



REGIONE  
BASILICATA



COMUNE DI  
FORENZA



COMUNE DI  
MASCHITO



COM. DI PALAZZO  
GERVASIO



PROVINCIA  
DI POTENZA

## PROGETTO DEFINITIVO

Costruzione ed esercizio di impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Forenza-Maschito" di potenza in massima immissione pari a 33MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Forenza, Maschito e Palazzo San Gervasio (Pz)

Titolo elaborato

### A.5 - Stima di producibilità preliminare

Codice elaborato

**F0626AR04A**

Scala

-

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

### Progettazione



#### F4 ingegneria srl

Via Di Giura - Centro direzionale, 85100 Potenza  
Tel: +39 0971 1944797 - Fax: +39 0971 55452  
www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it

Il Direttore Tecnico  
(ing. Giovanni DI SANTO)



Gruppo di lavoro

Dott. for. Luigi ZUCCARO  
Ing. Giuseppe MANZI  
Ing. Angelo CORRADO  
Ing. Mariagrazia PIETRAFESA  
Geom. Nicola DEMA  
Ing. Federica COLANGELO  
Ing. Mariagrazia LOVALLO  
Arch. Gaia TELESKA  
Ing. Jr. Maria CARLEO  
Sig. Vito PIERRI



Società certificata secondo le norme UNI-EN ISO 9001:2015 e UNI-EN ISO 14001:2015 per l'erogazione di servizi di ingegneria nei settori: civile, idraulica, acustica, energia, ambiente (settore IAF: 34).

Consulenze specialistiche

### Committente



FORENZA S.R.L.  
ENERGY & INFRASTRUCTURE

#### Forenza S.r.l.

Via Dante 7 20123 - Milano

Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Febbraio 2024	Prima emissione	FCO	PFZ	MMA

File sorgente: F0626AR04A - A.5 - Stima di producibilità.docx

## Sommario

<b>1</b>	<b>Premessa</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Inquadramento geografico</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Dati tecnici</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Valutazione energetica</b>	<b>7</b>
4.1	Digital Terrain Model (DTM)	7
4.2	Mappa del vento	8
4.3	Aerogeneratori	11
<b>5</b>	<b>Calcolo della resa energetica</b>	<b>13</b>
5.1	Perdite	13
5.2	Incertezze	13
<b>6</b>	<b>Risultati</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>Verifica requisiti PIEAR</b>	<b>16</b>

# 1 Premessa

Proponente	Forenza S.r.l.
Potenza complessiva massima in immissione	33 MW
Potenza complessiva impianto	33 MW
Potenza singolo WTG	6.6 MW
Numero aerogeneratori	5
Altezza hub max	135m
Diametro rotore max	170 m
Altezza complessiva max	220 m
Area poligono impianto	8.7 kmq
Lunghezza elettrodotto AT area parco	2324 m
Lunghezza elettrodotto AT esterno	9486 m
RTN autorizzata (si/no)	no
RTN esistente (si/no)	no
Tipo di connessione alla RTN (cavo/aereo)	Collegamento in antenna a 36 kV ad una nuova Stazione Elettrica di trasformazione RTN 150 kV da inserire in entra - esce alla linea RTN a 150 kV "Genzano - Palazzo San Gervasio - Forenza"
Piazzola di montaggio (max)	9781 m <sup>2</sup>
Piazzola definitiva (max)	2079 m <sup>2</sup>

Il progetto proposto ricade **al punto 2 dell'elenco di cui all'allegato II alla Parte Seconda del d.lgs. n. 152/2006 e s.m.i., come modificato dal d.lgs. n. 104/2017, "impianti eolici per la produzione di energia elettrica sulla terraferma con potenza complessiva superiore a 30 MW"**, pertanto risulta soggetto al procedimento di Valutazione di Impatto Ambientale per il quale il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza energetica di concerto con il Ministero della Cultura, svolge il ruolo di autorità competente in materia.

La presente relazione consiste nello studio preliminare di producibilità del vento dell'area interessata dal progetto dell'impianto eolico "Forenza - Maschito", tale studio preliminare è stato eseguito sulla base dei dati bibliografici e storici.

## 2 Inquadramento geografico

L'intervento consiste nella realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica, costituito da **n. 5 aerogeneratori** da **6,6 MW** ciascuno, per una potenza complessiva di **33 MW** e da tutte le opere connesse necessarie alla costruzione e all'esercizio dello stesso. In particolare, il territorio comunale di Forenza sarà interessato dall'installazione dei sei aerogeneratori mentre il tracciato del cavidotto di collegamento alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) e le altre opere connesse interesseranno anche il territorio comunale di Maschito e Palazzo San Gervasio.

