

REGIONE  
SICILIANA



COMUNE DI  
SALEMI



COMUNE DI  
MARSALA



Il Committente:

**NP Sicilia 2**

**NP Sicilia 2 S.r.l.**

Via San Marco, 21  
20121 MILANO  
P.IVA - C.F. 12844470968

Il Progettista:



dott. ing. VITTORIO RANDAZZO

dott. ing. VINCENZO DI MARCO

dott. ENRICO FORCUCCI



Titolo del progetto:

**PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"**  
**POTENZA NOMINALE 39,6 MW**

Elaborato:

PROGETTO DEFINITIVO

Codice Elaborato:

NPS2\_SAL\_D06\_REL

TITOLO ELABORATO:

STIMA DI PRODUCIBILITA'

FOGLIO:

SCALA:

FORMATO:

A4

Rev:	Data	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
0				V.D.	V.R.

	<b>PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”</b>	 		
	<b>STIMA DI PRODUCIBILITA'</b>	23/03/2023	REV.0	Pag. 1

## Sommario

<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>2</b>
1.1. Premessa.....	2
1.2. Inquadramento geografico del sito .....	2
1.3. Metodologia di analisi .....	6
<b>2. CRITERI ADOTTATI PER LA VALUTAZIONE .....</b>	<b>10</b>
2.1. Modello digitale orografico .....	10
2.2. Mappa di rugosità.....	10
2.3. Ostacoli .....	10
2.4. Densità dell'aria .....	11
2.5. Risorsa eolica .....	11
2.6. Descrizione dell'aereogeneratore.....	15
<b>3. CALCOLO E VERIFICA DELLA PRODUZIONE ATTESA .....</b>	<b>18</b>
3.1. Stima della produzione energetica .....	18
3.2. Verifica dell'idoneità del sito .....	22
3.3. Conclusioni .....	23

	<b>PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”</b>			
				
<b>STIMA DI PRODUCIBILITA'</b>		23/03/2023	REV.0	Pag. 2

## 1. INTRODUZIONE

### 1.1. Premessa

Il presente documento rappresenta la valutazione preliminare di ventosità e di produzione di energia elettrica del progetto dell’impianto eolico costituito da n° 6 aerogeneratori con potenza unitaria pari a 6,6 MW, per una potenza complessiva di 39,6 MW. All’impianto verrà affiancato un sistema di storage avente una potenza nominale pari a 13,4 MW, corrispondente a una capacità di accumulo di ca. 54 MWh. L’energia prodotta verrà immessa nella RTN attraverso collegamento in antenna a 36 kV dalla Stazione Utente ad una nuova Stazione Elettrica di Trasformazione (SE) a 220/36 kV della RTN, inserita in entra-esce sulla linea RTN a 220 kV “Fulgatore-Partanna”.

### 1.2. Inquadramento geografico del sito

Il sito di installazione è localizzato in Sicilia e precisamente nei Comuni di Salemi (TP) e Marsala (TP) con soluzione di connessione che interesserà entrambi i comuni.

Complessivamente, l’area si inserisce in ambito agricolo con prevalenza di seminativi.



**Figura 1: Sito di installazione**

Nel suo insieme l’area di progetto risulta essere ben esposta ai venti dominanti soprattutto per le componenti energeticamente più importanti che provengono sostanzialmente dai settori Sud-Sudest ed Nord-Ovest.

La disposizione degli aerogeneratori all'interno dell'area individuata per il parco eolico si è basata su

diversi criteri che conciliano il massimo sfruttamento dell'energia del vento con il rispetto dei vincoli paesaggistici e territoriali.



***Figura 2: Layout del parco eolico***

Di seguito si riportano le coordinate degli aerogeneratori nel sistema di riferimento Geo [deg,min,sec]  
- WTG84:

ID Turbina	Comune	Nord	Est	Altezza s.l.m. (m)
<b>WTG01</b>	Salemi	37°49'31,92"	12°44'31,16"	383
<b>WTG02</b>	Salemi	37°49'57,68"	12°44'46,61"	389
<b>WTG03</b>	Salemi	37°50'14,59"	12°44'51,77"	403
<b>WTG04</b>	Salemi	37°50'40,21"	12°43'37,88"	284
<b>WTG05</b>	Salemi	37°50'12,72"	12°43'19,06"	317
<b>WTG06</b>	Salemi	37°49'02,11"	12°42'04,83"	231

	<b>PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"</b>			
				
<b>STIMA DI PRODUCIBILITA'</b>			23/03/2023	REV.0
			Pag. 4	

La posizione degli aerogeneratori è stata definita analizzando la distribuzione del potenziale eolico, al fine di ottenere per ogni macchina la massima producibilità e, allo stesso tempo, minimizzare il disturbo causato alle macchine poste in scia ad altre (perdite per effetto scia).

L'area è interessata dalla presenza di altri impianti eolici, le quali turbine saranno considerate nel calcolo delle interferenze e della producibilità; di seguito si riportano le coordinate degli aerogeneratori nel sistema di riferimento Geo [deg,min,sec] - WTG84:

Engie Italia	Comune	Nord	Est	Altezza s.l.m. (m)
<b>Vestas V52 850kW</b>	Trapani	37°51'35,00"	12°40'40,79"	290
<b>Vestas V52 850kW</b>	Trapani	37°51'36,97"	12°40'48,67"	304
<b>Vestas V52 850kW</b>	Trapani	37°51'39,47"	12°40'58,52"	310
<b>Vestas V52 850kW</b>	Trapani	37°51'41,97"	12°41'09,33"	300
<b>Vestas V52 850kW</b>	Trapani	37°51'42,45"	12°41'18,60"	267

Asja Ambiente Italia	Comune	Nord	Est	Altezza s.l.m. (m)
<b>Vestas V52 850kW</b>	Salemi	37°51'44,18"	12°42'06,34"	297
<b>Vestas V52 850kW</b>	Salemi	37°51'39,93"	12°42'10,34"	300
<b>Vestas V52 850kW</b>	Salemi	37°51'35,73"	12°42'14,40"	300
<b>Vestas V52 850kW</b>	Salemi	37°51'31,37"	12°42'17,62"	300
<b>Vestas V52 850kW</b>	Salemi	37°51'26,59"	12°42'20,55"	300
<b>Vestas V52 850kW</b>	Salemi	37°51'23,06"	12°42'25,41"	300
<b>Vestas V52 850kW</b>	Salemi	37°51'18,73"	12°42'29,11"	284

Gruppo ERG	Comune	Nord	Est	Altezza s.l.m. (m)
<b>Vestas V52 850kW</b>	Salemi	37°51'26,87"	12°50'04,67"	510
<b>Vestas V52 850kW</b>	Salemi	37°51'02,94"	12°50'14,31"	500
<b>Vestas V52 850kW</b>	Salemi	37°50'56,81"	12°50'09,37"	509
<b>Vestas V52 850kW</b>	Salemi	37°50'43,35"	12°50'04,03"	530
<b>Vestas V52 850kW</b>	Salemi	37°50'40,21"	12°49'58,62"	515
<b>Vestas V52 850kW</b>	Salemi	37°50'38,10"	12°44'19,36"	366
<b>Vestas V52 850kW</b>	Salemi	37°50'38,27"	12°44'33,14"	386
<b>Vestas V52 850kW</b>	Salemi	37°50'39,78"	12°44'39,60"	400

	<b>PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"</b>			 
	<b>STIMA DI PRODUCIBILITA'</b>			

<b>Vestas V52 850kW</b>	Salemi	37°50'38,30"	12°44'48,24"	420
<b>Vestas V52 850kW</b>	Salemi	37°50'38,27"	12°44'56,87"	415

