

Energia
Eolica

ENERCOOPERATTIVA



Enercooperattiva Soc. Coop. - Via G. Caselli, 13/B - 44124 Ferrara
Telefono e Fax 0532 067103 - www.enercooperattiva.it

) ENERGIA EOLICA (

QUADRO SINTETICO DELLA TECNOLOGIA, DEGLI IMPIANTI E DELLE MACCHINE EOLICHE

La bassa densità energetica, dell'energia eolica per unità di area della superficie di territorio, comporta la necessità di procedere alla installazione di più macchine per lo sfruttamento della risorsa disponibile. Questo ovviamente non costituisce una preclusione agli impianti con macchina singola.

L'esempio più tipico di impianto eolico è costituito dalla wind farm (cluster di più aerogeneratori disposti variamente sul territorio, ma collegati ad una unica linea che li raccorda alla rete locale o nazionale).

La concezione della wind farm è legata allo sfruttamento della risorsa eolica e deve commisurarsi ad alcuni concetti base: risorsa accessibile, tecnicamente ed economicamente sfruttabile.

Ma soprattutto deve strutturarsi sulla base delle esigenze dell'utenza cui si riferisce.

Gli impianti possono essere sostanzialmente delle tipologie che seguono:

1. **Isolati**
2. **In Cluster** (in genere collegati alla rete di potenza o ad una rete locale con sistemi diesel);
3. **Combinati o Integrati**

Le macchine eoliche sono classificabili in diversa maniera e cioè in funzione della tipologia di energia sfruttata, della posizione dell'asse di rotazione, della taglia di potenza, del numero di pale etc.

Abbiamo così:

1. in funzione dell'energia sfruttata
2. in funzione della posizione dell'asse di rotazione
3. in funzione della taglia di potenza
4. in funzione della velocità del rotore
5. in funzione del numero di pale
6. in funzione della regolazione

Altre variabili utili alla classificazione riguardano per esempio la **tipologia della torre** (metallica tubolare o a traliccio, in cemento) ed il tipo di progetto delle macchine soft o hard in funzione della rigidità del rotore, ma riguardano in genere le macchine ad asse orizzontale. Esiste oggi una ulteriore classificazione in **macchine a velocità variabile o a velocità fissa** ed, inoltre, in funzione del tipo di generatore elettrico:

In questa ultima ripartizione esistono macchine che posseggono due generatori e macchine con generatori a numero di coppie polari variabili.

Ancora, esistono macchine dotate di inverter e macchine che ne sono prive.

Dal punto di vista della linea d'assi: con o senza moltiplicatore del numero di giri.

Gli **impianti eolici di potenza** sono sostanzialmente costituiti dalle wind farm con cluster più o meno densamente popolato.

Dall'esame di diversi esempi di parchi eolici, diversi per disposizione delle macchine e per densità di popolazione del cluster delle stesse, risulta un gran numero di tipologie possibili che, tuttavia possono raggrupparsi in un insieme discreto di cui quelle che seguono sono le principali componenti:

1. disposizione su reticolo quadrato o romboidale;
2. disposizione su una unica fila;
3. disposizione su file parallele;
4. disposizione su file incrociate (croce di S. Andrea);
5. disposizione risultante dalla combinazione e sovrapposizione delle precedenti tipologie;
6. apparentemente casuale;

la prima tipologia è caratteristica delle installazioni più vecchie (specie in USA), mentre l'ultima è caratterizzata da disposizioni in pianta secondo linee e figure molto articolate e si presta alle installazioni in ambiente "complex terrain" (cioè con orografia complessa).

Le file possono risultare con un minor numero di elementi in larghezza nella forma detta di "pine-tree array". La centrale di Alta Nurra (Sardegna) appartiene alla tipologia "E" ("C" con sovrapposizione di "D").

