

L. Ferrari - CNR
A. Arena - ENEA
E. Lembo, L. Serri - RSE

DESCRIZIONE TECNICA

Le tecnologie per lo sfruttamento dell'energia eolica hanno avuto un grande sviluppo e diffusione negli ultimi venti anni, e nei vari Paesi aumenta costantemente il contributo alla produzione di energia elettrica da fonte eolica. A fine 2015 erano installati al mondo più di 430 GW di potenza eolica. I primi tre Paesi utilizzatori sono: Cina 145 GW, USA 74 GW, Germania 45 GW; l'Italia al 2015 era vicino ai 9 GW.

La tendenza generale è quella di sviluppare in ambito on-shore e off-shore macchine sempre più grandi e potenti, gli attuali aerogeneratori commerciali sono della potenza unitaria di 2-3 MW, ma esistono già macchine da 7-8 MW. La produzione di energia elettrica in ambito mondiale è fornita ad oggi quasi esclusivamente dalle grandi macchine on-shore. Un crescente interesse è riposto nello sviluppo della tecnologia off-shore anche per le condizioni generalmente favorevoli di ventosità. In aumento anche il mercato dei piccoli generatori (micro e mini eolici).

La configurazione dei grandi aerogeneratori on-shore è prevalentemente tripala ad asse orizzontale. Le pale sono collegate ad un mozzo che è collegato ad un sistema di conversione dell'energia meccanica in elettrica. Questi organi sono confinati in una navicella che è posta in quota utilizzando un pilone di sostegno (torre). La potenza estratta è proporzionale all'area del rotore e al cubo della velocità del vento. Gli aerogeneratori possono operare a giri fissi con connessione diretta alla rete elettrica o a giri variabili (dotate di un'elettronica capace di adeguare la frequenza di generazione a quella di rete) con alcuni vantaggi tra cui un'efficienza superiore (ottimizzazione aerodinamica in diverse condizioni di vento), possibile riduzione delle sollecitazioni e minore rumorosità alle basse velocità del vento.

Per le piccole taglie, le macchine diventano più semplici. Sono generalmente a velocità di rotazione variabile, e l'orientamento è gestito in modo automatico mediante una tailvane oppure adottando soluzioni downwind in cui le pale sono poste a valle della torre. La regolazione della potenza è affidata a sistemi non comandati. Oltre alle macchine ad asse orizzontale, è possibile trovare anche esempi di macchine operanti con asse verticale (tipicamente con configurazione Savonius o Darrieus ad H). Queste sono caratterizzate da rendimenti più bassi (quindi a parità di potenza generata, hanno dimensioni più grandi di una equivalente macchina ad asse orizzontale) ma essendo meno complesse (ed esempio, sono insensibili alla direzione di provenienza del vento) hanno elevate affidabilità. Girando a velocità di rotazione più basse a parità di velocità del vento, sono molto più silenziose delle macchine ad asse orizzontale. La loro installazione diventa interessante in contesti di generazione diffusa o in ambienti abitati tipici delle piccole taglie.

Nel settore off-shore le grandi macchine tripala sono lo standard e le potenze ormai si spingono verso i 10 MW. Grazie alla migliore esposizione dei siti (assenza di ostacoli) e bassa rugosità superficiale dell'ambiente circostante vi è un aumento dell'energia prodotta rispetto alle configurazioni on-shore e ciò compensa in parte i maggiori costi degli impianti off-shore rispetto alle macchine a terra. Due sono le principali tecnologie dell'eolico off-shore: la prima, con torre fissata al fondale marino, è quella utilizzata da tutti gli attuali impianti installati per la maggioranza al Nord Europa, con la quale si possono raggiungere profondità massime di 40-50m, e la seconda è rappresentata dall'eolico galleggiante (floating) su piattaforma ancorata che è attualmente ancora allo stadio di prototipo, ma il cui potenziale di sfruttamento (numero siti idonei) è notevole poiché si possono raggiungere profondità di centinaia di metri, in questo contesto si stanno affacciando anche sistemi ad asse verticale di tipo Darrieus ad H il cui principale vantaggio è quello di posizionare il generatore elettrico alla base della struttura.