<b>Engie Italia</b>	<b>Comune</b>	<b>Nord</b>	<b>Est</b>	<b>Altezza s.l.m. (m)</b>
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°48'16,17"	12°41'54,79"	230
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°48'20,86"	12°42'04,03"	250
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°48'32,35"	12°42'23,50"	260
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°48'30,20"	12°42'39,02"	270
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°48'36,09"	12°42'45,22"	280
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°48'37,18"	12°42'55,38"	276
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°48'39,22"	12°43'05,58"	278
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°48'42,07"	12°43'46,20"	260
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°48'45,14"	12°43'55,22"	268
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°48'45,96"	12°44'04,96"	270
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°48'58,98"	12°44'19,04"	290
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°49'27,72"	12°43'12,68"	314
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°49'30,70"	12°43'25,21"	320
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°49'37,72"	12°43'33,92"	326
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°49'26,47"	12°41'39,75"	260
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°49'35,92"	12°41'52,05"	253
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°49'35,10"	12°42'05,02"	270
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°49'38,38"	12°42'17,58"	283
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°49'47,02"	12°42'53,01"	305
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°50'51,50"	12°42'34,55"	300
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°50'53,79"	12°42'45,46"	280
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°50'58,12"	12°43'03,28"	260
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Trapani	37°51'56,02"	12°41'29,95"	210
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°51'57,49"	12°41'43,77"	218
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Salemi	37°52'00,06"	12°41'55,12"	270
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Trapani	37°51'15,42"	12°39'42,43"	180
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Trapani	37°50'41,32"	12°39'02,23"	200

	<b>PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"</b>		 	
	<b>STIMA DI PRODUCIBILITA'</b>		23/03/2023	REV.0

<b>Vestas V90 2000kW</b>	Trapani	37°50'31,92"	12°38'54,29"	190
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Trapani	37°50'25,65"	12°38'40,97"	180
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Trapani	37°50'24,06"	12°38'28,26"	165
<b>Vestas V90 2000kW</b>	Trapani	37°50'26,78"	12°38'19,44"	156

### 1.3. Metodologia di analisi

Il calcolo della produzione di energia elettrica di un impianto eolico è cruciale per la fattibilità del progetto, nello specifico vengono usati modelli di simulazione.

La produzione di energia eolica da un aerogeneratore in un dato istante è calcolata con la seguente equazione:

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \cdot C_p$$

dove:

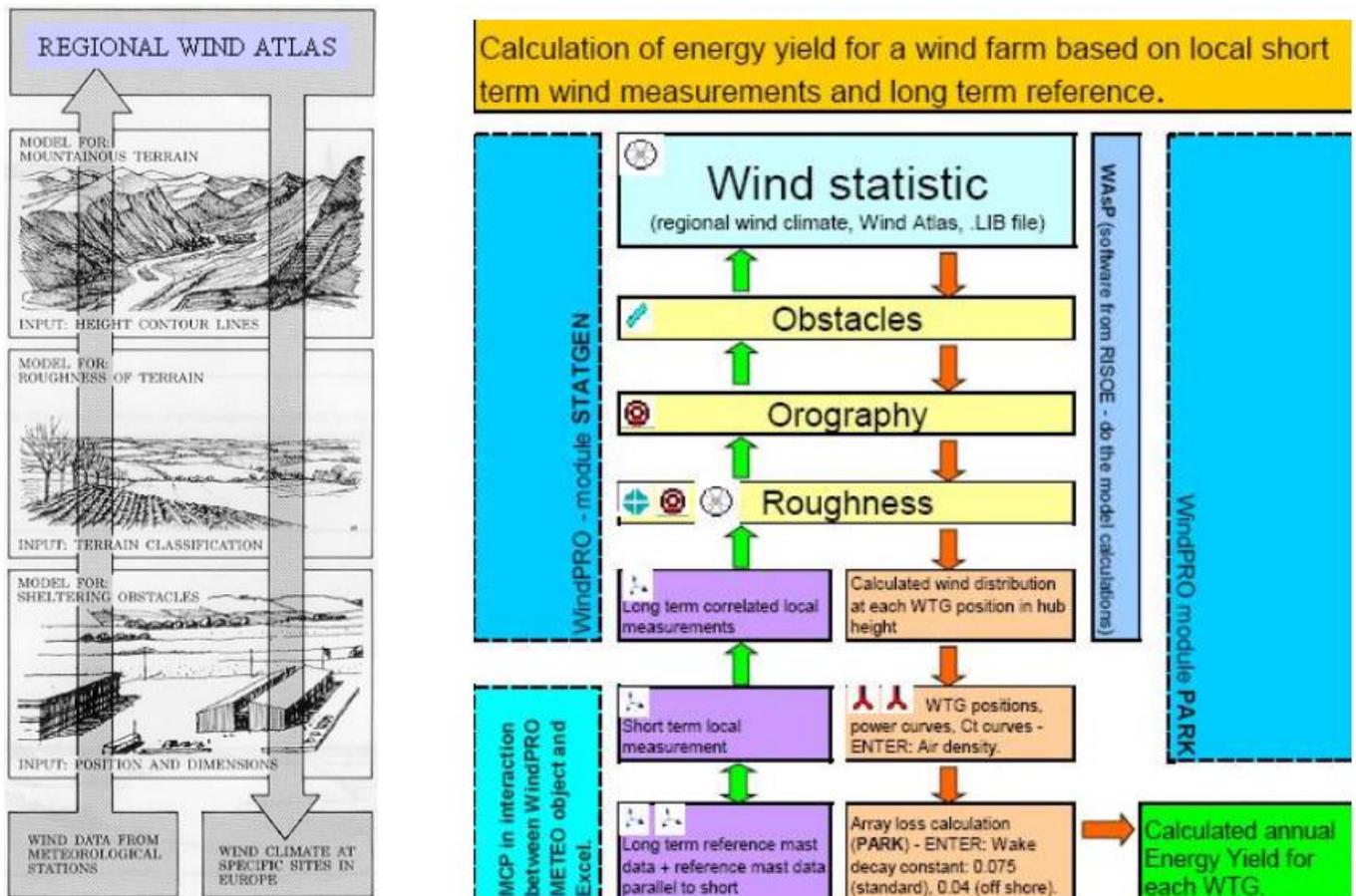
- ✓ P è la potenza;
- ✓  $\rho$  è la densità dell'aria;
- ✓ V è la velocità del vento;
- ✓ A è l'area spazzata dal rotore;
- ✓  $C_p$  è il coefficiente di potenza.

Il programma utilizzato è Wind Pro con implementazione di WAsP che è uno dei principali e più completi strumenti di analisi del vento attualmente disponibile sul mercato.

Il software è stato usato per la creazione dell'atlante europeo del vento che mira a stabilire la base meteorologica per la valutazione dei potenziali eolici. Il funzionamento del software è piuttosto semplice:

- ✓ i dati di input necessari sono:
  - ❖ modello digitale del terreno;
  - ❖ rugosità del terreno;
  - ❖ eventuali ostacoli;
  - ❖ densità dell'aria;
  - ❖ risorsa eolica dell'area considerata;
  - ❖ tipologia e caratteristiche dell'aerogeneratore.
- ✓ l'output è costituito dal cosiddetto calcolo Park ovvero la producibilità annua di un singolo

aerogeneratore e dell'intero parco eolico portando in conto le eventuali interferenze dovute all'effetto scia e l'eventuale presenza di ostacoli che possono alterare la distribuzione del vento. Il software Wind Pro utilizza come piattaforma di calcolo WAsP, arricchendolo di altre funzionalità di verifica e di correlazione tra i dati quali il modulo MCP (measure-correlate-predict), che consente di mettere in relazione tra loro i dati di diverse stazioni di misura e sfruttare serie storiche di lungo periodo per avere una climatologia con basse incertezze. In generale il modulo mette in relazione set di dati di sensori differenti che possono appartenere anche allo stesso anemometro, con lo scopo di ricostruire dati mancanti ad una data altezza.