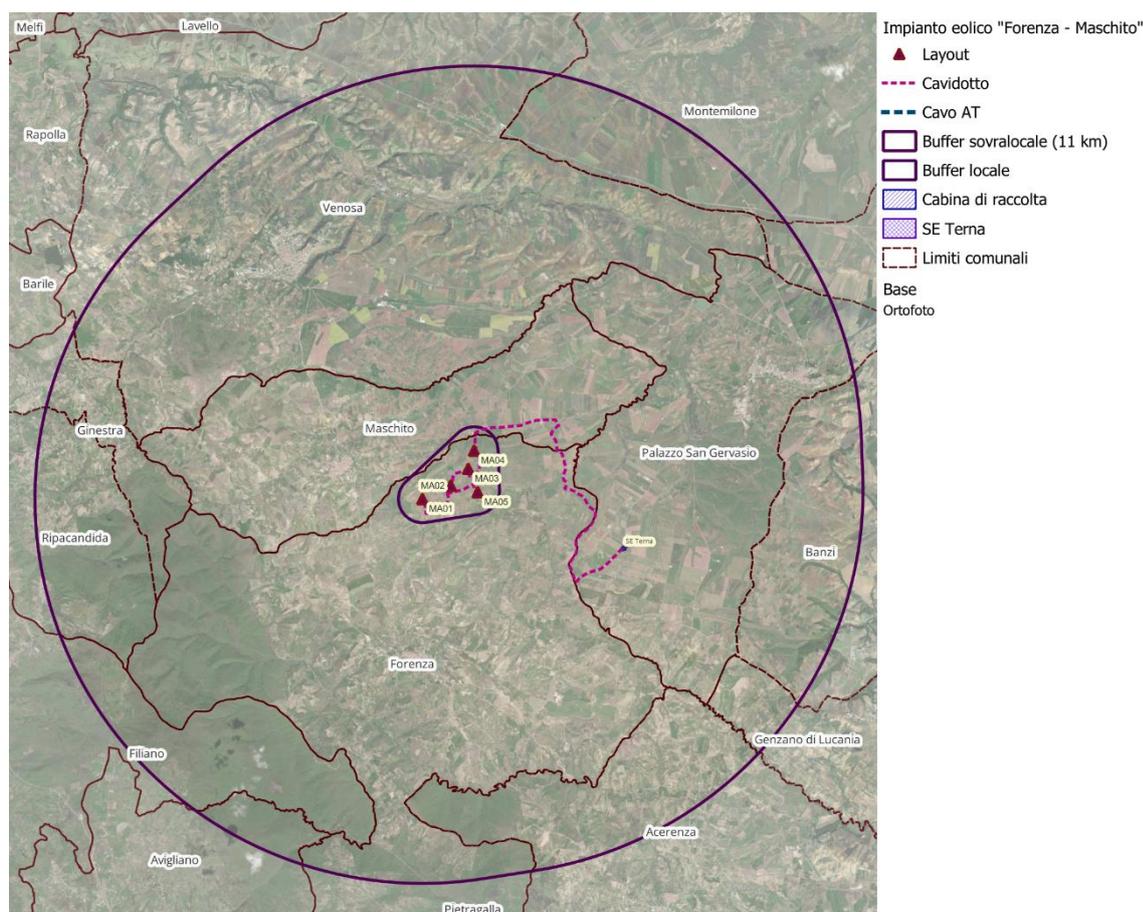


Figura 1: Inquadramento su base ortofoto dell'impianto in progetto



**Figura 2: Vista tridimensionale dell'impianto di progetto**

Si riportano di seguito le coordinate delle posizioni scelte per l'installazione degli aerogeneratori (codificati MA01÷MA05):

WTG	Coordinate UTM-WGS84 fuso 33		Coordinate Gauss Boaga fuso est	
	E	N	x	y
MA01	572313	4528009	2592322	4528016
MA02	573116	4528390	2593125	4528397
MA03	573615	4528872	2593624	4528879
MA04	573781	4529392	2593790	4529399
MA05	573883	4528202	2593892	4528210

### 3 Dati tecnici

Ubicazione	
Nazione	Italy
Comune	Forenza
Regione	Basilicata
Coordinate	
Nord	Est
40°55'31.76"	15°49'46.63"

Dati vento	
Wind speed Avg at 130 m	7,1 m/s
Parametri di Weibull	
A	K
7,8 m/s	1,6

Turbine	
Turbine	Siemens-Gamesa SG 170 6,6MW
No.	5
Power unit	6,6 MW
Power plant	33 MW

## 4 Valutazione energetica

---

La previsione del rendimento energetico fornisce la base per il calcolo dei ricavi del progetto. L'obiettivo è prevedere la produzione media annua di energia per l'intera durata di vita della centrale elettrica proposta. Il software utilizzato per eseguire la valutazione della resa energetica è il **Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP)**.