La interdistanza fra gli aerogeneratori può variare da (3-5)D a (5-7)D a seconda se si tratti della distanza entro la fila o tra file diverse. Al fine di completare l'excursus sulle macchine eoliche, vale la pena di elencare, con un approccio da "teoria dei sistemi", le componenti dell'intero aerogeneratore, guardando ai sistemi e sottosistemi dello stesso.

Ne risulta l'elenco che segue:

- sistema della "Torre" e delle fondazioni o struttura di sostegno;
- sistema "Navicella" o struttura di alloggiamento o contenimento;
- sottosistema di orientamento;
- sottosistema di protezione esterna;
- sistema "Rotore";
 1. sottosistemi del rotore;
 2. il moltiplicatore di giri;
 3. il generatore elettrico;
 4. il sottosistema di regolazione;
 5. il sistema di attuazione;
 6. il freno;
- sistema di controllo macchina;
- sistema connessione alla rete o sistema di collegamento.

L'ENERGIA EOLICA - Stato dell'arte

La tab. 1 che segue riporta lo sviluppo attuale (aggiornato alla fine del 1999) degli impianti eolici installati nel Mondo con le previsioni per l'anno 2000.

Andamento della potenza eolica installata per aree geografiche Ripartizione geografica (con previsione al 2000)		
Anno	Mondo	Europa
1980	10,00	
1981		
1982	80,00	10,00
1983	300,00	35,00
1984	700,00	50,00
1985	1.020,00	80,00
1986	1.500,00	
1987		
1988	1.700,00	
1989	1.800,00	328,00
1990	1.930,00	473,10
1991		665,70
1992		883,30
1993	3.200,00	1.253,10
1994	3.738,00	1.723,00
1995	4.820,00	2.531,00
1996	5.734,00	3.445,00
1997	7.636,00	4.694,00
1998	9.600,00	6.303,00
1999	13.250,00	8.959,00
2000	17.614,50	11.216,60

NB: I valori figuranti in corsivo sono stati dedotti attraverso la stima della potenza installata nel singolo anno successivo; i valori figuranti in grassetto costituiscono una previsione sulla base di dati forniti dalla IEA ed EWEA; i dati raccolti nella tabella sono tratti da fonte IEA, EWEA, ISES (v. Bibliografia)

La tab. 2 successiva riporta i dati delle installazioni nei principali paesi che sfruttano le tecnologie eoliche.

Valori delle potenze installate nei dieci principali Paesi del Mercato Eolico Mondiale				
Continente	Nazione	P installata al 1998 (MW)	P installata al 1999 (MW)	Diff. (%)
Europa	Germania	4.444	2.875	54,57
	Spagna	1.180	707	66,90
	Danimarca	1.700	1.441	17,97
	Italia	180	281	-35,86
	Grecia	121	39	210,26
	Olanda	409	340	66,90
America N.	USA	2.502	1.770	41,36
Asia	Cina	300	224	33,93
	India	1.077	1.015	6,11

NB: la potenza è espressa in megawatt (MW), la differenza è espressa in percentuale.
Fonte EWEA e AWEA (in Wind Directions v XIX n. 3, March 2000, p 6c)

Nella tab. 3 figura una sintesi, sempre aggiornata al 1999, relativa agli impianti italiani. Una doverosa precisazione si deve fare a proposito di quest'ultima tabella: essa prescinde dalle variazioni di denominazione eventualmente verificatesi a carico di alcuni degli Enti proprietari delle singole wind farm. Tali variazioni, legate prevalentemente, alla evoluzione dei mercati finanziari e/o alla creazione di nuovi soggetti giuridici necessitano di verifiche al momento in corso.

APPLICAZIONI DELL'ENERGIA EOLICA

Le principali applicazioni riguardano, nel caso delle piccole macchine, aerogeneratori o aeromotori installati come sistemi isolati a servizio di una utenza isolata (per esempio una aeropompa azionata da un motore elettrico, nel caso dell'aerogeneratore, o una aeropompa, propriamente detta, ed in genere lenta nel caso dell'aeromotore.

