

REGIONE SICILIA
PROVINCIA DI TRAPANI
COMUNI DI SALEMI MARSALA E TRAPANI

IL COMMITTENTE

NP Sicilia 2

NP Sicilia 2 S.r.l.
Via Galleria Passarella, 2
20122 MILANO
P.IVA - C.F. 12844470968

IL PROGETTISTA

Agon  **Entrope** srl

Dott. Enrico Forcucci

TITOLO DEL PROGETTO

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

DOCUMENTO

PROGETTO DEFINITIVO

N° DOCUMENTO

NPS2_SAL_D06_REL

Stima di Producibilità_var1

Rev	Data	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
0				V.D.	V.R.
1	22/04/2024		V.M.	V.D.	V.R.

NP Sicilia 2

**PARCO EOLICO “CELSO-
PESCES”**



STIMA DI PRODUCIBILITA'

22/04/2024

REV.1

Pag. 1

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	STIMA DI PRODUCIBILITA'	22/04/2024	REV.1	Pag. 2

Sommario

1. INTRODUZIONE	3
1.1. Premessa.....	3
1.2. Inquadramento geografico del sito	3
1.3. Metodologia di analisi	7
2. CRITERI ADOTTATI PER LA VALUTAZIONE	11
2.1. Modello digitale orografico	11
2.2. Mappa di rugosità.....	11
2.3. Ostacoli	11
2.4. Densità dell'aria	12
2.5. Risorsa eolica	12
2.6. Descrizione dell'aereogeneratore.....	17
3. CALCOLO E VERIFICA DELLA PRODUZIONE ATTESA	19
3.1. Stima della produzione energetica	19
3.2. Verifica dell'idoneità del sito	23
3.3. Conclusioni	24

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”		 	
	STIMA DI PRODUCIBILITA'		22/04/2024	REV.1

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

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”		 	
	STIMA DI PRODUCIBILITA'		22/04/2024	REV.1

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)
WTG01	Salemi	37°49'31,92"	12°44'31,16"	383
WTG02	Salemi	37°49'57,68"	12°44'46,61"	389
WTG03	Salemi	37°50'14,59"	12°44'51,77"	403
WTG04	Salemi	37°50'40,21"	12°43'37,88"	284
WTG05	Salemi	37°50'12,72"	12°43'19,06"	317

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”		 	
	STIMA DI PRODUCIBILITA'		22/04/2024	REV.1

WTG06	Salemi	37°49'02,11"	12°42'04,83"	231
--------------	--------	--------------	--------------	-----

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)
Vestas V52 850kW	Trapani	37°51'35,00"	12°40'40,79"	290
Vestas V52 850kW	Trapani	37°51'36,97"	12°40'48,67"	304
Vestas V52 850kW	Trapani	37°51'39,47"	12°40'58,52"	310
Vestas V52 850kW	Trapani	37°51'41,97"	12°41'09,33"	300
Vestas V52 850kW	Trapani	37°51'42,45"	12°41'18,60"	267

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

Gruppo ERG	Comune	Nord	Est	Altezza s.l.m. (m)
Vestas V52 850kW	Salemi	37°51'26,87"	12°50'04,67"	510
Vestas V52 850kW	Salemi	37°51'02,94"	12°50'14,31"	500
Vestas V52 850kW	Salemi	37°50'56,81"	12°50'09,37"	509
Vestas V52 850kW	Salemi	37°50'43,35"	12°50'04,03"	530
Vestas V52 850kW	Salemi	37°50'40,21"	12°49'58,62"	515

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”		 	
	STIMA DI PRODUCIBILITA'		22/04/2024	REV.1

Vestas V52 850kW	Salemi	37°50'38,10"	12°44'19,36"	366
Vestas V52 850kW	Salemi	37°50'38,27"	12°44'33,14"	386
Vestas V52 850kW	Salemi	37°50'39,78"	12°44'39,60"	400
Vestas V52 850kW	Salemi	37°50'38,30"	12°44'48,24"	420
Vestas V52 850kW	Salemi	37°50'38,27"	12°44'56,87"	415

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

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”			
	STIMA DI PRODUCIBILITA'		22/04/2024	REV.1