WASP è un software sviluppato dall'istituto danese Riso DTU National Laboratory for Sustainable Energy. Il codice si basa su tre input di dati principali:

- Digital Terrain Model (DTM);
- Mappa del vento;
- Aerogeneratori.

### 4.1 Digital Terrain Model (DTM)

---

Per introdurre l'orografia in WASP è necessario importare un modello digitale del terreno (DTM). Questo DTM è stato scaricato dai dati SRTM, con un'estensione di 10 km in tutte le direzioni dalle turbine eoliche, garantendo la copertura totale dell'area.

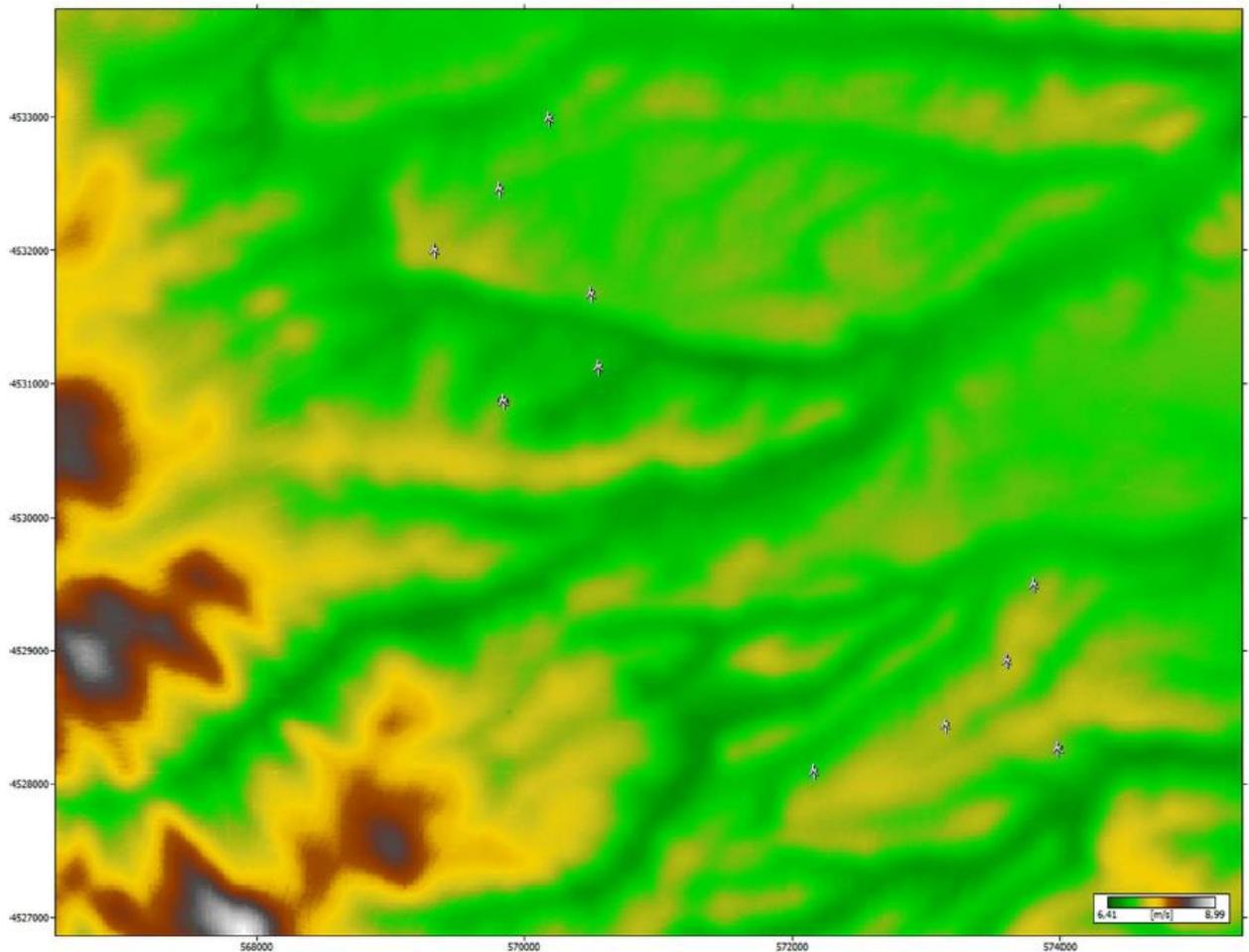
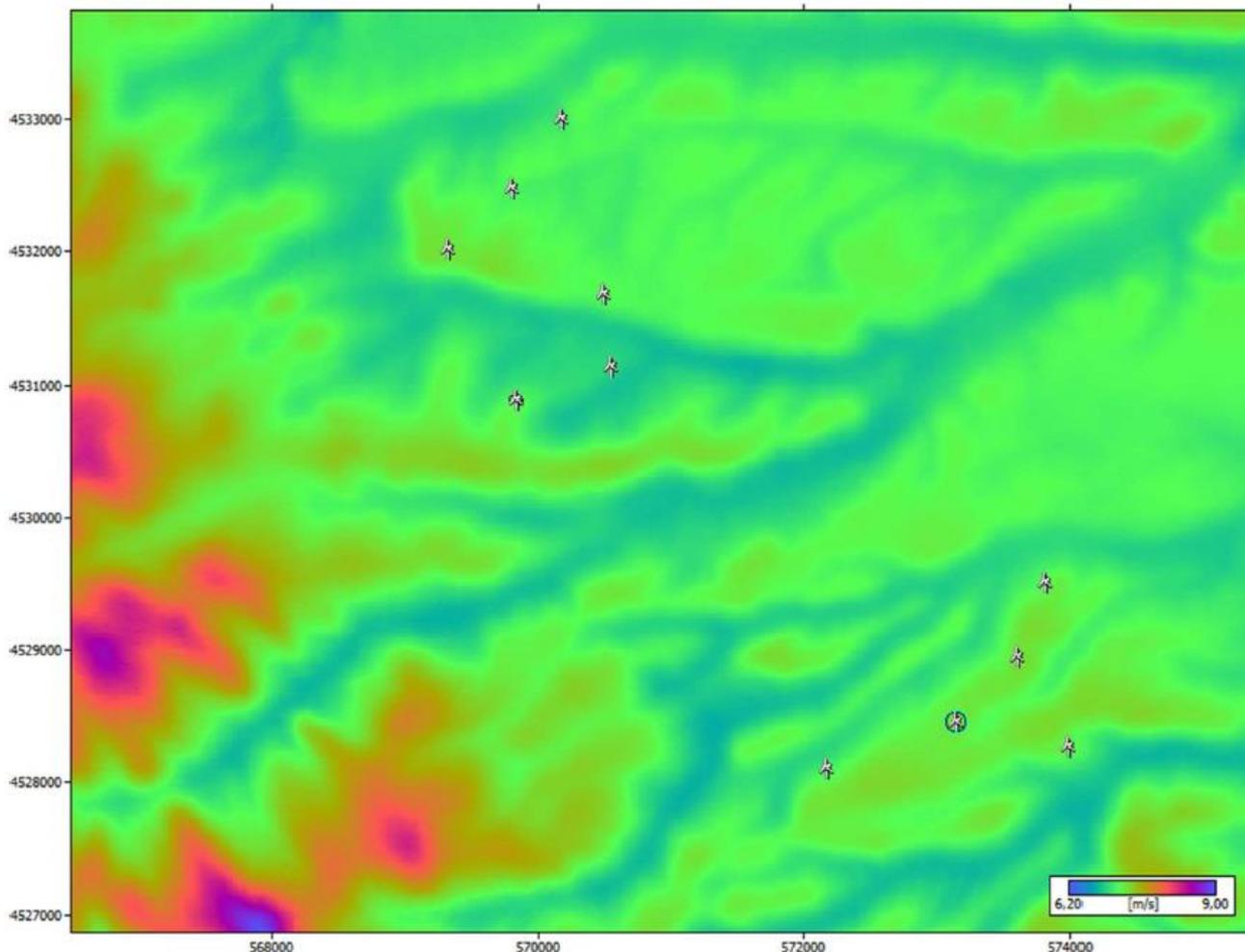


Figura 3. Localizzazione delle turbine su DTM

## 4.2 Mappa del vento

Per ottenere la mappa del vento, sono stati utilizzati i dati del vento su mesoscala. In questo caso è stato utilizzato un albero virtuale, realizzato con la velocità media del vento degli ultimi 20 anni nella zona di interesse. L'albero virtuale è stato elaborato con il set di dati ERA-5, è un insieme di dati di rianalisi sviluppati attraverso il Copernicus Climate Change Service (C3S).



