometri dalla costa.

## COME SI MISURA IL VENTO

Tutti abbiamo potuto sperimentare che il vento non è costante, cambia di forza e di direzione. Per classificare il vento in base alla sua direzione si usa definirlo col luogo da cui proviene. A volte si prende spunto dalla provenienza geografica - Greco, Libeccio se viene dalla Libia, Scirocco se viene dalla Siria -, altre, come nella "Rosa dei venti", viene indicato con i punti cardinali - vento di Nord-Est, vento di Sud-Ovest -.



La forza del vento può essere indicata o con la misura della sua velocità, e cioè in nodi, che corrispondono alle miglia orarie (**1 nodo = 1 miglio orario = 1,85 chilometri orari**), o attraverso la scala proposta da Francis Beaufort.



### La scala "Beaufort"

Francis Beaufort fu un ammiraglio inglese vissuto nei primi anni dell'ottocento.

Egli per classificare la forza del vento ideò una scala da zero a dodici, crescente a seconda della velocità del vento, dell'altezza delle onde marine e degli effetti prodotti.

Un vento di forza zero, viene definito da Beaufort "Calma", e corrisponde alla descrizione di questi effetti: "il vento non sposta il fumo che esce dai camini; mare calmo".

Il vento di forza dodici, il massimo grado della scala, è invece chiamato "Uragano" e definito così: "Provoca devastazioni gravissime; case seriamente danneggiate o distrutte; onde alte fino a 14 metri".

## LE WIND-FARM E L'AMBIENTE

L'energia eolica è una fonte rinnovabile e pulita. I possibili effetti indesiderati degli impianti hanno luogo solo su scala locale e sono: l'occupazione del territorio, l'impatto visivo, il rumore, gli effetti sulla flora e la fauna e le interferenze sulle telecomunicazioni.



### OCCUPAZIONE DEL TERRITORIO

Gli aerogeneratori e le opere a supporto (cabine elettriche, strade) occupano solamente il 2-3% del territorio necessario per la costruzione di un impianto. È importante notare che nelle wind-farm, a differenza delle centrali elettriche convenzionali, la parte del territorio non occupata dalle macchine può essere impiegata per l'agricoltura e la pastorizia.

### IMPATTO VISIVO

Gli aerogeneratori per la loro configurazione sono visibili in ogni contesto ove vengono inseriti. Ma una scelta accurata della forma e del colore dei componenti, per evitare che le parti metalliche riflettano i raggi solari, consente di armonizzare la presenza degli impianti eolici nel paesaggio.

### RUMORE

Il rumore che emette un aerogeneratore viene causato dall'attrito delle pale con l'aria e dal moltiplicatore di giri. Questo rumore può essere smorzato migliorando l'inclinazione delle pale e la loro conformazione, e la struttura e l'isolamento acustico della navicella. Il rumore proveniente da un aerogeneratore deve essere inferiore ai 45 decibel in prossimità delle vicine abitazioni. Tale valore corrisponde ad una conversazione a bassa voce.

I moderni aerogeneratori soddisfano questa richiesta a partire da distanze di 150/180 metri.

### EFFETTI SU FLORA E FAUNA

I soli effetti riscontrati riguardano il possibile impatto degli uccelli con il rotore delle macchine. Il numero di uccelli che muoiono è comunque inferiore a quello dovuto al traffico automobilistico, ai pali della luce o del telefono.

### INTERFERENZE SULLE TELECOMUNICAZIONI ED EFFETTI ELETTROMAGNETICI

Per evitare possibili interferenze sulle telecomunicazioni e la formazione di campi elettromagnetici basta stabilire e mantenere la distanza minima fra l'aerogeneratore e, ad esempio, stazioni terminali di ponti radio, apparati di assistenza alla navigazione aerea e televisori.

### EMISSIONI EVITATE

L'utilizzo dell'energia eolica consente di evitare l'immissione nell'atmosfera delle sostanze inquinanti e dei gas serra prodotti dalle centrali convenzionali. Facciamo il conto delle emissioni evitate per kWh prodotto:

- Una centrale elettrica convenzionale emette mediamente
- 1.000 g/kWh di CO<sub>2</sub> (anidride carbonica)
- 1,4 g/kWh di SO<sub>2</sub> (anidride solforosa)
- 1,9 g/kWh di NO<sub>x</sub> (ossidi di azoto)

Prendiamo ora in considerazione i 700 MW di impianti eolici, che dovranno essere realizzati in Italia nei prossimi anni.