Nel caso delle macchine di media e grande taglia, l'applicazione tipica è in cluster (in genere collegati alla rete di potenza o ad una rete locale con sistemi diesel), ed è questo il caso delle grandi wind farm americane ed europee e, più di recente, italiane.



Le wind farm nel Nostro Paese, dopo qualche esempio realizzato in aree pianeggianti (Alta Nurra), si stanno sviluppando in aree appenniniche anche al di sopra di 1.000 m s.l.m. In un prossimo futuro potrebbero aversi anche centrali off-shore su fondali non oltre i 10 m e entro 1-2 km dalla linea della costa.

POTENZIALITÀ DELL'ENERGIA EOLICA

Per valutare le potenzialità di sfruttamento della fonte eolica non è fuori luogo mostrare un raffronto con altre tecnologie basate sulle fonti rinnovabili: è quanto viene fatto nella tabella che segue.

Scenario per sviluppo dei settori-chiave (1999-2003)

Settore	Iniziative della Campagna Take-Off	Stima capacità installata	Stima investimenti totali (mld di Euro)	Sostegno medio del settore pubblico (%)
ENERGIA SOLARE	650.000 sistemi FV in U.E. 350.000 sistemi FV nei PVS	650 MW 350 MW	2,85 (2,45)	45% -
	15 milioni m ² di collettori solari	15 Mm ²	4,7	15%
ENERGIA EOLICA	10.000 MW di turbine eoliche	10.000 MW	10,1	20%
ENERGIA DA BIOMASSE	10.000 MW per produzione combinata calore ed elettricità	10.000 MW	5,5	30%
	1.000.000 MW abitazioni riscaldate con biomassa	10.000 MWt	4,4	10%
	1.000 MW di installazioni biogas	1.000 MW	1,2	25%
	5 milioni di t di biocombustibili	5 milioni di t	1,25	50%
TOTALE			30 mld Euro	

Fonte: Campaign for the Take-Off (documento elaborato dal Consiglio Europeo, 8 Giugno 98)

Così come la tab successiva mostra alcune possibili evoluzioni stimate in termini di potenza installata.

Previsioni riguardo alla potenza delle centrali italiane			
Anno	PEN (88)	APER (1998)	Secondo la formula (1)
2000	600		431,84
2001			633,49
2002			902,16
2003			1.249,94
2004		900	
2010		2000	

ASPETTI ECONOMICI DELL'ENERGIA EOLICA

Attualmente, in Italia, il costo di installazione, ipotizzando l'impiego di aerogeneratori da almeno 600 kW di potenza nominale, si può ritenere compreso fra un minimo di 850,00 ed un massimo di 1300,00 €/kW andando da siti pianeggianti a siti caratterizzati da orografia complessa. Il costo della macchina può ritenersi, prudenzialmente, compreso fra 2/3 e 3/4 del costo totale di installazione in funzione delle caratteristiche orografiche del sito.

Quando saranno disponibili rilevazioni di mercato ufficiali anche in Italia sarà possibile fornire indicazioni più precise. Attualmente, in linea di principio, può dirsi che una centrale da circa 10 MW, allacciata quindi alla rete elettrica in AT, potrebbe avere un costo di realizzazione compreso fra i 8.500 e i 13.500 milioni di euro in funzione dell'orografia del sito. Applicazioni sempre in rete ma allacciate a quella di MT (impianti con potenza di circa 2-3 MW) potrebbero avere un costo di realizzazione compreso tra 950.000 e 1.300.000 euro per MW installato. Il **costo di produzione** varia in funzione della taglia delle macchine e della ventosità del sito.

Dopo essere stato, nel corso degli ultimi anni, a livelli di 0,04 - 0,08 €/kWh, stime più recenti lo indicherebbero in un range compreso fra 0,04 e 0,05 €/kWh. Presto il costo del kWh da fonte eolica, potrebbe raggiungere anche le 0,03 €/kWh divenendo così confrontabile con quello proveniente dagli impianti turbogas.