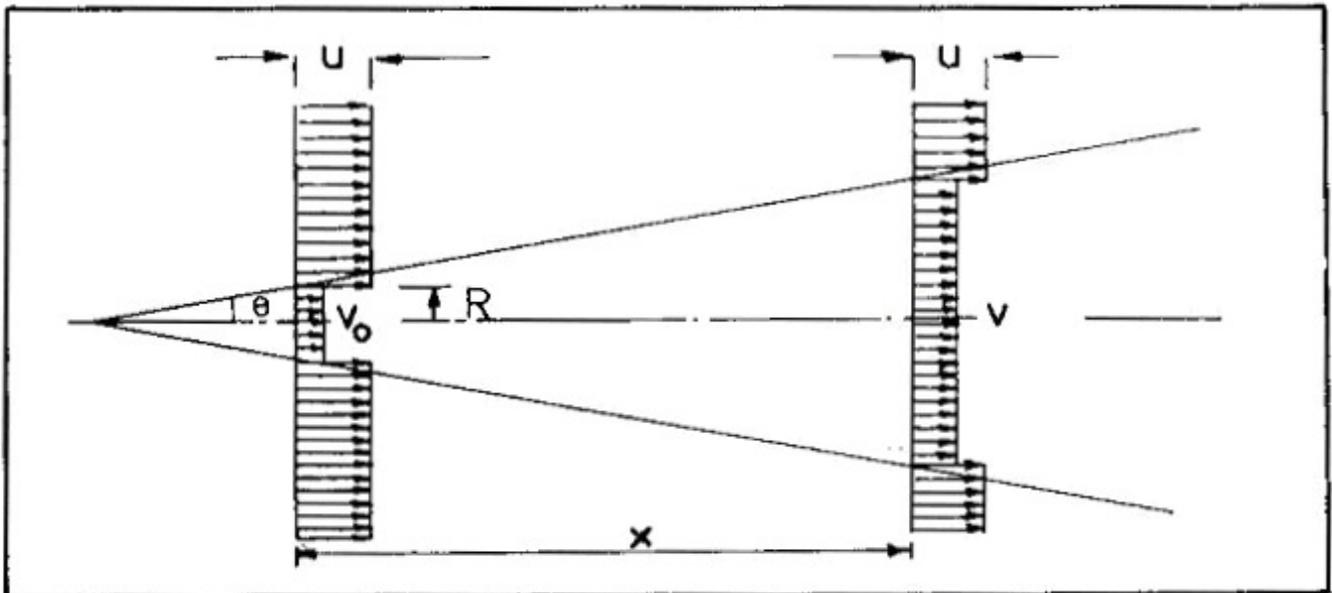
**Figura 3: Diagramma di flusso del programma Wind Pro/WAsP**

Il modulo Park è in grado di calcolare, offrendo diversi modelli alternativi, le perdite di scia dovute all'effetto di copertura reciproca tra aerogeneratori. L'equazione fondamentale per calcolare le perdite in scia dietro il rotore è:

$$v = u \left[ 1 - \frac{2}{3} \left( \frac{R}{R + \alpha x} \right)^2 \right]$$

dove:

- ✓  $v$  è la velocità del vento ad una distanza  $x$  dietro il rotore;
- ✓  $u$  è la velocità del vento libero subito a monte del rotore;
- ✓  $R$  è il raggio del rotore;
- ✓  $\alpha$  è la costante di decadimento di scia;
- ✓  $2/3$  è un valore approssimato del parametro  $C_t$  nel modello di calcolo; il valore esatto di  $C_t$  è usato in ciascun intervallo di velocità del vento.



**Figura 4: Modello semplificato delle perdite di scia oltre una turbina**

La costante di decadimento è una misura dell'allargamento del "cono d'ombra" a valle della turbina. Essa è definita come l'allargamento in metri per metro a valle del rotore, dipende dalla turbolenza e quindi dalla classe di rugosità.

La Commissione Elettrotecnica Internazionale (IEC) stabilisce i requisiti standard di progettazione. La Norma IEC 61400-1 Ed.3 specifica le classi di progettazione con associate le relative velocità del vento estreme ed intensità di turbolenza. Modelli di turbolenza ed altre condizioni ambientali, quali la complessità topografica, sono altresì specificati come illustrato nella tabella che segue:

	<b>PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”</b>		 	
	<b>STIMA DI PRODUCIBILITA'</b>		23/03/2023	REV.0

Wind turbine class	I	II	III	S
$V_{ave}$ (m/s)	10	8.5	7.5	User defined
$V_{ref}$ (m/s)	50	42.5	37.5	
$V_{50,gust}$ (m/s)	70	59.5	52.5	
$I_{ref}$	A	0.16		
	B	0.14		
	C	0.12		

dove:

- ✓  $V_{ref}$  è la velocità del vento di riferimento media su 10 minuti con un periodo di ricorrenza di 50 anni e rappresenta il parametro estremo di base utilizzato per definire le classi delle turbine eoliche (per una turbina progettata in classe S con una velocità di riferimento  $V_{ref}$ , si intende che essa è progettata per resistere climi per cui la media estrema della velocità del vento media 10min con un periodo di ricorrenza di 50 anni è inferiore o uguale a  $V_{ref}$ );
- ✓ A indica la categoria con caratteristiche di turbolenza superiori;
- ✓ B indica la categoria con caratteristiche di turbolenza medie;
- ✓ C indica la categoria con caratteristiche di turbolenza inferiori;
- ✓  $I_{ref}$  è il valore atteso dell'intensità della turbolenza a 15 m/s.

## 2. CRITERI ADOTTATI PER LA VALUTAZIONE

### 2.1. Modello digitale orografico

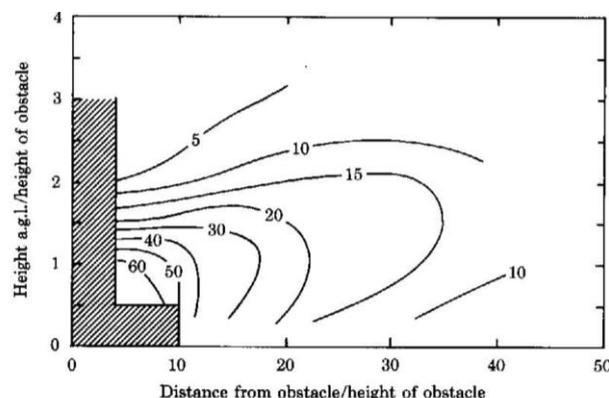
Il modello digitale del terreno DTM (Digital Terrain Model) è stato estrapolato dal grid disponibile in download dal satellite, georeferenziato, sovrapposto, confrontato e adeguato con le curve di livello presenti sulla cartografia ufficiale IGM 1:25000 con uno step di 10 m. Il modello digitale ottenuto copre l'intera area e trova un buon riscontro con l'andamento orografico verificato in sito.

### 2.2. Mappa di rugosità

La rugosità superficiale, determinata principalmente dall'altezza e tipologia di vegetazione che ricopre l'area di interesse, gioca un ruolo fondamentale per la variabilità della velocità del vento anche alle altezze del mozzo degli aerogeneratori. Informazioni di rugosità sono rese disponibili dal progetto "Corinne Land Cover 2018" che ricopre, attraverso l'ausilio di satelliti, gran parte della superficie terrestre. La mappa di rugosità, ottenuta attraverso l'ausilio del progetto citato, è stata integrata con le informazioni aggiuntive e di dettaglio ottenute ed annotate durante l'ispezione di sito e attraverso l'integrazione e sovrapposizione di carte aerofotogrammetriche.

### 2.3. Ostacoli

Gli ostacoli (edifici, siepi, etc.), più alti di  $\frac{1}{4}$  dell'altezza del mozzo e non distanti oltre i 1000 metri da ogni singolo aerogeneratore andrebbero trattati come locali e non come elementi di rugosità, influenzano il flusso del vento e modificano di conseguenza la produzione del parco eolico.