Vestas V90 2000kW	Salemi	37°51'57,49"	12°41'43,77"	218
Vestas V90 2000kW	Salemi	37°52'00,06"	12°41'55,12"	270
Vestas V90 2000kW	Trapani	37°51'15,42"	12°39'42,43"	180
Vestas V90 2000kW	Trapani	37°50'41,32"	12°39'02,23"	200
Vestas V90 2000kW	Trapani	37°50'31,92"	12°38'54,29"	190
Vestas V90 2000kW	Trapani	37°50'25,65"	12°38'40,97"	180
Vestas V90 2000kW	Trapani	37°50'24,06"	12°38'28,26"	165
Vestas V90 2000kW	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:

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

dove:

- ✓ P è la potenza;
- ✓ ρ è la densità dell'aria;
- ✓ V è la velocità del vento;
- ✓ A è l'area spazzata dal rotore;
- ✓ Cp 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.

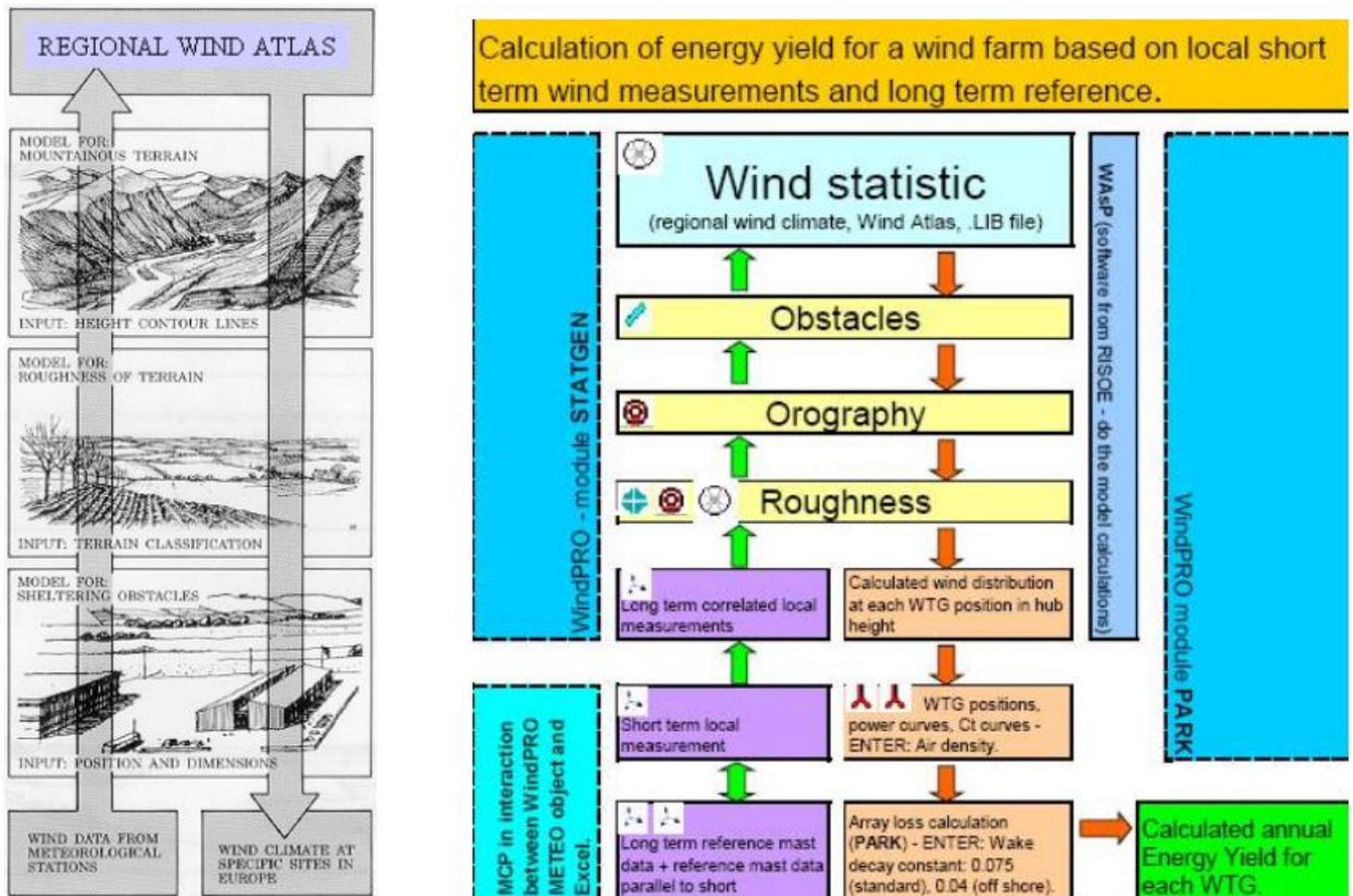


Figura 3: Diagramma di flusso del programma Wind Pro/WAsP