Bisogna ricordare che l'**energia prodotta** varia con il cubo della velocità del vento, il costo del kWh prodotto dipende fortemente dalla ventosità del sito e quindi la sua scelta è fondamentale e deve basarsi su una corretta campagna anemologica. Oggi, sulla base di valutazioni economiche e tecniche, si comincia a parlare di "valore" dell'energia elettrica da fonte eolica, in contrapposizione ai "costi", per meglio specificare il ruolo degli impianti eolici nel sistema energetico d'un paese.

IMPATTO AMBIENTALE DEGLI IMPIANTI EOLICI

Gli impianti eolici producono un **impatto sull'ambiente estremamente limitato** e fondato sui seguenti fattori di impatto:

1. occupazione del territorio;
2. variazione al paesaggio;
3. emissioni acustiche;
4. interferenze elettromagnetiche;
5. disturbo all'avifauna stanziale e migratoria;
6. produzione di energia da immettere direttamente sulla rete locale (impatto positivo);
7. disponibilità di potenza direttamente vicino ai centri di carico locali (impatto positivo);
8. emissioni inquinanti evitate dalla sostituzione di una quota parte del parco termoelettrico (impatto positivo).



Di questi fattori solo i primi due possono in qualche modo considerarsi particolarmente significativi e provati.

Tuttavia il fattore rappresentato dall'occupazione del suolo di fatto non esclude gli altri usi del territorio in quanto solo l'1-2% del territorio occupato dalla wind farm è materialmente indisponibile per l'esistenza stessa delle macchine.

Gli impianti eolici, insieme agli impianti idraulici (anche di piccola taglia), sono gli unici in grado di sostituire quote significative di impianti basati su fonti fossili, per cui per ogni unità di energia elettrica prodotta verrebbero risparmiati quantitativi di emissioni come dalla seguente tabella (fattori di emissioni per tipologia di impianto a fonte fossile).

Specie Inquinanti							
Tipo di centrale	Tipo combustibile	SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	P.S.T.	Note
ENEL (T.V.)	mix (T.V)	9,42	3,23	-	-	0,43	CLES S.r.l (1988)
UNAPACE (Cogen)	mix (Cogen)	4,69	1,88	-	-	0,18	CLES S.r.l (1988)
ENEL (T.V.)	carbone (1% S)	6,3	4,4	-	1000	3	Agostini e Bianchi (93)
ENEL (T.V.)	ATZ (3% S)	13,8	2,9	-	700	0,5	Agostini e Bianchi (93)
ENEL (T.V.)	BTZ (1% S)	4,6	2,9	-	700	0,5	Agostini e Bianchi (93)
ENEL (T.G.)	vario (*)	1,4	2,5	-	1000	0,18	Agostini e Bianchi (93)
ENEL (T.G./T.V.)	gas	-	2,8	-	500	0,1	Agostini e Bianchi (93)

N.B. La tabella riporta i cosiddetti "rapporti di emissione" in Kwh

P.S.T. è la sigla di "particelle solide totali", anche indicate come "particolato".

Composizione del Mix "T.V." olio=34,18%, gas= 44,62%, altro=20,33%.