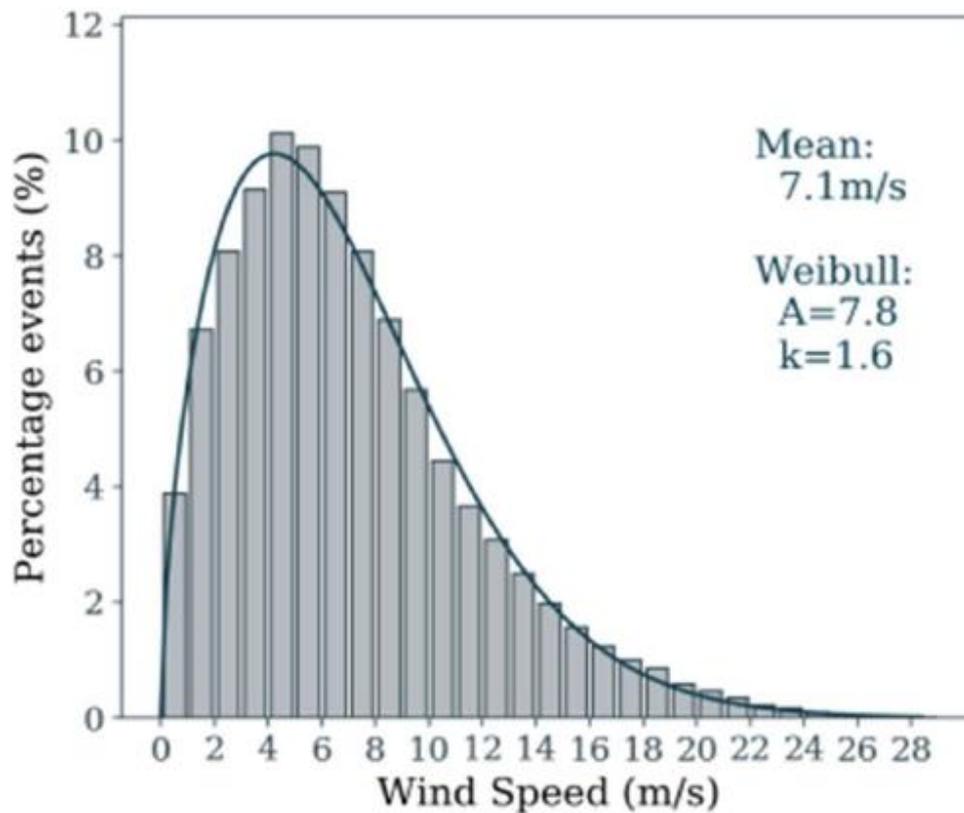
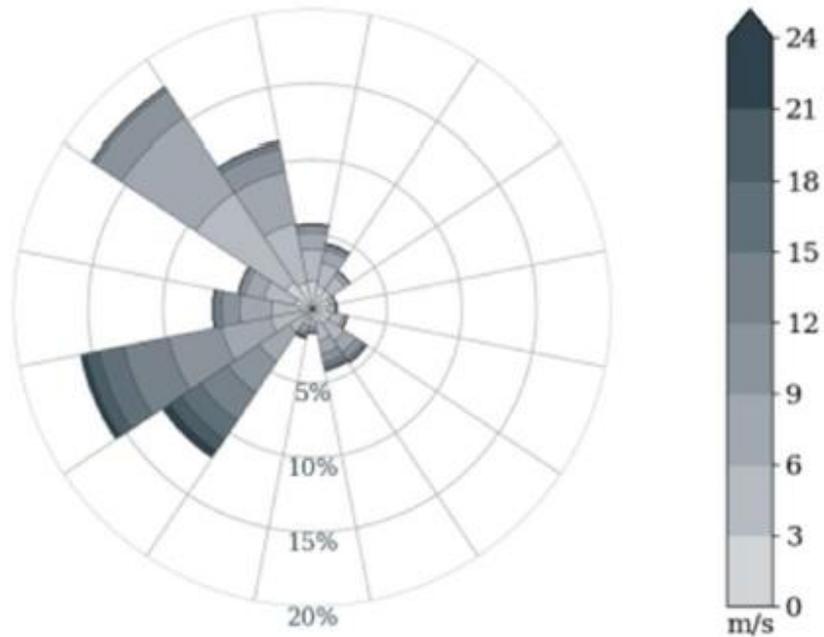
**Figura 4: Localizzazione delle turbine sulla mappa del vento**

Il calcolo è stato realizzato all'altezza del mozzo (135 m) e ad una distanza minima di 1 km da ciascuna turbina per ottimizzare al meglio la modellazione del flusso del vento.

Di seguito si riportano i parametri medi del vento e rosa dei venti:

Costruzione ed esercizio di impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Forenza-Maschito"  
di potenza in massima immissione pari a 33MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di  
Forenza, Maschito e Palazzo San Gervasio (Pz)

**A.5 - Stima di producibilità preliminare**



## 4.3 Aerogeneratori

Il modello di aerogeneratore che si adatta meglio alle caratteristiche del vento dell'area di studio è la Siemens-Gamesa SG 170 6,6 MW o modello similare.