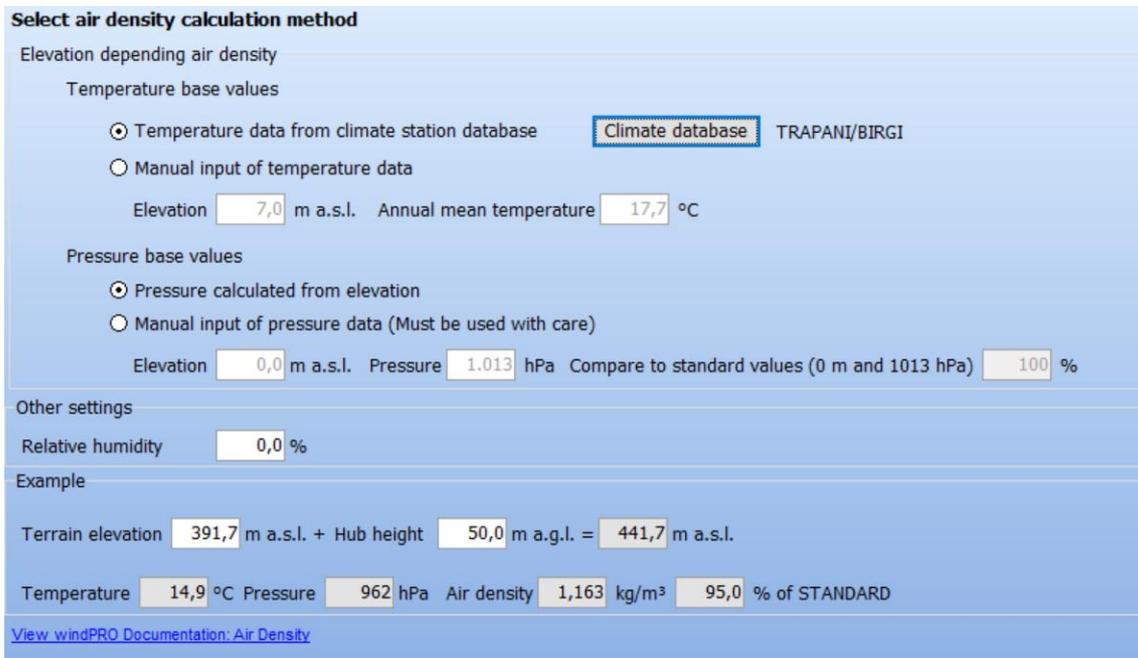


***Figura 5: Riduzione percentuale della velocità del vento in presenza di ostacoli***

Durante il sopralluogo non è emersa la presenza di particolari e significati ostacoli nell'area.

## 2.4. Densità dell'aria

La densità dell'aria in sito è stata calcolata basandosi sui dati climatologici, disponibili nel database di WindPro, relativi alla stazione più vicina all'area di progetto.



**Figura 6: Caratteristiche della stazione di riferimento per il calcolo della densità dell'aria**

## 2.5. Risorsa eolica

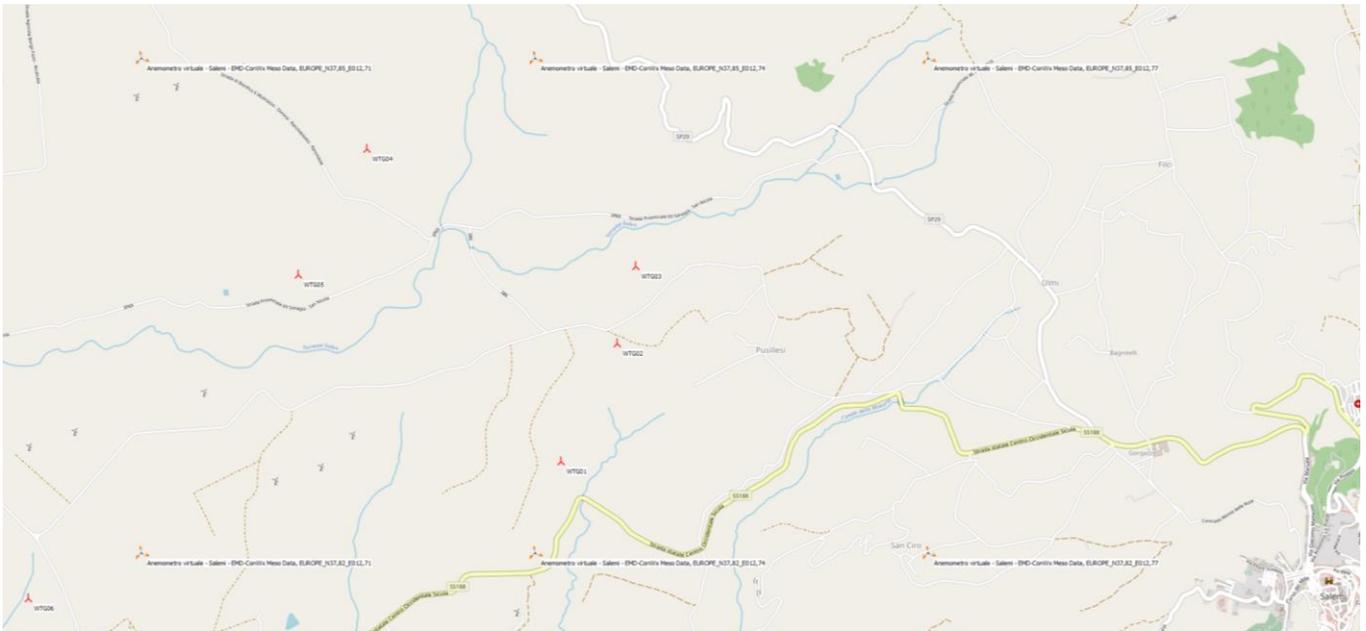
La risorsa eolica specifica del sito è stata valutata utilizzando una griglia di dati mesoscala disponibili dal database EMD del software WindPro.

Al fine di effettuare una correzione di lungo periodo delle misure di ventosità, sono state selezionate diverse fonti di dati mesoscala, con l'obiettivo di mettere in luce eventuali inconsistenze o cambi di tendenza. Questa metodologia permette inoltre di ridurre il rischio di commettere errori di stima della velocità di lungo periodo utilizzando un unico set di dati.

In particolare, ogni set di dati ha una durata da gennaio 1993 ad agosto 2019 ed include queste informazioni con intervallo di tempo orario:

- ✓ Direzione del vento ad un'altezza pari a 10m, 25, 50m, 75m, 100m, 150m e 200m;

- ✓ Velocità del vento ad un'altezza pari a 10m, 25, 50m, 75m, 100m, 150m e 200m;
- ✓ Temperatura ad un'altezza pari a 2m;
- ✓ Umidità relativa ad un'altezza pari a 2m.



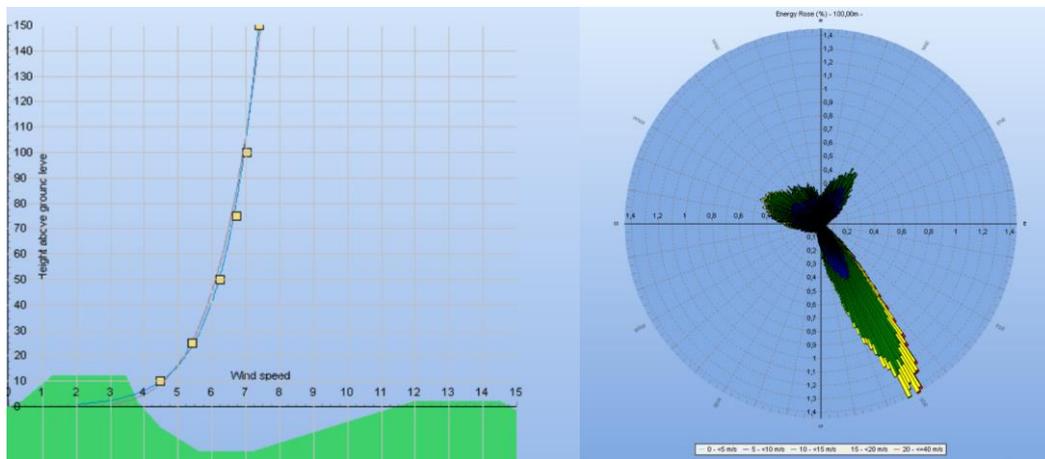
**Figura 7: Posizione delle stazioni EMD-ConWx Mesodata Europe**