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	STIMA DI PRODUCIBILITA'	22/04/2024	REV.1	Pag. 9

Il modulo Park è in grado di calcolare, offrendo diversi modelli alternativi, le perdite di scia dovute all'effetto di copertura reciproca tra aereogeneratori. 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;
- ✓ α è la costante di decadimento di scia;
- ✓ 2/3 è un valore approssimato del parametro Ct nel modello di calcolo; il valore esatto di Ct è usato in ciascun intervallo di velocità del vento.

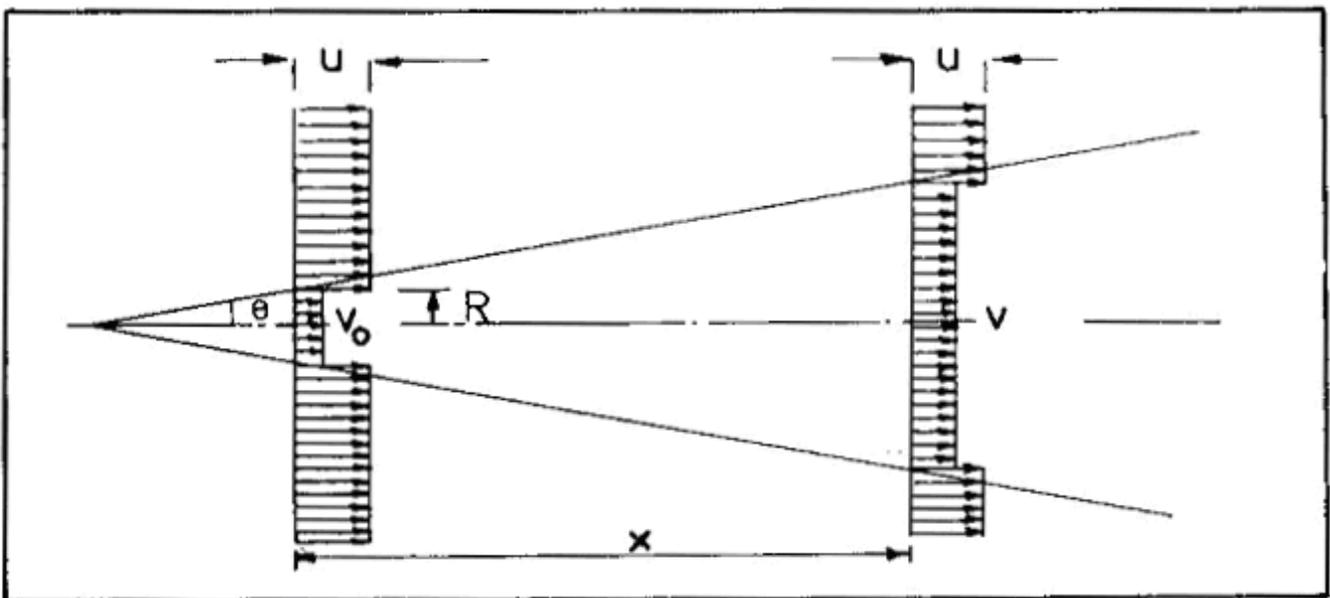


Figura 4: Modello semplificato delle perdite di scia oltre una turbina

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.

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”		 		
	STIMA DI PRODUCIBILITA'		22/04/2024	REV.1	Pag. 10

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:

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.