Di seguito le principali caratteristiche dell'aerogeneratore:

### Rotor

Type:	3 blades – axis horizontal
diameter:	170 m
Rpm:	10,5
Swept area:	22.698 m <sup>2</sup>
Tilt:	6°

### Blade

Length:	83,5 m
Material:	Glass fiber – CRP (carbon reinforced plastic)
Color:	RAL 7035 grey light

### Tower

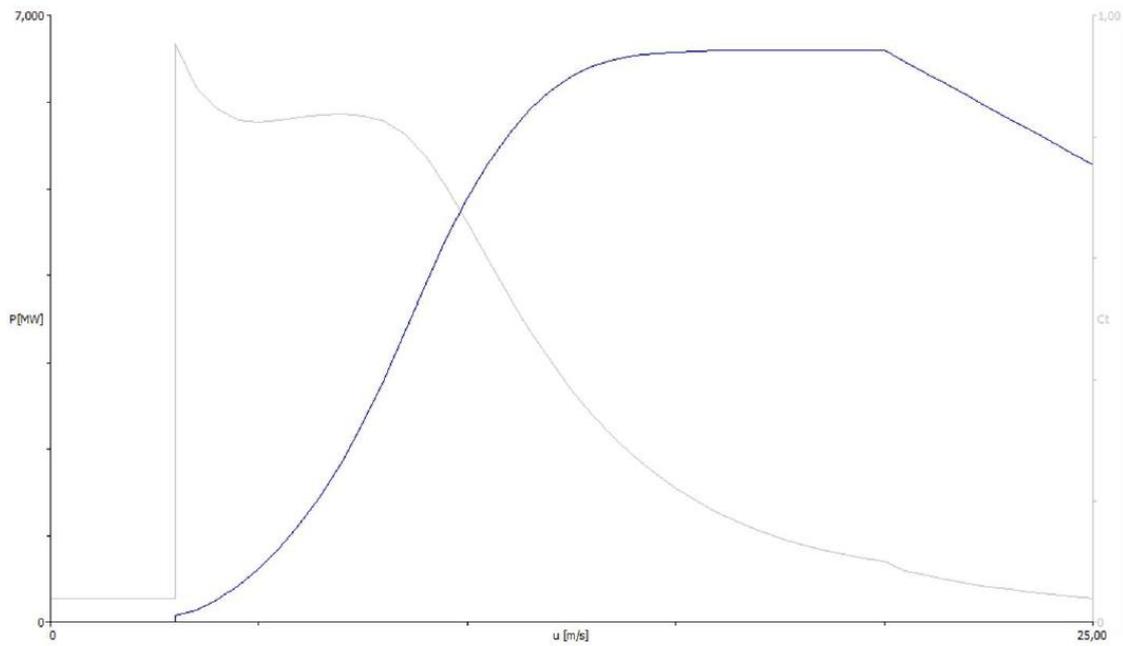
Height:	135 m
Type:	Tubular Steel
Color:	RAL 7035 grey light

### Operational Data

Cut in:	3 m/s
Cut out:	25 m/s
Rated:	11 m/s
Re-start:	22 m/s
<input type="checkbox"/> Emissioni max. :	106 dBA
<input type="checkbox"/> Wind Class:	IIIa - IIIb

Costruzione ed esercizio di impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Forenza-Maschito"  
di potenza in massima immissione pari a 33MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di  
Forenza, Maschito e Palazzo San Gervasio (Pz)

**A.5 - Stima di producibilità preliminare**



**Figura 5: curva di potenza della SG170**

## 5 Calcolo della resa energetica

### 5.1 Perdite

Con il calcolo WASP si ottiene l'**AEP lordo**, che è definito come il risultato del calcolo dell'energia per tutti le WTG che include le perdite di scia e non include altri fattori. Il calcolo si basa sulla modellazione del palo virtuale, sugli effetti locali (rugosità, topografia e ostacolo) e sulla correzione della densità dell'aria.

Ai fini del calcolo della producibilità reale di impianto o **netta AEP**, ovvero quella effettivamente messa in rete e dunque utile ai fini della vendita dell'energia, sono stati considerati i seguenti fattori:

I risultati sono al livello  $P_{50}$ , cioè valori che hanno una probabilità pari al 50% di essere superati. Nello specifico si è ipotizzata una perdita di indisponibilità del 3% per le turbine eoliche e dell'1,5% per la rete, ma anche una perdita meccanica dell'1% ed una perdita elettrica di impianto pari al 2.5% della produzione. Quest'ultima perdita è associata alla perdita di produzione dal mozzo, in cui si calcola la curva di potenza, ai morsetti di AT di connessione alla rete elettrica. Sono anche state incluse perdite dell'1% rispettivamente per manutenzione generica delle turbine e della sottostazione.