Di seguito si riportano le coordinate delle sei stazioni mesoscala nel sistema di riferimento Geo [deg,min,sec] - WTG84:

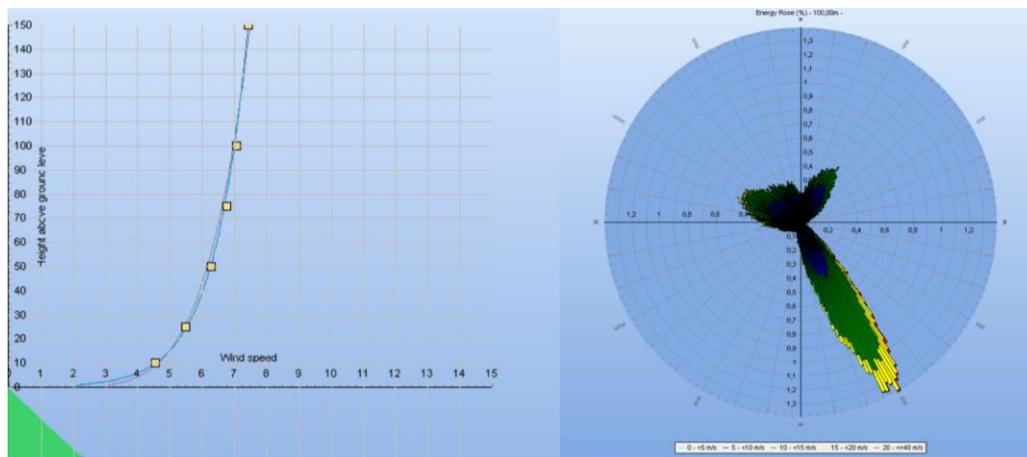
Stazione mesoscala	Nord	Est	Altezza s.l.m. (m)
<b>EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,85_E12,71</b>	37°51'00,00"	12°42'36,00"	298
<b>EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,85_E12,74</b>	37°51'00,00"	12°44'24,00"	277
<b>EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,85_E12,77</b>	37°51'00,00"	12°46'12,00"	548
<b>EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,82_E12,71</b>	37°49'12,00"	12°42'36,00"	277
<b>EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,82_E12,74</b>	37°49'12,00"	12°44'24,00"	290
<b>EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,82_E12,77</b>	37°49'12,00"	12°46'12,00"	412

I dati mesoscala EMD-ConWX Europe sono ottenuti tramite un modello numerico mesoscala ad alta risoluzione spaziale di  $0,03^\circ \times 0,03^\circ$ , corrispondente a circa 3 km x 3 km, con una risoluzione temporale oraria. I dati utilizzati per le condizioni al contorno sono i dati di rianalisi ERA-Interim forniti dal Centro Europeo per le Previsioni Meteorologiche di Medio Termine.

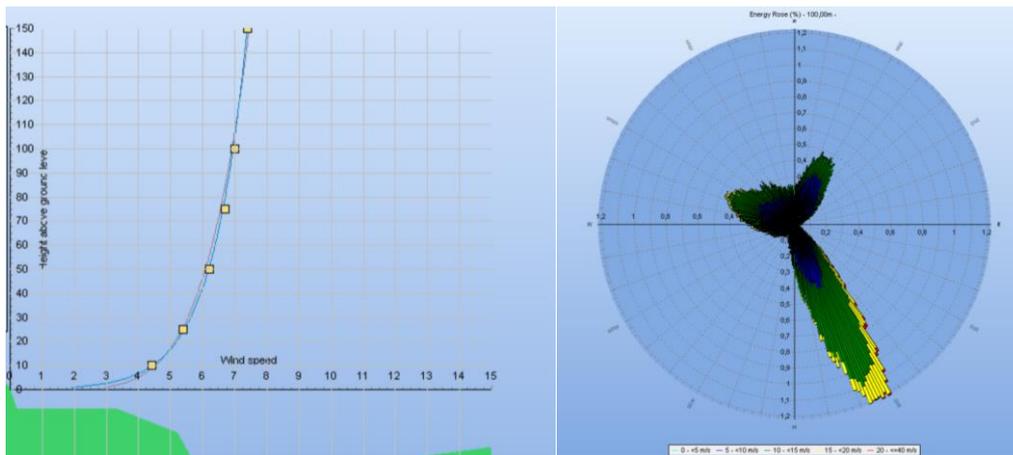
Questi dati ricoprono gran parte dell'Europa, inclusa la Turchia e l'Ucraina, ad esclusione dell'estremità a nord della Scandinavia. I dati sono disponibili per circa 20 anni e sono aggiornati mensilmente con circa 3 mesi di ritardo, a causa della disponibilità dei dati ERA-Interim.



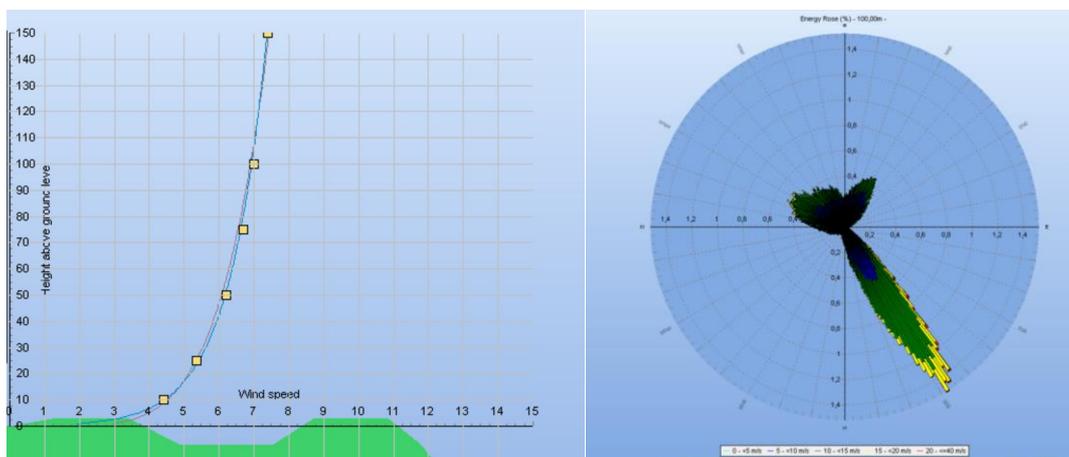
**Figura 8: Caratteristiche della stazione EMD-ConWx Meso Data, EUROPE N37,85 E12,71**



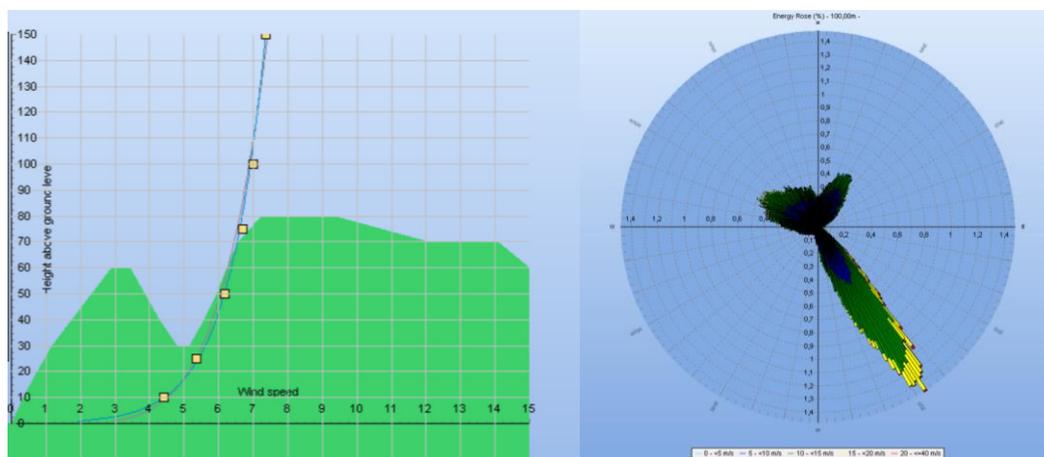
**Figura 9: Caratteristiche della stazione EMD-ConWx Meso Data, EUROPE N37,85 E12,74**