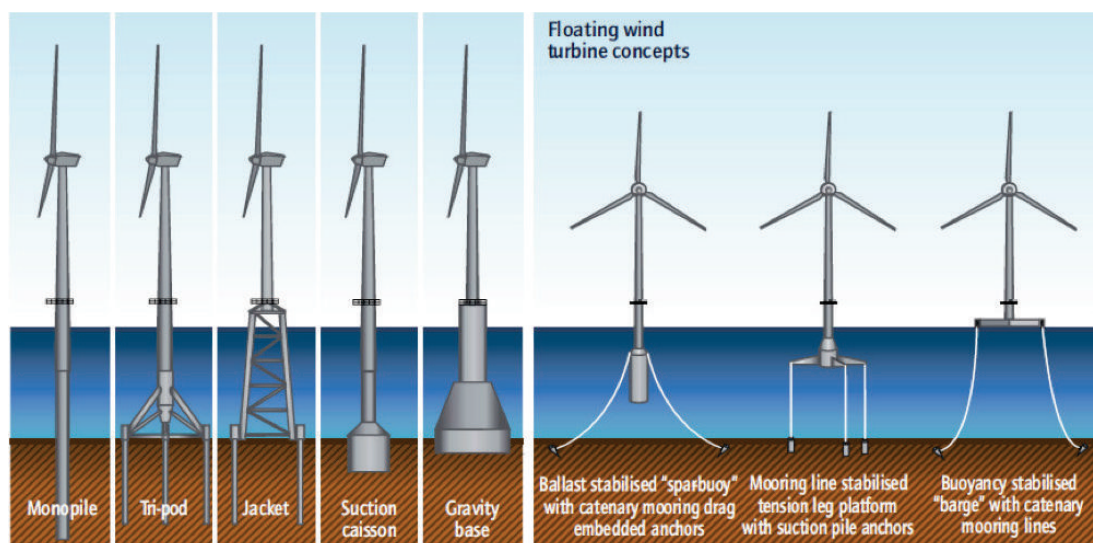


Figura 1 Tipologie di installazione di macchine off-shore (Fonte: Wisler, R. et al., 2011)

Internazionale

Alla fine del 2015 nel mondo si contavano 432.419 MW di potenza eolica installata in continua crescita rispetto agli anni precedenti (Figure 2 e 3). Il Paese con la più alta potenza eolica installata nel mondo è la Repubblica Popolare Cinese che ne conta il 33.6%, seguita dagli Stati Uniti (17.2%) e dalla Germania (10.4%). L'Italia si colloca al nono posto con il 2.1%[2].

Un totale di 141.600 MW è attualmente installato nei Paesi dell'Unione Europea grazie al tasso di crescita del 9.7% del 2015. La Germania rimane il Paese con la più alta capacità installata, seguito dalla Spagna e dal Regno Unito. L'Italia si colloca al quinto posto (Figura 3) [3].

Per quanto riguarda le installazioni off-shore, la potenza complessivamente installata ammonta alla fine del 2015 a 12.105 MW (in crescita rispetto agli anni precedenti) e i principali attori sono il Regno Unito seguito dalla Germania e dalla Danimarca (Figura 4) [2].

A livello europeo, il settore dell'off-shore ha visto un incremento nel 2015 di 3.000 MW rispetto al 2014 [3]. La dimensione media delle turbine impiegate in campo off-shore è di 4.2 MW, 13% più grande del 2014. Questo è dovuto al maggior utilizzo nel 2015 di turbine da 4-6MW. La profondità media dei parchi eolici completati (o in fase di completamento) nel 2015 è di 27.1 m e la distanza media dalla costa è di 43.3 km. Nel 2014 la profondità e la distanza media erano di 22.4 m e 32.9 km rispettivamente [4]. Questo testimonia l'impulso verso profondità e distanze dalla costa crescenti.

A livello europeo, considerando un anno con ventosità media, si producono per via eolica 315 TWh (274.5 TWh da sistemi on-shore e 40.6 TWh da sistemi off-shore) pari all'11.4% del fabbisogno complessivo (9.9% da sistemi on-shore 1.5% e da sistemi off-shore) [3].

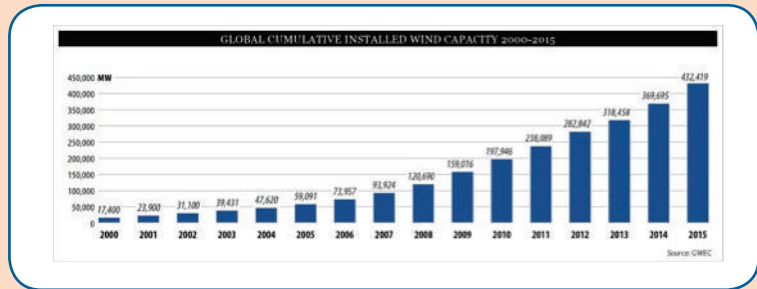


Figura 2 Potenza eolica cumulata installata nel mondo [2]