Il valore medio  $P_{50}$  rappresenta la producibilità stimata con il 50% di possibilità di essere superata. I sensori di velocità sono considerati di alta qualità, standard negli sviluppi eolici, ed inoltre installati a regola d'arte. Tipicamente i valori di velocità ottenuti con questi sensori possono essere considerati affidabili con una incertezza di misura del 2.5%.

Fattori		Perdite
Disponibilità	WTG	3%
	rete	1,5%
Perdite	Elettriche	2,5%
	Meccaniche	1%
Manutenzione	WTG	1%
	Sottostazione	1%

### 5.2 Incertezze

L'**AEP netto** viene derivato dall'**AEP lordo** includendo le perdite valutate per tutta la durata del progetto. Noto anche come  $P_{50}$ , l'AEP dovrebbe essere superato nel 50% dei casi.

A questo proposito, il rendimento energetico annuo previsto è espresso entro un dato intervallo. Questo approccio presuppone che, nel corso di diversi anni di attività, la distribuzione dei rendimenti annuali segua una distribuzione gaussiana.

Per i progetti eolici diamo particolare importanza a percentuali che superano il 75% e il 90% ( $P_{75}$  e  $P_{90}$ ), come richiesto agli enti bancari.

L'intervallo del rendimento energetico previsto è dato dalle incertezze. Tipicamente, le incertezze si riferiscono a: dati sul vento, modello eolico, conversione di potenza e incertezze sulle voci di perdita. Di seguito sono riepilogati gli incerti utilizzati per le categorie e i valori corrispondenti:

Costruzione ed esercizio di impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Forenza-Maschito"  
di potenza in massima immissione pari a 33MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di  
Forenza, Maschito e Palazzo San Gervasio (Pz)

**A.5 - Stima di producibilità preliminare**

Categoria		Incertezza
Dati del vento	Misurazioni del vento	10%
	Correzioni a lungo termine	0%
	Variazioni annuali	6%
	Clima futuro	2%
Modello del vento	Estrapolazione verticale	2%
	Estrapolazione orizzontale	5%
	Modello topografico	4%
Prestazioni e perdite dell'impianto	Incertezza della curva di potenza	2%
	Perdite di scia	5%
altro	Modello virtuale	5%

## 6 Risultati

Una volta definiti tutti i parametri di perdite e incertezze, è stato possibile calcolare l'**AEP netto**:

Site	Turbine	Elevation [m] a.s.l.	Height [m] a.g.l.	Air density [kg/m <sup>3</sup> ]	Gross AEP [GWh]	Wake loss [%]	Net AEP [GWh]	Heq P <sub>50</sub>
FO01	SG 6.6-170	535	135	1,135	21,12	1,5	19,01	2.880
FO02	SG 6.6-170	523	135	1,136	21,27	4,1	19,14	2.900
FO03	SG 6.6-170	510	135	1,137	20,87	6,45	18,78	2.846
FO04	SG 6.6-170	478	135	1,141	21,11	2,56	19,00	2.879
FO05	SG 6.6-170	503	135	1,138	19,97	6,72	17,98	2.724
<b>TOTAL</b>							<b>93,90</b>	<b>2.845</b>

Includendo le incertezze:

	1 y	15 y	30 y
<b>P<sub>50</sub> [GWh]</b>	<b>93,90</b>	<b>93,90</b>	<b>93,90</b>
<b>P<sub>75</sub> [GWh]</b>	<b>79,87</b>	<b>82,64</b>	<b>82,75</b>
<b>P<sub>90</sub> [GWh]</b>	<b>67,21</b>	<b>72,48</b>	<b>72,70</b>

In termini di ore equivalenti:

	1 y	15 y	30 y
<b>P<sub>50</sub> Heq</b>	<b>2.845</b>	<b>2.845</b>	<b>2.845</b>
<b>P<sub>75</sub> Heq</b>	<b>2.420</b>	<b>2.504</b>	<b>2.508</b>
<b>P<sub>90</sub> Heq</b>	<b>2.037</b>	<b>2.197</b>	<b>2.203</b>