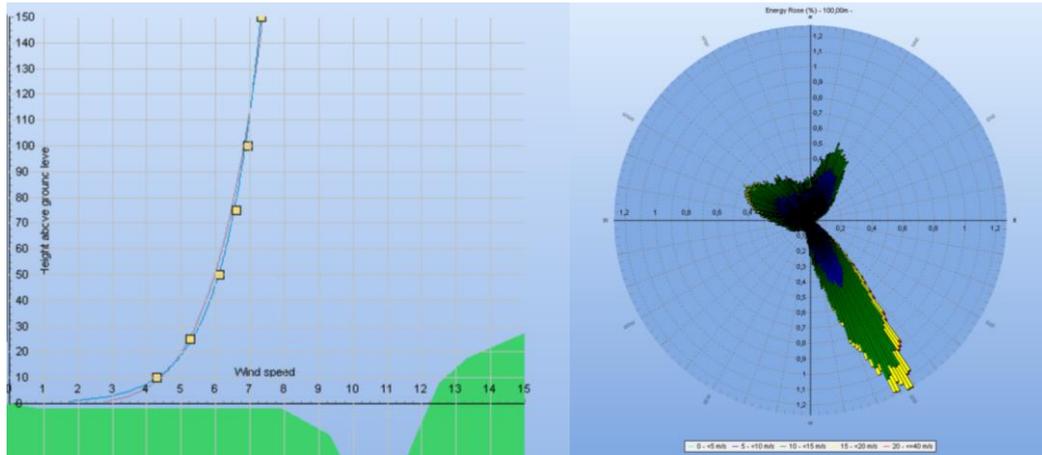
**Figura 10: Caratteristiche della stazione EMD-ConWx Meso Data, EUROPE N37,85 E12,77**



**Figura 11: Caratteristiche della stazione EMD-ConWx Meso Data, EUROPE N37,82 E12,71**



**Figura 12: Caratteristiche della stazione EMD-ConWx Meso Data, EUROPE N37,82 E12,74**



**Figura 13: Caratteristiche della stazione EMD-ConWx Meso Data, EUROPE N37,82 E12,77**

Al fine di calcolare le condizioni di ventosità del sito all'altezza del mozzo degli aerogeneratori è necessario effettuare un'estrapolazione verticale a partire dai dati ottenuti alla massima altezza di misura. È stato eseguito un confronto tra l'esponente del profilo verticale (wind shear) misurato e quello calcolato dal modello computazionale WAsP, pesato sulla frequenza di ogni settore.

L'esponente di profilo verticale è definito dalla legge esponenziale seguente:

$$U_2 = U_1 \cdot \left( \frac{h_2 - D}{h_1 - D} \right)^\alpha$$

dove:

- ✓  $\alpha$  è l'esponente di "wind shear" secondo la legge di potenza;
- ✓  $U$  è la velocità media del vento;
- ✓  $h$  è l'altezza sul livello del suolo;
- ✓  $D$  è l'altezza dello spostamento effettivo del flusso.

## 2.6. Descrizione dell'aerogeneratore

L'aerogeneratore scelto per il progetto è il modello SG6.6-170 Siemens-Gamesa, di potenza pari a 6,6 MW qui di seguito sono elencate le specifiche tecniche:

	<b>PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"</b>		
		<b>STIMA DI PRODUCIBILITA'</b>	23/03/2023   REV.0   Pag. 16

## GENERALI

Temperatura di funzionamento a piena potenza	-30°C / +50 °C
Temperatura di declassamento da raggiungere	+50 °C
Temperatura operativa STW	-20 °C / +40 °C
Temperatura CW	Full power: -30 °C to 40 °C, survive -40 °C a 50 °C
Certificazioni	IEC 61400-1
Tipologia turbina	Rotore tripala ad asse orizzontale
Regolazione della potenza	Regolazione attiva singola pala
Potenza nominale	6600 kW
Velocità massima delle lame	1120 rpm-6p (50Hz) 1344 rpm-6p (60Hz)
Condizioni del vento secondo IEC 61400 1 (ed. 3) per il range di temperatura standard	7.5 m/s
Vita di funzionamento stimata	≥20 anni

## TORRE

Tipologia	SG 6.6-170
Altezza all' Hub	115 m
Classe vento	IEC IIIA-IIIIB
Numero di lame	3

## ROTORE

Diametro rotore	170,0 m
-----------------	---------

	<b>PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"</b>		
		<b>STIMA DI PRODUCIBILITA'</b>	23/03/2023   REV.0   Pag. 17

Area spazzata	22698 m <sup>2</sup>
Potenza su superficie nominale	290,77 W/m <sup>2</sup>
Regolazione della potenza	Regolazione del pitch e della coppia con velocità variabile
Tilt Rotore	6°

## PALE DEL ROTORE

Materiale	G (Glassfiber) – CRP (Carbon Reinforced Plastic)
Lunghezza totale	83,5 m

## IMPIANTO ELETTRICO

Potenza nominale PnG	6600 kW
Voltaggio nominale (rotore/statore)	690/6600 V
Potenza reattiva	6600 kVA
Fattore di potenza standard	±0.90
Frequenza	50 / 60 Hz
Isolamento	Esterno
Tensione nominale OV, Ur	690 V
Tensione nominale massima OV, dipendente dalla rete a 36 kV, Ur	20 kV / 40,5 kV
Corrente nominale	630 A
Velocità nominale	1120 rpm-6p (50Hz) 1344 rpm-6p (60Hz)
Deriva Frequenza max	4 Hz/sec
Squilibrio di tensione max	<5 %

	<b>PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”</b>	 		
	<b>STIMA DI PRODUCIBILITA'</b>	23/03/2023	REV.0	Pag. 18

---

### 3. CALCOLO E VERIFICA DELLA PRODUZIONE ATTESA

---

#### 3.1. Stima della produzione energetica

La variazione della velocità del vento al sito è stata stimata utilizzando il software WASP, sviluppato dal Dipartimento di Energia Eolica del Laboratorio Nazionale del Risø in Danimarca (DTU Wind Energy Department), mediante l'interfaccia del software WindPRO, sviluppato dalla società EMD della Danimarca. Il modello fluidodinamico del vento, inizializzato a partire dalle condizioni misurate nella posizione delle torri anemometriche, è stato usato per predire la velocità del vento di lungo termine nelle posizioni dei singoli aerogeneratori.

La stima di produzione energetica è stata effettuata utilizzando i dati tecnici della turbina e le caratteristiche dell'area coinvolta, oltre alla densità dell'aria specifica di sito che incide sulla performance e adattamento della curva di potenza. Nel calcolo eseguito si è tenuto in conto anche del deficit di produzione legato alle perdite tecniche stimate nella percentuale del 8,1% e delle perdite di scia.