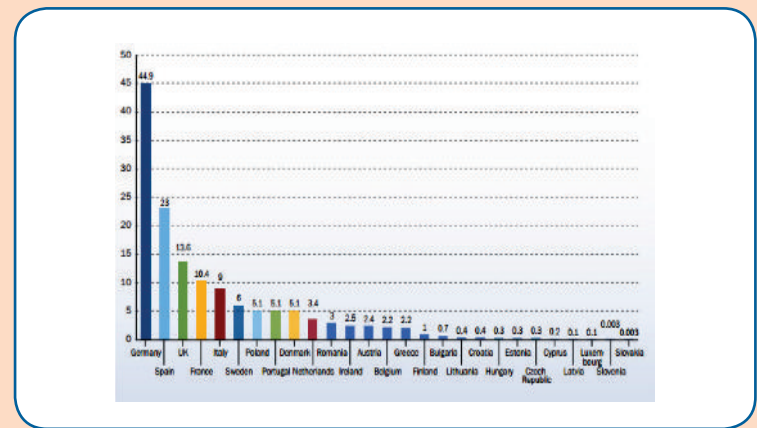


Figura 3 Ripartizione fra i Paesi Europei della potenza eolica cumulata in GW [3]

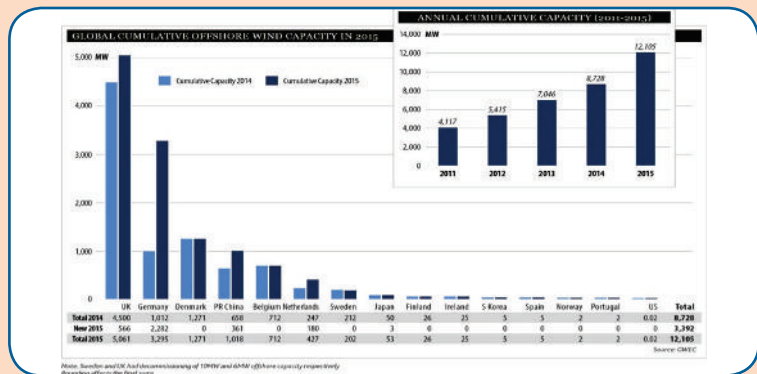


Figura 4 Potenza eolica off-shore cumulata totale e ripartita per Paese[2]

Nazionale

La potenza eolica totale installata in Italia a fine 2015 [5] è stata di 8.942 MW (in crescita del 3,3 % rispetto al 2014) (Figura 5). In particolare, nel 2015, sono stati installati 295 MW eolici secondo dati ANEV (Associazione Nazionale Energia dal Vento), con 27 impianti in larga parte superiori al MW sino a 42 MW. Vi è stato un incremento rispetto al 2014 (105 MW installati) ma una grande diminuzione rispetto al numero di installazioni effettuate dal 2008 al 2012 (più di 1000 MW per anno). Lo sviluppo dell'energia eolica ha rallentato notevolmente dal 2013 al 2015, anche per il nuovo articolato meccanismo approvato nel 2012 con tariffe incentivanti e quote massime da installare.

Si riportano le potenze installate negli ultimi anni in Figura 5.

Il numero di grandi aerogeneratori installati è stato pari a 6.484 unità a fine 2015 (Figura 6).

A fine giugno 2016, la capacità eolica complessiva si è incrementata di ulteriori 167,9 MW, con 8 nuovi impianti caratterizzati da potenza nominale compresa tra 8,1 MW e 31,5 MW.

Nel 2015 sono stati prodotti dall'eolico 14,6 TWh, che rappresentano il 4,6 % della richiesta di energia elettrica in Italia (Figura 7).

In Italia attualmente non sono installati grandi impianti eolici off-shore.

Relativamente al minieolico, nel 2015 sono stati installati un considerevole numero di piccoli aerogeneratori (sotto i 200 kW), con una potenza cumulata installata stimata in circa 50 MW con circa 2.000 macchine. Il contributo del minieolico alla produzione di energia nazionale è trascurabile, ma l'importanza del settore è dovuta ad un grande coinvolgimento di piccole e medie imprese italiane nella produzione e realizzazione degli impianti minieolici. Al contrario di quanto accade per i grandi aerogeneratori le imprese costruttrici italiane hanno una significativa presenza nel mercato dei piccoli aerogeneratori.