Composizione del Mix "Cogen" olio=60,2%, gas=17,0%, carbone=21,8%, lignite=0,8%, altro=0,2%

I dati tratti da CLES S.r.l. (1998)

(*) Si tratta del Mix per le centrali policombustibile

Composizione del Mix "Cogen" olio=60,2%, gas=17,0%, carbone=21,8%, lignite=0,8%, altro=0,2%

I dati tratti da CLES S.r.l. (1998)

(*) Si tratta del Mix per le centrali policombustibile

Per centrali termoelettriche a recupero o utilizzanti biomasse vegetali, sono portate in conto le seguenti emissioni							
Specie Inquinanti							
Combustibile	Tenore di O ₂	SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	P.S.T.	Note
Colture energetiche	11%	300	250	250	-	40	Come fumi secchi
Specie Inquinanti							
Combustibile	Tenore di O ₂	COT	HCl	Ceneri		Note	
Colture energetiche	11%	40	50	5-15%		Come fumi secchi	

NB: I valori per le biomasse sono espressi in "mg/Nmc a parte le "ceneri"

Wind farm italiane esistenti alla fine del 1999

Wind farm	Ente Proprietario	Potenza installata (kW)	Potenza effettiva (kW)
Alta Nurra	ENEL	2.970	400
Monte Arci	ENEL	10.880	10.880
Aqua Spruzza (IS)	ENEL	2.440	2.300
Bisaccia (AV)	Regione Campania	2.400	0
Bisaccia (AV)	Alenia Rei	640	0
Bisaccia (AV)	Comunità Montana Penisola Sorrentina	640	640
Monte Uccari	Consorzio di Bonifica della Nurra	1.600	1.600
Palena (CH)	Consorzio del Sangro	1.285	1.285
Campanedda	Consorzio di Bonifica della Nurra	1.000	1.000
Ottava	Consorzio di Bonifica della Nurra	1.000	1.000
Brunestica	Consorzio di Bonifica della Nurra	960	960
Carloforte (CA)	S.E.A	960	960
Villacidro	Consorzio Ind le	1.770	1.770
Villagrande	Comune	640	640
Tocco da Casauana (PE)	Comune (RWP e ora Edison)	400	400
Frosolone (IS)	Comunità Montana del Sanno	320	320
Oristano	Cons Ind le	320	0
Collarmele(AQ)	Marsica Gas	1.750	1.750
Assermini	Air Liquide Italia	225	225
Frontone	ANAS	216	0
San Simone	Consorzio di bonifica Sardegna	200	200
Villa Favorita	Società Villa Favorita	150	150
Ostuni (BR)	Massari	150	150
Collarmele(AQ)	ENEL	9.100	9.100
Montefalcone Val Fortore	IV PC S.r.l	25.800	25.800
San Giorgio La Molara	IV PC S.r.l	19.800	19.800
Molinara	IV PC S.r.l	14.400	14.400
San Marco dei Cavoti	IV PC S.r.l	11.400	11.400
Baselice	IV PC S.r.l	7.200	7.200
Foiano Val Fortore	IV PC S.r.l	5.400	5.400
Sant'Agata di Puglia	IV PC S.r.l	25.200	25.200
Monteleone	IV PC S.r.l	16.800	16.800
Ansano di Puglia	IV PC S.r.l	7.200	7.200
Rocca San Felice	IV PC S.r.l	2.400	2.400
Alberona	IV PC S.r.l	36.000	36.000
Casone Romano (FG)	NCD	1.200	1.200
Persano (SA)	Acquara	1.100	1.100
Sale delle Langhe	Agncn	150	150
Accadia (FG)	Lucky Wind	10.800	10.800
Rocchetta Sant'Antonio	Edison Energie Speciali	5.250	5.250
Casone Romano (FG)	Riva-Calzoni	2.600	2.600
Mazzara del Vallo (TP)	Sicil Marin	600	600
Castelfranco di Miscano (BN)	Filippo Sanseverino S.r.l	30.000	30.000
S. Benedetto Val di S. (BO)	Riva WP e Sistemi Energia	3.500	3.500
Foiano Val Fortore	Riva WP e ISMES	2.800	2.800
San Giorgio la Molara	Riva WP	10.000	10.000
Lamezia Terme	Consorzio Industriale	640	640
Celle San Vito (FG)	RWP	3.150	3.150
Fossato di Vico (FG)	Comune	1.500	1.500
	Totale	286.906	280.420