	<b>PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"</b>	 		
	<b>STIMA DI PRODUCIBILITA'</b>	23/03/2023	REV.0	Pag. 19

## Setup

AEP scaled to a full year based on number of samples  
Include seasonal correction: EMD MCP Default  
Scaling factor from 26,7 years to 1 year, All year: 0,038  
Resulting scaling factor: 0,038

Calculation performed in UTM (north)-WGS84 Zone: 33  
At the site centre the difference between grid north and true north is: -0,3°

## Wake

Wake Model: N.O. Jensen (RISØ/EMD) Park 2 2018

### Wake decay constant

Wake decay constant: 0,090 DTU default onshore  
Reference WTG: Parco eolico Salemi - WTG01 Siemens-Gamesa SG170 6600kW 115,0m

## Scaler/wind data

Name	EMD Default Meso Scaler
Terrain scaling	Meso-scale Data Downscaling
Micro terrain flow model	WAsP IBZ from Site Data
Used period	01/01/1993 01:00:00 - 31/08/2019
Meteo object(s)	Anemometro virtuale - Salemi - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,85_E012,74 Anemometro virtuale - Salemi - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,82_E012,74 Anemometro virtuale - Salemi - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,82_E012,71 Anemometro virtuale - Salemi - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,85_E012,71 Anemometro virtuale - Salemi - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,85_E012,77 Anemometro virtuale - Salemi - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,82_E012,77
Horizontal interpolation	Take nearest
Displacement height	Omnidirectional from objects
RIX correction used	
WAsP version	WAsP 12 Version 12.07.0068

## Power correction (All new WTGs)

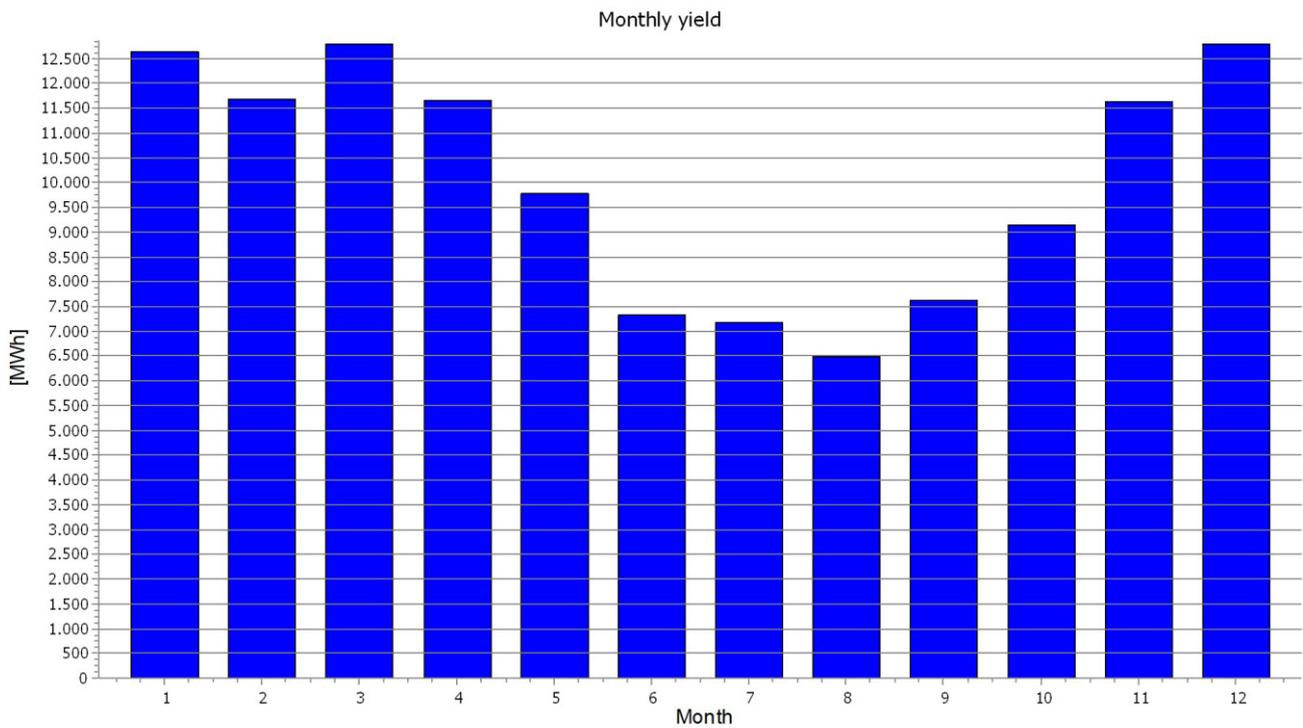
### Power curve correction (adjusted IEC method, improved to match turbine control)

	Min	Max	Avg	Corr. [%]	Neg. corr. [%]	Pos. corr. [%]
<b>Air density</b>						
From air density settings [°C]	14,4	15,4	14,8			
From air density settings [hPa]	954,0	971,7	960,9			
Resulting air density [kg/m³]	1,156	1,173	1,162			
Relative to 15°C at sea level [%]	94,3	95,8	94,9	-3,5	-3,5	0,0