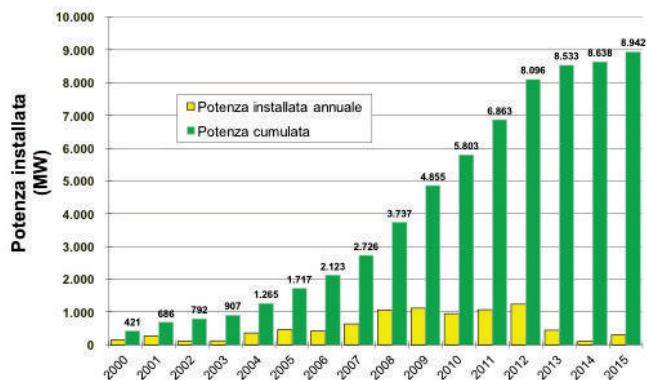


Figura 5 Potenza eolica installata in Italia annuale e cumulata a fine 2015

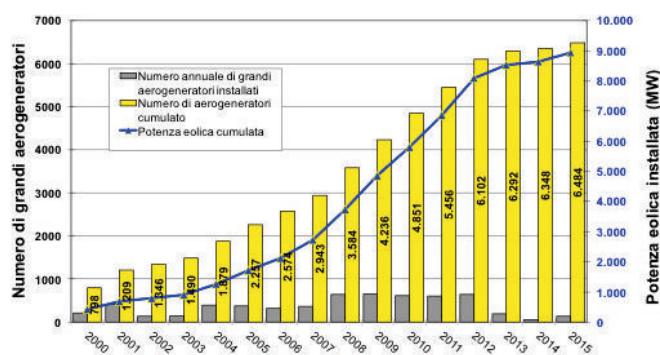


Figura 6 Numero di grandi aerogeneratori installati in Italia a fine 2015 e potenza eolica [5]

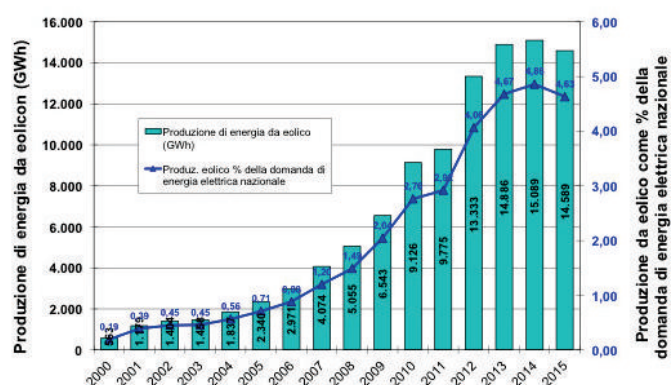


Figura 7 Produzione di energia da fonte eolica in Italia e % della domanda elettrica nazionale [4]

■ TRL (TECHNOLOGY READINESS LEVEL)

I grandi aerogeneratori onshore presenti sul mercato sono dotati di tecnologia molto affidabile. La ricerca è attiva nei vari Paesi e si sta concentrando sull'aumento delle taglie per ridurre ulteriormente i costi di produzione. Gli studi si sviluppano nei settori dell'aerodinamica, aeroelasticità, materiali, elettrico. Altri obiettivi di ricerca sono l'incremento della penetrazione della produzione eolica nella rete e la minimizzazione del rumore.

Nel settore off-shore, la tecnologia per bassi fondali è già utilizzata ma vi sono ampi margini di miglioramento. Le ricerche si concentrano anche sulla tecnologia degli aerogeneratori floating con diversi tipi di soluzioni per le piattaforme e per le diverse profondità. TRL 6-7 (sviluppo di prototipi funzionanti).

Nel campo mini-micro eolico, le tecnologie sono mature anche se vi sono alcuni margini di miglioramento, l'obiettivo è il contenimento dei costi con il minimo impatto sulle prestazioni dell'aerogeneratore.

■ RELAZIONE CON LE FONTI ENERGETICHE

Possibili interazioni con:

- **Accumulo idraulico:** gli impianti eolici possono essere connessi tramite la rete elettrica con i grandi impianti idraulici di pompaggio per l'accumulo del surplus dell'energia prodotta da eolico.
- **Idrogeno:** il surplus di energia elettrica prodotto potrebbe essere convertito in idrogeno per usi diretti o per la conversione in metano (power to gas).
- **Accumulo elettrico:** un opportuno accumulo elettrico installato in una wind farm potrebbe portare ad una produzione di energia elettrica più costante e meno sensibile alle variazioni di ventosità con un diretto vantaggio di accoppiamento con la rete elettrica.
- **Energia da maree e onde:** alcune geometrie di turbina eolica sono utilizzabili anche per lo sfruttamento dell'energia contenuta nelle correnti marine. In aggiunta, alcune versioni di turbina eolica possono essere utilizzate per lo sfruttamento dei moti d'aria prodotti dai sistemi di generazione basati sul moto ondoso (sistemi a cassone o a colonna d'acqua oscillante).

E' possibile in futuro pensare a piattaforme off-shore multiuso in grado di alloggiare più tecnologie rinnovabili off-shore con un'ottimizzazione dei costi costruttivi e di installazione e incrementando lo sfruttamento dell'area marina interessata.

■ VERSATILITÀ (CAPACITÀ DI IMPATTARE SU PIÙ SETTORI)

Possibili interazioni positive con:

- Settore dei materiali (impiegati per la realizzazione di pale e strutture di sostegno)
- Ambito delle previsioni meteorologiche dato l'impatto che una corretta previsione della ventosità può avere sulla produzione di energia e sulla gestione dei parchi eolici.