Nell'ipotesi che l'energia annua prodotta sia pari a 1,4 TWh, pari a poco più dello 0,5% del fabbisogno elettrico nazionale, le emissioni annue evitate sono del seguente ordine:

- 1,4 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub>
- 1.960 tonnellate di SO<sub>2</sub>
- 2.660 tonnellate di NO<sub>x</sub>

## L'ENERGIA EOLICA NEL MONDO

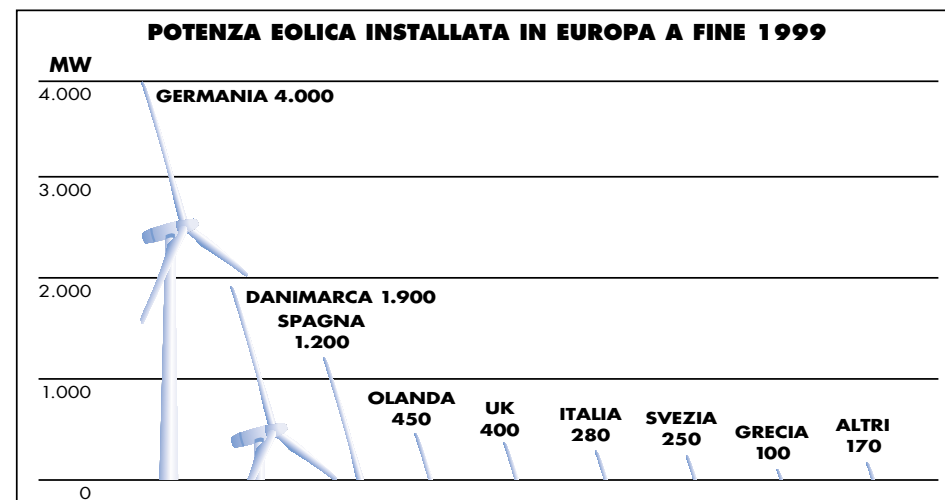
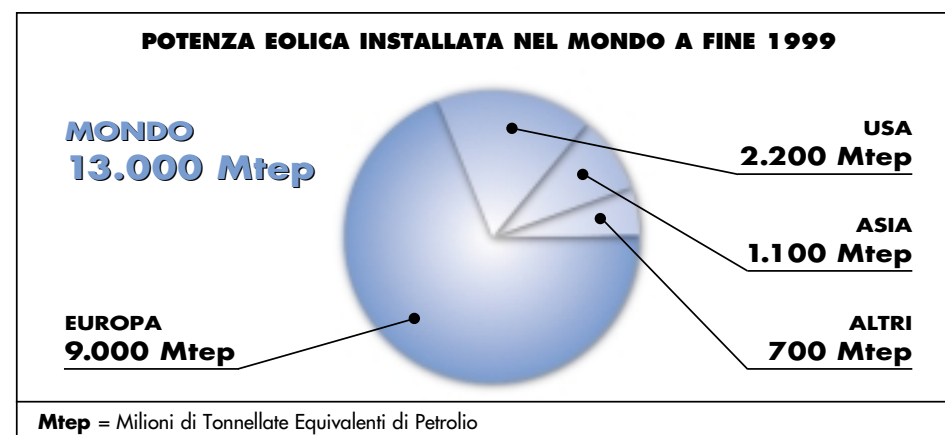
Nel 1981 la produzione di energia eolica mondiale era ancora praticamente nulla.

Oggi la potenza eolica installata ha superato i 13.000 MW.

Di questi circa 9.000 MW sono prodotti in Europa, soprattutto in Germania e Danimarca, i paesi europei che per primi hanno creduto alle opportunità economiche e ambientali offerte dallo sfruttamento di questa forma di energia.

In questi due paesi, così come in Spagna, Olanda e Gran Bretagna, l'occupazione associata allo sviluppo e alla diffusione di tale tecnologia è in continua espansione, anche grazie agli strumenti di sostegno finanziario messi a disposizione dallo Stato.

Un andamento analogo a quello dell'Europa è stato registrato in Asia, soprattutto in India, anche se con uno scarto temporale di circa dieci anni.