## 7 Verifica requisiti PIEAR

L' Appendice A del PIEAR al punto 1.2.1.3 definisce i requisiti tecnici minimi per gli impianti eolici di grande generazione, che devono soddisfare i vincoli tecnici minimi:

a) Velocità media annua del vento a 25 m dal suolo non inferiore a 6 m/s;

b) Ore equivalenti di funzionamento dell'aerogeneratore non inferiori a 2.500 ore;

c) Densità volumetrica di energia annua unitaria non inferiore a 0,15 kWh/(anno·mc), (così come modificato dalla LR. 4/2014) come riportato nella formula seguente:

$$Ev = \frac{E}{18D^2H} \geq 0,15$$

Dove:

E = energia prodotta dalla turbina (espressa in kWh/anno);

D = diametro del rotore (espresso in metri);

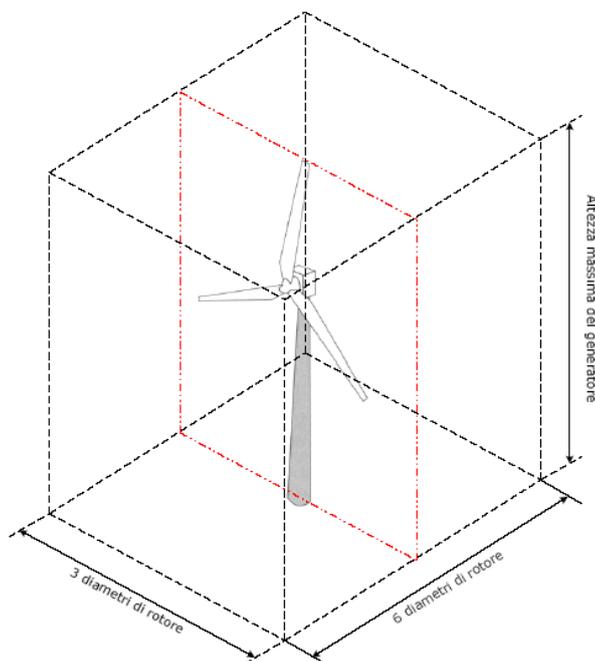
H = altezza totale dell'aerogeneratore (espressa in metri), somma del raggio del rotore e dell'altezza da terra del mozzo;

d) Numero massimo di aerogeneratori: 30 (10 nelle aree di valore naturalistico, paesaggistico ed ambientale)

(...).

Ai fini della valutazione delle ore equivalenti, di cui al punto b, e della densità volumetrica, di cui al punto c, valgono le seguenti definizioni:

- **Ore equivalenti di funzionamento** di un aerogeneratore: rapporto fra la produzione annua di energia elettrica dell'aerogeneratore espressa in megawattora (MWh) (basata sui dati forniti dalla campagna di misure anemometriche) e la potenza nominale dell'aerogeneratore espressa in megawatt (MW).
- **Densità volumetrica di energia annua unitaria (Ev):** rapporto fra la stima della produzione annua di energia elettrica dell'aerogeneratore espressa in chilowattora anno, e il volume del campo visivo occupato dall'aerogeneratore espresso in metri cubi e pari al volume del parallelepipedo di lati 3D, 6D e H, dove D è il diametro del rotore e H è l'altezza complessiva della macchina (altezza del mozzo + lunghezza della pala);



**Figura 6: volume del campo visivo occupato da un aerogeneratore**

Si riporta di seguito la verifica della densità volumetrica di energia annua calcolata per ogni singolo aerogeneratore.

WTG	Coordinate UTM-WGS84 fuso 33		AEP netta	Densità volumetrica
	E	N	[GWh]	[kWh/(anno·m <sup>3</sup> )]
MA01	572313	4528009	19.01	0.16
MA02	573116	4528390	19.14	0.16
MA03	573615	4528872	18.78	0.16
MA04	573781	4529392	19.00	0.16
MA05	573883	4528202	17.98	0.15

**Tabella 1: Sintesi rispetto requisiti tecnici minimi - Paragrafo 1.2.1.3 dell'appendice A del PIEAR**

Identificativo della norma	Requisito tecnico	Valore soglia	Valore di verifica	Esito
a.	Velocità media annua a 25 m dal suolo	≥ 6 m/s	≥ 6 m/s	Positivo
b.	Ore equivalenti di funzionamento (MWh/MW) considerando: Potenza impianto 33 MW Energia prodotta (netto scie) 93.90 GWh/anno	≥ 2500 h/a	2845	Positivo
c.	Densità volumetrica di energia annua unitaria [kWh/(anno·m <sup>3</sup> )] considerando: H <sub>mozzo</sub> =135 m e D <sub>rotore</sub> =170 m	≥ 0,15	≥ 0,15	Positivo
d.	Numero di aerogeneratori	≤ 30 (o 10)	5	Positivo