■ POTENZIALE DI DIFFUSIONE IN AMBITO NAZIONALE

La disponibilità di ventosità sul territorio Italiano è stimata e sintetizzata in un atlante eolico interattivo da Ricerca sul Sistema Energetico - RSE S.p.A [8]. Si evidenzia come i siti del centro-sud Italia anche nella zona Appenninica e le grandi isole siano di interesse per le installazioni di impianti eolici. Il maggiore ostacolo alla diffusione della tecnologia in Italia è il territorio densamente popolato, la vocazione turistica e le zone protette. Per l'eolico off-shore, il maggiore limite all'installazione è costituito dalla profondità dei nostri fondali. Si delinea per il futuro l'opzione della tecnologia floating [14].

■ IMPATTO E SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

Gli impatti di un sistema eolico si articolano in: Acustico, Visivo e Paesaggistico, Avifauna e Elettromagnetico. Quello visivo presenta maggiori criticità. Recenti criteri di progettazione delle pale hanno consentito di ridurre quello acustico. L'impatto sull'avifauna e quello elettromagnetico, generalmente ritenuti di piccola entità, possono essere mitigati con opportuni accorgimenti.

Emissioni CO₂/MWh

Nel 2014 un articolo di Energy Policy ha analizzato in dettaglio il ciclo vita dei sistemi eolici per i bilanci di CO₂ [11]. Sono stati esaminati 153 studi sulla CO₂ prodotta durante il ciclo vita degli impianti (tutti sottoposti ad una peer review e più del 70% pubblicato negli ultimi 5 anni). E' emerso come l'energia eolica produca un'emissione media di 34,11 gCO₂/kWh durante il suo ciclo vitale, con una forchetta che varia fra 0,4 g e 364,8 g. Questa escursione è molto legata alla variabilità che si può avere nella realizzazione e funzionamento della macchina. Con un diverso mix energetico, la stessa macchina costruita in Cina ha un impatto ambientale maggiore di quella costruita in Germania. La fase relativa alla realizzazione dei materiali e alla fabbricazione è la responsabile

della maggior parte delle emissioni seguita dalla fase di costruzione e funzionamento [11]. In termini generali più è grande la potenza della turbina e maggiore la sua vita, minore sono le emissioni su ciclo vita a kWh. Negli studi in cui è stata considerata una vita di 20 anni le emissioni sono state stimate in 40.69 g/kWh, scendono di 28.53 g su 25 anni e 25.33 g per 30 anni.

Emissioni CO₂/MWh evitate

L'intensità carbonica nella produzione elettrica è stimata intorno ai 353,4 gCO₂/kWh [10]. Ogni kWh prodotto da fonte eolica comporterebbe quindi un risparmio di CO₂ emessa in ambiente di 353,4 g. Per avere una stima più coerente, occorre valutare il bilancio sull'intero ciclo vita.

EFFICIENZA, TEMPO DI VITA E RENDIMENTO PREVISTI

L'efficienza di una macchina eolica dipende molto dalla tecnologia considerata (Figura 9). I sistemi di produzione di elevata potenza, possono avere efficienze anche molto vicine a quelle massime teoriche (sistemi a 3 pale). In un contesto di wind farm, l'efficienza complessiva può risentire dell'interazione con le scie di macchine sopravvento, in caso che le distanze reciproche non siano sufficienti. In termini energetici, l'immissione in rete può essere limitata dall'indisponibilità della rete: il sistema potrebbe generare energia, ma poiché la rete non è in grado di riceverla, la macchina viene fermata. Questa perdita di produzione causata dall'indisponibilità delle rete, che attualmente viene remunerata, è risultata pari a 492 GWh nel 2010 e si è progressivamente ridotta, fino a poco più di 120 GWh nel 2013 [9]. La vita attesa per gli aerogeneratori è di oltre 20 anni.