## L'ENERGIA EOLICA IN ITALIA

In Italia le attività sull'eolico sono iniziate nei primi anni '80, e furono svolte principalmente dall'ENEA, dall'ENEL e da alcuni operatori privati, con l'obiettivo di sviluppare tecnologie e di individuare il potenziale eolico sfruttabile a livello nazionale.

L'ENEA ha svolto essenzialmente il compito di sostenere lo sviluppo, la sperimentazione e la dimostrazione di aerogeneratori di tecnologia nazionale. Oggi continua a studiare i siti per individuarne le potenziali risorse eoliche, collabora con le pubbliche amministrazioni fornendo supporto tecnico e svolge campagne di informazione rivolte agli amministratori e alla popolazione per favorire l'accettazione sociale di nuovi impianti.



### Un po' di storia

*In Italia le prime macchine eoliche sono state installate nel 1990 ma solo dal 1996 si è avuto un significativo numero di impianti collegati alla rete di distribuzione elettrica.*

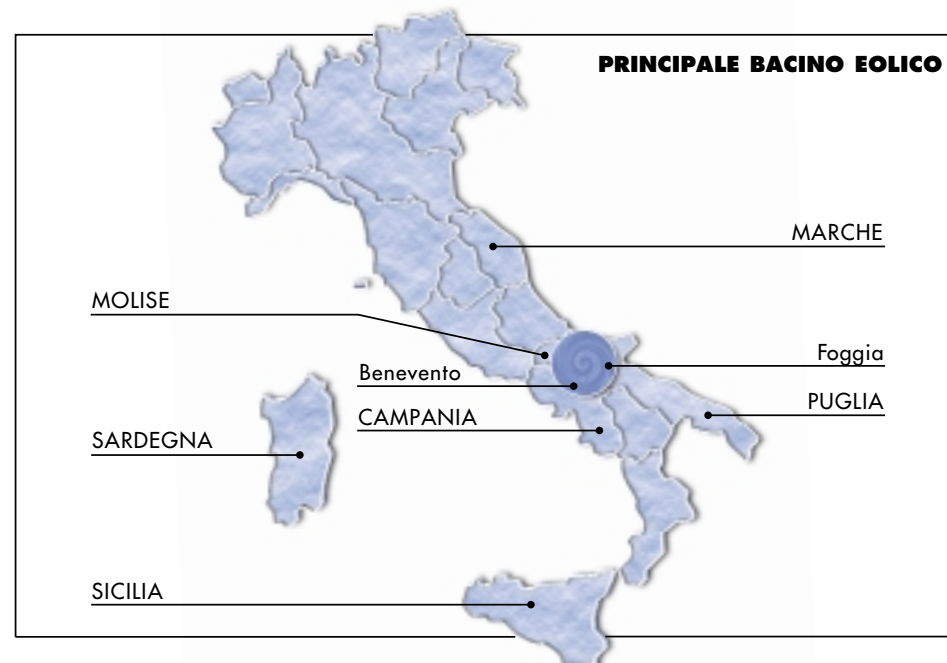
*Il primo prototipo di aerogeneratore fu installato nel 1989 ad Alta Nurra in Sardegna, dove è stata condotta una campagna sperimentale. Oggi a distanza di oltre 10 anni esistono delle vere centrali eoliche, alcune delle quali sono costituite da più di 50 aerogeneratori di media taglia (600 kW l'uno).*

*A dicembre 1999, in Italia risultavano installate circa 583 macchine, distribuite in 40 impianti, per una potenza complessiva di 282 MW. Alcuni di questi impianti sono stati costruiti a scopo dimostrativo dall'ENEL, mentre la maggioranza producono energia elettrica e sono gestiti da operatori privati che vendono l'energia elettrica alla rete di distribuzione nazionale.*



## LA RISORSA EOLICA IN ITALIA

La posizione geografica dell'Italia, unita alla presenza di catene montuose e di masse d'acqua, determina un diverso andamento dei venti sia nel corso dell'anno che da regione a regione. L'Italia può comunque contare, specie nelle zone mediterranee meridionali e nelle isole, su venti di buona intensità, quali il maestrale, la tramontana, lo scirocco e il libeccio.