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	STIMA DI PRODUCIBILITA'	22/04/2024	REV.1	Pag. 11

2. CRITERI ADOTTATI PER LA VALUTAZIONE

2.1. Modello digitale orografico

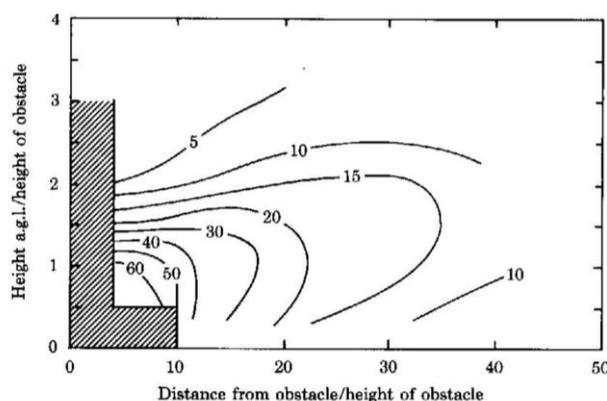
Il modello digitale del terreno DTM (Digital Terrain Model) è stato estrapolato dal grid disponibile in download dal satellite, georeferenziato, sovrapposto, confrontato e adeguato con le curve di livello presenti sulla cartografia ufficiale IGM 1:25000 con uno step di 10 m. Il modello digitale ottenuto 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.



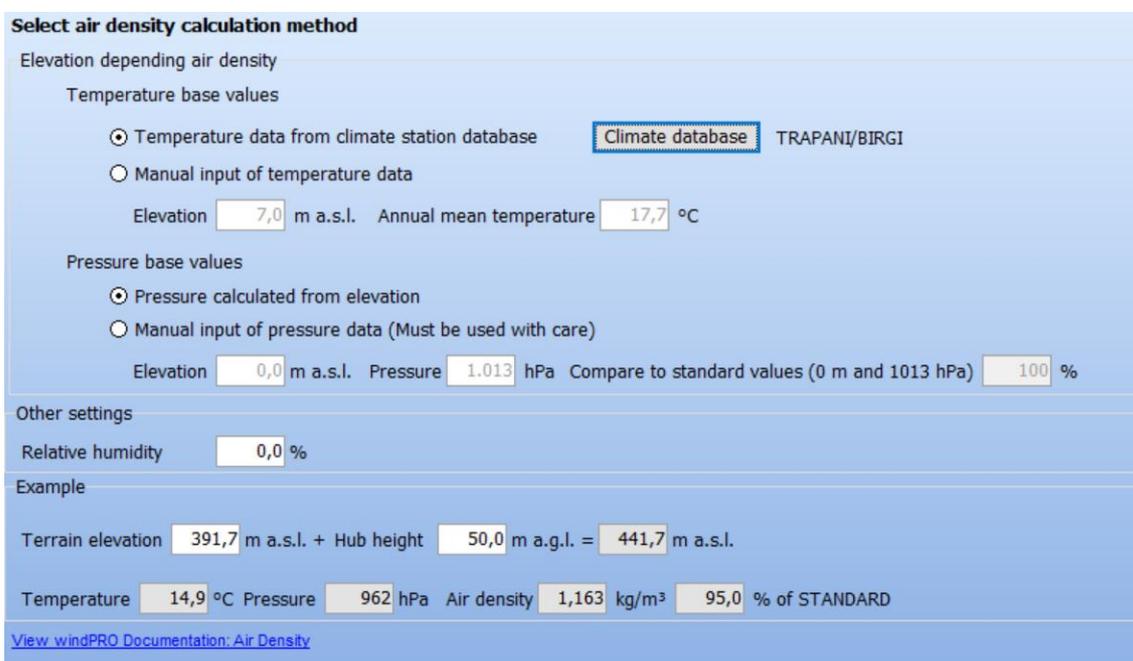
	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”			
	STIMA DI PRODUCIBILITA'	22/04/2024	REV.1	Pag. 12

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.



Select air density calculation method

Elevation depending air density

Temperature base values

Temperature data from climate station database Climate database TRAPANI/BIRGI

Manual input of temperature data

Elevation m a.s.l. Annual mean temperature °C

Pressure base values

Pressure calculated from elevation

Manual input of pressure data (Must be used with care)

Elevation m a.s.l. Pressure hPa Compare to standard values (0 m and 1013 hPa) %

Other settings

Relative humidity %

Example

Terrain elevation m a.s.l. + Hub height m a.g.l. = m a.s.l.