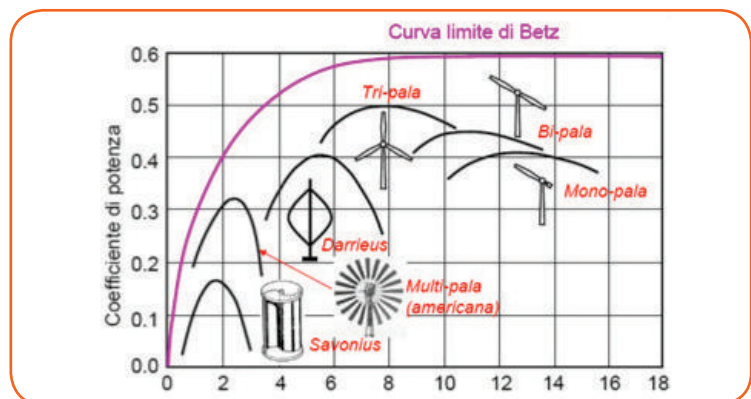


Figura 9 Efficienze tipiche delle principali tipologie di macchine eoliche

PAYBACK TECNOLOGICO, DI INVESTIMENTO E DI OPERATION AND MAINTENANCE PREVISTO

Il tempo di rientro dell'investimento per un impianto eolico dipende dalla ventosità del sito di installazione e dalla monetizzazione del kWh elettrico. Per impianti di grossa taglia, indicativamente un sito con velocità media superiore ai 5 m/s è generalmente ritenuto un sito appetibile. Nel campo delle piccole taglie, data la variabilità dei sistemi e delle prestazioni, i tempi di rientro dell'investimento sono molto più sensibili alla ventosità del sito.

Ad oggi in Italia il costo di installazione medio di impianti eolici di grande taglia da singoli aerogeneratori di 850 kW sino a impianti delle decine di MW si attesta intorno ai 1.500 €/kW. 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. In caso di sistemi off-shore, i costi di installazione diventano superiori e aumentano con la profondità. Nel settore mini e microeolico, i costi sono molto più variabili e dipendenti dall'installazione e generalmente più alti. Indicativamente si può ipotizzare un costo intorno ai 3.500 – 5.000 €/kW installato. In Italia, nel 2014 il costo specifico variava da circa 4.800 €/kW per le macchine con potenza fra 1 e 20 kW, a 3.700 €/kW per le macchine fra 20 e 60 kW e 2.800 €/kW per quelle fra i 60 ed i 200 kW. Il costo scende a 2.000 €/kW per macchine fra i 200 ed i 1000 kW[12].

PRINCIPALI OSTACOLI ALLO SVILUPPO

Alcuni dei fattori che maggiormente limitano la diffusione della tecnologia eolica sono:

- Volatilità dei programmi incentivanti che limita la propensione degli investitori
- Procedure autorizzative spesso complesse
- Scarsa accettazione da parte delle popolazioni a causa dell'impatto ambientale
- Indisponibilità della rete o difficoltà di allacciamento.

POTENZIALITÀ DI SVILUPPO TECNOLOGICO IN AMBITO NAZIONALE E IMPATTO SUL PIL

In Italia sono poche le aziende che producono aerogeneratori, soprattutto di grandi taglie. Sono numerose, invece, le aziende che si occupano di progettare e realizzare impianti eolici acquistando macchine sul mercato.

Le ricadute di uno sviluppo tecnologico del settore potrebbero essere notevoli visto che l'eolico è previsto in crescita. Si avrà un aumento costante degli occupati nel settore eolico con previsioni di forte crescita anche nel campo off-shore [13].

ANEV, Associazione che raggruppa gli operatori del grande eolico, e UIL hanno elaborato nel 2012 delle stime al 2020 sulla distribuzione occupazionale dovuta alla diffusione dell'energia eolica in Italia suddivisa per regioni. ANEV ha comunicato che i posti di lavoro diretti e indiretti dovuti allo sviluppo dell'eolico in Italia sono nel 2015 pari a 26.000 unità.

POTENZIALITÀ DI ESPORTAZIONE DELLA TECNOLOGIA

L'incentivazione alla produzione di macchine made in Italy porterebbe inevitabilmente ad affacciarsi verso un mercato almeno europeo e, quindi, con una forte componente di esportazione.

POSSIBILI RICADUTE PER IL SISTEMA INDUSTRIALE, DEI TRASPORTI, RESIDENZIALE E NEL TERZIARIO

Essendo una produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile (eventualmente convertibile in gas metano) questa tecnologia permette di ridurre la carbon footprint di tutti i settori di utilizzo dell'energia elettrica/termica. L'impiego di macchine di piccola taglia integrate in contesti residenziali e industriali permetterebbe di ridurre localmente il consumo di energia elettrica e di aumentare notevolmente la diffusione della tecnologia.

BEST PRACTICES

Per i grandi aerogeneratori onshore in Italia non vi sono da segnalare installazioni particolari. In altri Paesi sono funzionanti macchine di grande taglia anche in sperimentazione sino ad 8 MW. Il livello di penetrazione dell'eolico nelle reti elettriche nazionali è un altro aspetto di attenzione; la Danimarca attualmente è il Paese in Europa con maggior penetrazione eolica, 42% di elettricità prodotta da fonte eolica sulla domanda elettrica nazionale.

Nel settore off-shore si segnala il progetto Blue H, realizzato nel 2008 a largo delle coste di Brindisi con sistema TLP (Tension-Leg Platform). La turbina da 80 kW a 20 km dalla costa (profondità di 108 m) su una piattaforma galleggiante era mantenuta in posizione da un sistema di ancoraggio verticale.