I risultati di un'indagine, cui anche l'ENEA ha partecipato, hanno evidenziato che i siti più idonei allo sfruttamento dell'eolico si trovano lungo il crinale appenninico, al di sopra dei 600 m slm e, in misura minore, nelle zone costiere. Le regioni più interessanti sono quelle del Sud, in particolare Campania, Puglia, Molise, Sicilia e Sardegna, e il territorio compreso tra le province di Trapani, Foggia, Benevento, Avellino e Potenza è il principale polo eolico nazionale.

Tuttavia la quantità di energia prodotta da fonte eolica è ancora trascurabile rispetto al potenziale sfruttabile stimato in circa 3.000 MW sulla terraferma e altrettanti in offshore.

### IL QUADRO NORMATIVO E GLI INCENTIVI

Gli strumenti governativi a sostegno delle fonti rinnovabili in generale, e dell'eolico in particolare, sono:

- Il Piano Energetico Nazionale del 1988, che stabiliva un obiettivo di 300-600 MW di eolico installati al 2000.
- Le leggi 9/91 e 10/91, il provvedimento Cip 6/92 che per la prima volta ha introdotto tariffe incentivanti per la cessione all'ENEL di energia elettrica prodotta con impianti da fonti rinnovabili.

- I fondi strutturali europei utilizzati dalle regioni Puglia, Campania, Umbria e Sicilia per realizzare impianti eolici.
- Il decreto Bersani (79/99) che ha introdotto un nuovo concetto di incentivazione delle fonti rinnovabili. Questo decreto obbliga i produttori di energia elettrica da fonti convenzionali a immettere annualmente, nella rete di distribuzione nazionale, una quota di energia prodotta da fonti rinnovabili pari al 2% della loro produzione annua. Tale quota di energia può essere prodotta all'interno stesso dell'impianto o acquistata da altri.
- La legge 394/91, in particolare l'art. 7 - comma 1 nel quale sono previste misure d'incentivazione alle amministrazioni comprese nelle aree protette che promuovano interventi volti a favorire l'uso di tali forme di energia.

Esiste inoltre una legislazione generale che disciplina la pianificazione e la localizzazione degli impianti eolici, anche in termini di tutela del paesaggio, dell'ambiente e della salute, nonché di uso del suolo.

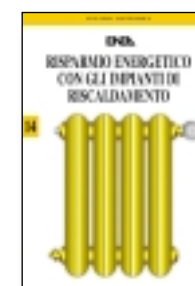
#### I COSTI DELL'ENERGIA EOLICA

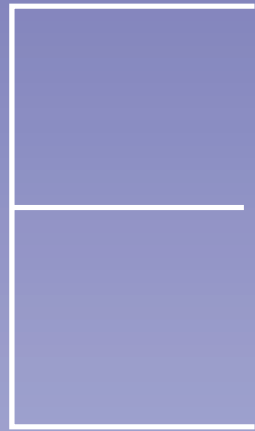
TIPO DI IMPIANTO	POTENZA IMPIANTO MW	POTENZA AEROGENERATORE kW	COSTO INVESTIMENTO Lire/kW	VELOCITÀ VENTO m/sec	COSTO ENERGIA Lire/kWh
Impianto eolico a terra	10	500-750	1.500.000-2.000.000	6-7	90-130
Impianto eolico offshore	4,95	450	4.200.000	7,5	166,5
Impianto a carbone			2.000.000-2.600.000		99-180
Impianto a gas			950.000-1.400.000		60-80

**L'ENEA** pubblica altri opuscoli informativi realizzati per suggerire al cittadino le scelte più convenienti da adottare per risparmiare energia e proteggere l'ambiente: come migliorare le abitazioni per ridurre i consumi dell'impianto di riscaldamento, come ridurre i consumi di elettricità per l'illuminazione e gli elettrodomestici, come usufruire delle agevolazioni fiscali per effettuare interventi di risparmio energetico nelle abitazioni, come leggere l'etichetta energetica quando si acquista un nuovo elettrodomestico.

Per saperne di più potete richiedere gratuitamente questi opuscoli, specificando i titoli che vi interessano a:

**ENEA** C. P. 2400 Roma





## **RICERCA E INNOVAZIONE PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE DEL PAESE**



L'ENEA è un ente di diritto pubblico operante nei campi della ricerca e dell'innovazione per lo sviluppo sostenibile, finalizzata a promuovere insieme gli obiettivi di sviluppo, competitività e occupazione e quello della salvaguardia ambientale.