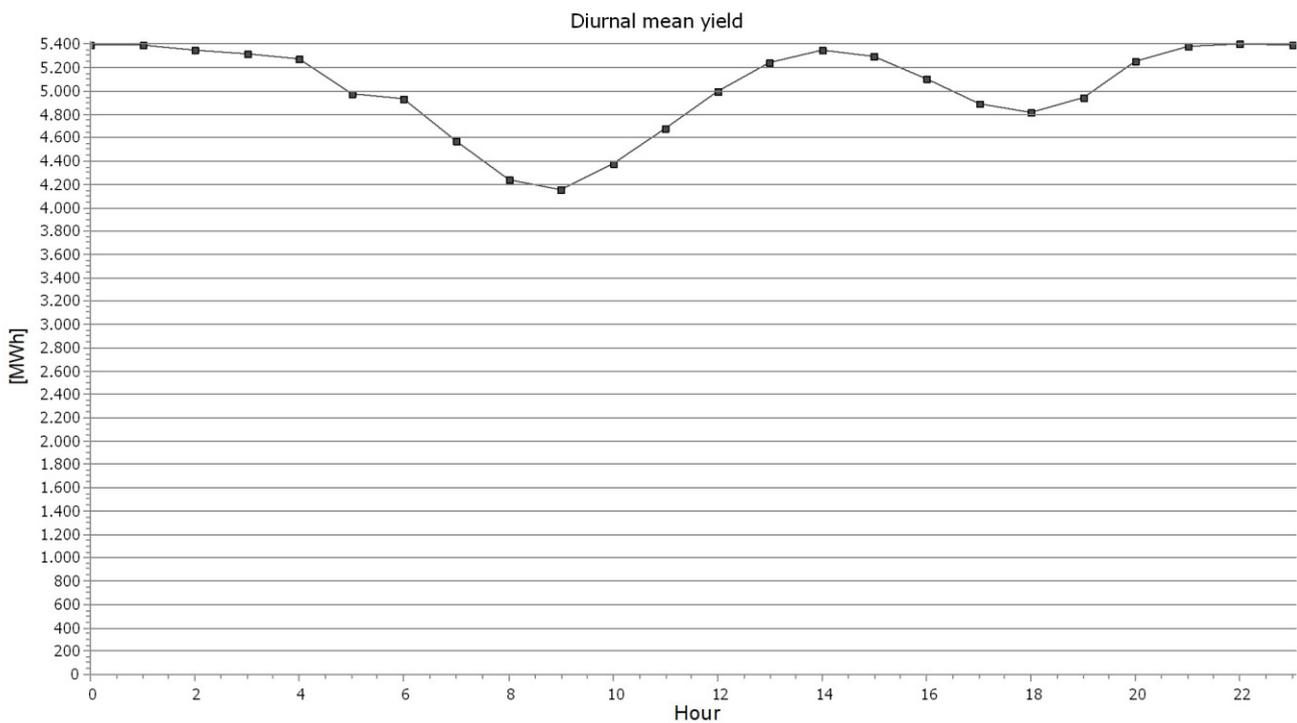
## Parco eolico Salemi

## Siemens-Gamesa SG170 6.6MW Hub=115m

Modello utilizzato		WASP
Numero WTG	[n°]	6
Altezza torre	[m]	115
Diametro rotore	[m]	170
Altezza massima al tip	[m]	200
Potenza unitaria	[MW]	6,6
<b>Potenza complessiva installata</b>	<b>[MW]</b>	<b>39,6</b>
Vento medio all'hub	[m/s]	6,70
Densità dell'aria	[kg/m3]	1,162
GROSS	[MWh/y]	127.856
AEP	[MWh/y]	120.778
Park efficiency	[%]	<b>94,50%</b>
Perdite in scia	[%]	<b>5,50%</b>
Salemi WTG01	[%]	6,10%
Salemi WTG02	[%]	7,30%
Salemi WTG03	[%]	4,30%
Salemi WTG04	[%]	4,10%
Salemi WTG05	[%]	5,30%
Salemi WTG06	[%]	6,00%
<b>Stima perdite complessive</b>	<b>[%]</b>	<b>-8,1%</b>
Disponibilità aerogeneratori	[%]	-3,0%
Efficienza elettrica	[%]	-2,0%
Efficienza dell'impianto	[%]	-1,0%
Cause ambientali	[%]	-1,0%
Disponibilità della rete	[%]	-0,7%
Altro	[%]	-0,7%
<b>Dettaglio turbine - P50</b>		
Salemi WTG01	[MWh/y]	19.146
Salemi WTG02	[MWh/y]	19.047
Salemi WTG03	[MWh/y]	19.012
Salemi WTG04	[MWh/y]	17.397
Salemi WTG05	[MWh/y]	19.543
Salemi WTG06	[MWh/y]	16.850
<b>Energia netta in rete - P50</b>	<b>[MWh/y]</b>	<b>110.995</b>
<b>Ore equivalenti</b>	<b>[ore]</b>	<b>2.803</b>
<b>Capacity factor</b>	<b>[%]</b>	<b>32,0%</b>
<b>Energia netta in rete - P75</b>	<b>[MWh/y]</b>	<b>101.576</b>
<b>Ore equivalenti</b>	<b>[ore]</b>	<b>2.565</b>
<b>Capacity factor</b>	<b>[%]</b>	<b>29,3%</b>
<b>Energia netta in rete - P90</b>	<b>[MWh/y]</b>	<b>93.098</b>
<b>Ore equivalenti</b>	<b>[ore]</b>	<b>2.351</b>
<b>Capacity factor</b>	<b>[%]</b>	<b>26,8%</b>



**Figura 14: Produzione media mensile**



**Figura 15: Produzione media giornaliera**

	<b>PARCO EOLICO "CELSO-PESCES"</b>	 		
	<b>STIMA DI PRODUCIBILITA'</b>	23/03/2023	REV.0	Pag. 22

### 3.2. Verifica dell'idoneità del sito

La verifica dell'idoneità del sito è stata effettuata con il modulo Site Compliance di Wind Pro secondo lo standard IEC61400-1, in particolare si valuta se una classe di turbina eolica è adatta alle effettive condizioni del sito e del layout.

## Main result

### Main IEC checks

Terrain complexity	OK
Fatigue/Normal conditions	
(a) Wind distribution	OK
(b) Effective turbulence	Caution
(c) Flow inclination	OK
(d) Wind shear	OK
(e) Air density	OK
Ultimate/Extreme conditions	
(a) Ambient 90% turbulence [NTM]	Critical
(b) Extreme wind	OK
(c) Ambient extreme turbulence [ETM]	Critical
(d) Max centre-wake 90% turbulence [ETM]	OK

### Other IEC checks & analysis

Seismic hazard	Caution
Temperature range	OK
Lightning rate	OK

### Result details

			WTG class	Method	Quality	WTG Mean	Max WTG	Min WTG	WTGs OK	WTGs Caution	WTGs Critical
<b>Main IEC checks</b>											
Terrain complexity	Cct	[-]		Active DEM		1,00	1,00	1,00	6	0	0
Fatigue/Normal conditions											
(a) Wind distribution	pdf(u)*	[-]	IA+	Mast Weibull shear	B	-	-	-	6	0	0
(b) Effective turbulence	seff(u)*	[-]	IA+	WEng	B/C	-	-	-	4	2	0
(c) Flow inclination	favg	[°]		WEng	B	0,0	0,4	-0,4	6	0	0
(d) Wind shear	a	[-]		Mast WEng	A	0,12	0,19	0,05	6	0	0
(e) Air density	?	[kg/m <sup>3</sup> ]		Mast	A/B	1,159	1,169	1,152	6	0	0
Ultimate/Extreme conditions											
(a) Ambient 90% turbulence [NTM]	s90(u)*	[-]	IA+	WEng	B/C	-	-	-	5	0	1
(b) Extreme wind	u50y	[m/s]	IA+	AM	A+A	31,6	34,1	27,1	6	0	0
(c) Ambient extreme turbulence [ETM]	sxt(u)*	[-]	IA+	WEng	B/C	-	-	-	4	0	2
(d) Max centre-wake 90% turbulence [ETM]	smax(u)*	[-]	IA+	WEng	B/C	-	-	-	6	0	0
<b>Other IEC checks &amp; analysis</b>											
Seismic hazard	PGA	[m/s <sup>2</sup> ]		GSHAP map		1,1	-	-			
Temperature range											
Normal range, hours outside		[h/year]		Std	Full gauss	4,4	-	-			
Extreme range, hours outside		[h/year]		Std	Full gauss	0,0	-	-			
Lightning rate		[flashes/year/km <sup>2</sup> ]			NASA GHCC	4,3	-	-			

\* Parameter checked for a range of windspeeds (u), a single summary value is not possible.

**Design standard:** IEC61400-1 ed. 4 (2019)

### Main checks - WTGs

Criteria

**Critical**  
**Caution**  
**OK**

Masts

- A Anemometro virtuale - Salemi - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE\_N37,85\_E012,74
- B Anemometro virtuale - Salemi - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE\_N37,82\_E012,74
- C Anemometro virtuale - Salemi - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE\_N37,82\_E012,71
- D Anemometro virtuale - Salemi - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE\_N37,85\_E012,71
- E Anemometro virtuale - Salemi - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE\_N37,85\_E012,77
- F Anemometro virtuale - Salemi - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE\_N37,82\_E012,77

WTG-name	Class	Mast	Main IEC checks										Total	
			Terrain complexity	Wind distribution	Effective turbulence	Flow inclination	Wind shear	Air density	Ambient 90% turbulence [NTM]	Extreme wind	Ambient extreme turbulence [ETM]	Max centre-wake 90% turbulence [ETM]		
1 Parco eolico Salemi - WTG01 Siemens-Gamesa SG170 6600kW 115,0m	IA+	B	No	OK	OK	0	0,05	1,154	OK	33,3	OK	OK	OK	OK
2 Parco eolico Salemi - WTG02 Siemens-Gamesa SG170 6600kW 115,0m	IA+	B	No	OK	OK	0	0,10	1,153	OK	34,1	OK	OK	OK	OK
3 Parco eolico Salemi - WTG03 Siemens-Gamesa SG170 6600kW 115,0m	IA+	A	No	OK	OK	0	0,10	1,152	OK	33,9	OK	OK	OK	OK
4 Parco eolico Salemi - WTG04 Siemens-Gamesa SG170 6600kW 115,0m	IA+	A	No	OK	Caution	0	0,16	1,164	OK	29,4	Critical	OK	Critical	Critical
5 Parco eolico Salemi - WTG05 Siemens-Gamesa SG170 6600kW 115,0m	IA+	D	No	OK	OK	0	0,11	1,160	OK	32,0	OK	OK	OK	OK
6 Parco eolico Salemi - WTG06 Siemens-Gamesa SG170 6600kW 115,0m	IA+	C	No	OK	Caution	0	0,19	1,169	Critical	27,1	Critical	OK	Critical	Critical

### 3.3. Conclusioni

In base all'analisi dei dati anemometrici disponibili per il sito in esame, si è potuto stimare che con l'installazione del modello di aerogeneratore ipotizzato Siemens-Gamesa SG170 di potenza nominale pari a 6,6 MW e con altezza del mozzo di 115,0 m, è attesa una resa energetica dell'impianto in agro nel Comune di Salemi una produzione netta P50 pari a **110,995 GWh** annui corrispondenti a circa **2.803** ore equivalenti/anno pur decurtando una percentuale di perdite tecniche stimate pari a 8,1 %. In base alle valutazioni preliminari eseguite, il modello di turbina scelto per l'impianto risulta compatibile con le caratteristiche del sito; tuttavia, si necessita un approfondimento anemologico in sito attraverso l'installazione di un anemometro opportunamente collocato al fine di ridurre l'incertezza della valutazione della turbolenza che localmente ha restituito un risultato da attenzionare.