In ambito internazionale, vi sono vari prototipi per la tecnologia off-shore floating, quasi tutti con macchine ad asse orizzontale tripala, che utilizzano diversi tipi di piattaforme tutte in sperimentazione.

IEA wind TCP pubblica periodicamente delle "Recommended Practices" su diverse tematiche che riguardano il settore eolico (www.iea.org). Sono in fase di review le Recommended Practices sulle modalità di raccolta ed elaborazione di dati provenienti da parchi eolici operativi e sull'esercizio di parchi eolici in climi freddi.

MAGGIORI ATTORI ITALIANI COINVOLTI

Utilizzo della tecnologia

Operatori gestori grandi impianti eolici (2015):

- Enel Green Power
- Erg Renew
- Falck Renewables
- E2i
- Friel Green Power
- Alerion Clean Power
- E.ON.
- Api Nova Energia
- IVPC
- Veronagest
- Moncada Energy Group
- Tozzi
- Termomeccanica Ecologia.

Di seguito l'elenco di imprese censite da Energy Strategy Group del Politecnico di Milano in collaborazione con imprese e Associazioni del settore eolico (sono escluse le imprese estere con o senza filiale italiana) [7]

Consulenza sul progetto eolico: Euro Service, LSI Lastem, Meteocenter (SMS), Relight Energie, Servizi Territorio, Spes Consulting, Tecnogaia, Windfor; Progetti eolici: ABN Wind Energy, Green Energy, Maestrone Green Energy, SER Sistemi Energie Rinnovabili, S.I.I.S., SoloRinnovabili, Studio Rinnovabili, Studio Tecnico BFP; Installazione impianti eolici: Cedelt, CMM (Consorzio Enerlog), Fen Energia, Green Energy, ICIE Energia, Infrastrutture, Laut Engineering, Marco Polo Group, PLC System, Sorgent.e Holding; Trasporto impianti eolici: Arduino Trasporti, Geo Trasporti, ICIE Energia, LOGI.CO., Marraf-fa, Molisana Trasporti, Nizzoli Trasporti, Rubino, Runco, Savino Del Bene.

Sviluppo della tecnologia

Grande eolico: costruttori di aerogeneratori (2015):
Leitwind (Italia) (2 stabilimenti Austria e India)
Vestas (Danimarca) -(1 stabilimento in Italia Taranto)

Minieolico: costruttori e distributori aerogeneratori:

- Ropatec
- Tozzi Nord
- Aria
- Jonica Impianti
- En-Eco
- Eolart
- T.R. Energia
- It-Energy
- Espe.

Di seguito l'elenco di imprese censite da Energy Strategy Group del Politecnico di Milano in collaborazione con imprese e Associazioni del settore eolico (sono escluse le imprese estere con o senza filiale italiana) [7]

Costruzione componenti grandi aerogeneratori:
Moltiplicatore (gearbox): Brevini Group; Sistemi regolazione (pitch e yaw): Bonfiglioli, Corner Industries, Gear World (Gruppo Carraro), Hydac; Cuscinetti: Galperti Tech, Ima Cuscinetti, SNR Italia, The Timken Company; Generatore elettrico: Ansaldo Sistemi Industriali. Sicme Motori; Inverter; Elettronica Santerno; Equipaggiamenti Elettronici Industriali; Power One; Trasformatori: MF Trasformatori, SEA; Torri e Strutture: Fonderia Vigevanese, Forgital Italy, Gualini Group, Leucci Costruzioni, Monsud, Officine Meccaniche Dal Zotto, Pali Italia, Pugliese Industria Meccanica, Sabe, SI.TE.CO., Sites, Stoma Engineering.

ECCELLENZE IN TERRITORIO NAZIONALE

Le attività di ricerca e sviluppo [5] in Italia nel 2015 sono state principalmente portate avanti da CNR, RSE, ENEA e Università.

- **CNR:** in otto istituti di ricerca, svolge attività su: condizioni vento e ricerche strato limite atmosferico per off-shore, coste, terreni complessi e venti estremi (ISAC); modelli integrazione clima atmosferico oceanico ad alta risoluzione (ISAC e ISMAR); mappature eoliche a terra e off-shore (ISAC e IREA); previsione produzione eolica (ISAC); caratterizzazione e modelli per aerodinamica aerogeneratore e onde (INSEAN); impatto ambientale e rumore (IDASC); sviluppo ed esercizio impianti off-shore e valutazioni rischi ambientali (ISAC, ISMAR, ITAE e INSEAN); simulazioni aerogeneratori, convertitori DC/DC e schemi di controllo per integrazione a rete (ISSIA e ITAE); materiali innovativi (ISTEC)
- **RSE:** anche nell'ambito dell'AdP Ricerca di Sistema elettrico, effettua previsioni meteo eoliche, studi sull'integrazione della capacità eolica nella rete, valutazioni risorse attraverso misure in campo e modelli di simulazione (Atlante Eolico Italiano), progetto dell'Atlante Integrato delle energie rinnovabili
- **ENEA:** ha a disposizione una galleria del vento per indagini su profili e caratterizzazione anemometri ed ha effettuato ricerche su metodi non distruttivi applicati a pale di piccoli aerogeneratori