Svolge altresì funzioni di agenzia per le pubbliche amministrazioni mediante la prestazione di servizi avanzati nei settori dell'energia, dell'ambiente e dell'innovazione tecnologica.

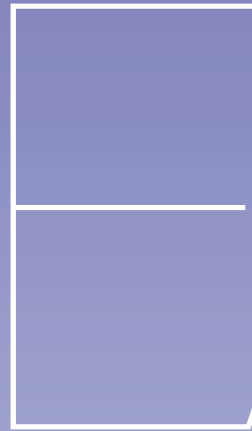
In particolare l'Ente:

- svolge, sviluppa, valorizza e promuove la ricerca in tema di energia, ambiente e innovazione tecnologica nel quadro dei programmi di ricerca nazionali, dell'Unione Europea e di altre organizzazioni internazionali;
- sostiene e favorisce i processi di innovazione e di trasferimento tecnologico al sistema produttivo e alle pubbliche amministrazioni;
- fornisce supporto tecnico specialistico ed organizzativo alle amministrazioni, alle regioni e agli enti locali, nell'ambito di accordi di programma con i Ministeri dell'Industria, dell'Ambiente e dell'Università e della Ricerca Scientifica e con altre amministrazioni pubbliche.

L'Ente ha circa **3.600 dipendenti** che operano in Centri di Ricerca distribuiti su tutto il territorio nazionale.

Nelle diverse regioni sono anche presenti

**13 Centri di Consulenza Energetica Integrata** per la promozione e la diffusione degli usi efficienti dell'energia nei settori industriale, civile e dei trasporti.



## **CENTRI DI CONSULENZA ENERGETICA INTEGRATA (C.C.E.I.)**

**VENETO**  
C.C.E.I. ENEA  
Calle delle Ostreghe, 2434  
C.P. 703  
30124 VENEZIA  
Tel. 0415226887  
Fax 0415209100

**LIGURIA**  
C.C.E.I. ENEA  
Via Serra, 6  
16122 GENOVA  
Tel. 010567141  
Fax 010567148

**TOSCANA**  
C.C.E.I. ENEA  
Via Ponte alle Mosse, 61  
50144 FIRENZE  
Tel. 055359896  
Fax 055350491

**MARCHE**  
C.C.E.I. ENEA  
V.le della Vittoria, 52  
60123 ANCONA  
Tel. 07132773  
Fax 07133264

**UMBRIA**  
C.C.E.I. ENEA  
Via Angeloni, 49  
06100 PERUGIA  
Tel. 0755000043  
Fax 0755006389

**LAZIO**  
ENEA Divisione PROM  
C.R. Casaccia  
Via Anguillarese, 301  
00060 ROMA  
Tel. 0630483245  
Fax 0630483930

**ABRUZZO**  
C.C.E.I. ENEA  
Via N. Fabrizi, 215/15  
65122 PESCARA  
Tel. 0854216332  
Fax 0854216362

**MOLISE**  
C.C.E.I. ENEA  
Via Mazzini, 84  
86100 CAMPOBASSO  
Tel. 0874481072  
Fax 087464607

**CAMPANIA**  
C.C.E.I. ENEA  
Via della Costituzione  
Isola A/3  
80143 NAPOLI  
Tel. 081691111  
Fax 0815625232

**PUGLIA**  
C.C.E.I. ENEA  
Via Roberto da Bari, 119  
70122 BARI  
Tel. 0805248213  
Fax 0805213898

**BASILICATA**  
C.C.E.I. ENEA  
C/o SEREA  
Via D. Di Giura, s.n.c.  
85100 POTENZA  
Tel. 097146088  
Fax 097146090

**CALABRIA**  
C.C.E.I. ENEA  
Via Argine Destra  
Annunziata, 87  
89100 REGGIO CALABRIA  
Tel. 096545028  
Fax 096545104

**SICILIA**  
C.C.E.I. ENEA  
Via Catania, 2  
90100 PALERMO  
Tel. 091308075  
Fax 091300703





ENTE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,  
L'ENERGIA E L'AMBIENTE



S V I L U P P O  
S O S T E N I B I L E