- **Politecnico di Milano:** si occupa di aeroelasticità aerogeneratori, progetti pale, sistemi di controllo, riduzione carichi. Ha sviluppato una galleria del vento per studi su modelli di aerogeneratori con controlli attivi per la simulazione di campi eolici e interazioni onde. In particolare, si occupa di tecnologie avanzate per grandi aerogeneratori (10-20 MW) e progetti pale con sistemi di controllo passivi per la riduzione dei carichi (Dipartimento di Scienze e Tecnologie Aerospaziali), di strutture galleggianti di aerogeneratori da 10 MW (Dipartimento di Ingegneria Meccanica), di progettazione di generatori elettrici ed elettronica di potenza e di integrazione di sistemi eolici in rete e sistemi di accumulo (Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria), reti ed economia dell'energia eolica (Dipartimento di Energia)
- **Politecnico di Torino:** ha sviluppato un piccolo prototipo da 3 kW off-shore installato sul Lago Maggiore su piattaforma galleggiante ad asse orizzontale con controllo del passo e lavora su modelli di aerogeneratori e confronto tra dati eolici e previsioni per la valutazione della potenza immessa in rete da impianti eolici
- **CRIACIV** (Centro Interuniversitario di Aerodinamica delle Costruzioni e Ingegneria del Vento): effettua studi sulla simulazione di grandi aerogeneratori off-shore fissati al fondo marino e sul comportamento delle piattaforme galleggianti
- **Università di Genova:** ha una rete di monitoraggio di 31 anemometri sonici e 3 LIDAR nei maggiori porti del Mar Tirreno; monitoraggio strutturale di un piccolo aerogeneratore ad asse verticale nel porto di Savona
- **ADAG:** gruppo di ricerca dell'Università di Napoli "Federico II", sviluppa progetti pale, prove profili in galleria del vento, analisi comportamento aeroelastico dell'aerogeneratore
- **Università di Roma La Sapienza:** progetto strutturale e aerodinamico dell'aerogeneratore. Dal 2013 è sede dell'Associazione OWEMES per la promozione dell'eolico off-shore e delle tecnologie marine
- **Università di Trento:** progetto e prove di piccoli aerogeneratori nel suo campo prova sperimentale; ricerche specifiche sullo sfruttamento dell'energia eolica nei climi freddi e sui sistemi anti-ghiaccio
- **Società KiteGen Research e Sequoia Automation:** è in fase di sviluppo un aerogeneratore kite da 3 MW le cui prove in campo dovrebbero essere condotte in un sito del Sud del Piemonte.

BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- [1] <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/>
- [2] http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-PRstats-2015_LR_corrected.pdf
- [3] <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA-Annual-Statistics-2015.pdf>
- [4] <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA-European-Off-shore-Statistics-2015.pdf>
- [5] IEA (International Energy Agency) - Wind - Annual Report 2015 - Italy - http://www.ieawind.org/annual_reports.html
- [6] http://www.gse.it/it/salastampa/GSE_Documenti/Rapporto%20statistico%20GSE%20-%202014.pdf
- [7] Politecnico di Milano - Dip. Ingegneria Gestionale - Wind Energy Report - Il sistema industriale italiano nel business dell'energia eolica - Luglio 2012
- [8] <http://atlanteolico.rse-web.it/>
- [9] <http://www.autorita.energia.it/allegati/docs/14/277-14.pdf>
- [10] <http://kilowattene.enea.it/KiloWattene-CO2-energia-primaria.html>
- [11] Nugent, Daniel; Sovacool, Benjamin K. "Assessing the Lifecycle Greenhouse Gas Emissions from Solar PV and Wind Energy: A Critical Meta-Survey," Energy Policy, February 2014, Vol. 65, 229-244. doi: 10.1016/j.enpol.2013.10.048.
- [12] http://www.qualenergia.it/sites/default/files/articolo-doc/speciale-ambiti-sviluppo-minieolico-in-italia_qualenergia-battisti.pdf
- [13] M. Bilgili et al. "Off-shore wind power development in Europe and its comparison with onshore counterpart" Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 905-915
- [14] RSEview, "L'energia elettrica dal vento", 2012 (ed 2017 in pubblicazione), <http://www.rse-web.it/monografie/rseview003.page>