Temperature °C Pressure hPa Air density kg/m³ % of STANDARD

[View windPRO Documentation: Air Density](#)

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:

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	STIMA DI PRODUCIBILITA'	22/04/2024	REV.1	Pag. 13

- ✓ 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.

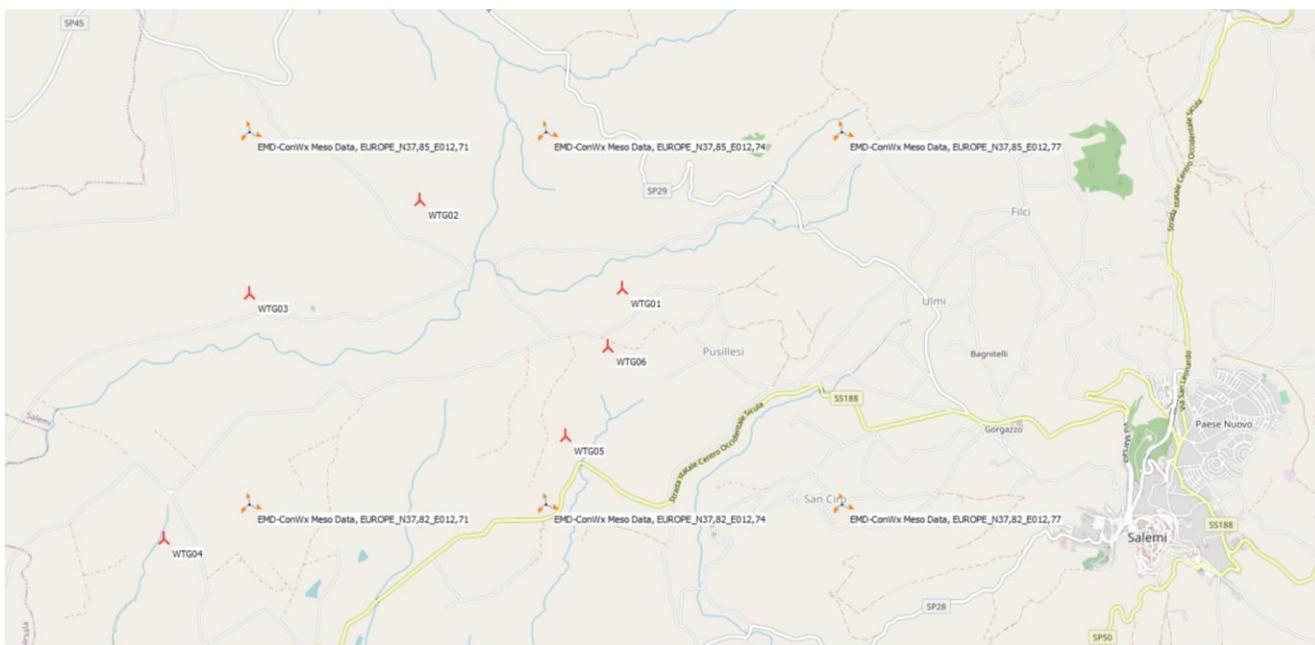


Figura 7: Posizione delle stazioni EMD-ConWx Mesodata Europe

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)
EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,85_E12,71	37°51'00,00"	12°42'36,00"	298
EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,85_E12,74	37°51'00,00"	12°44'24,00"	277
EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,85_E12,77	37°51'00,00"	12°46'12,00"	548
EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,82_E12,71	37°49'12,00"	12°42'36,00"	277
EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,82_E12,74	37°49'12,00"	12°44'24,00"	290
EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,82_E12,77	37°49'12,00"	12°46'12,00"	412

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”		 	
	STIMA DI PRODUCIBILITA'		22/04/2024	REV.1

I dati mesoscala EMD-ConWX Europe sono ottenuti tramite un modello numerico mesoscala ad alta risoluzione spaziale di 0,03°x 0,03°, 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.

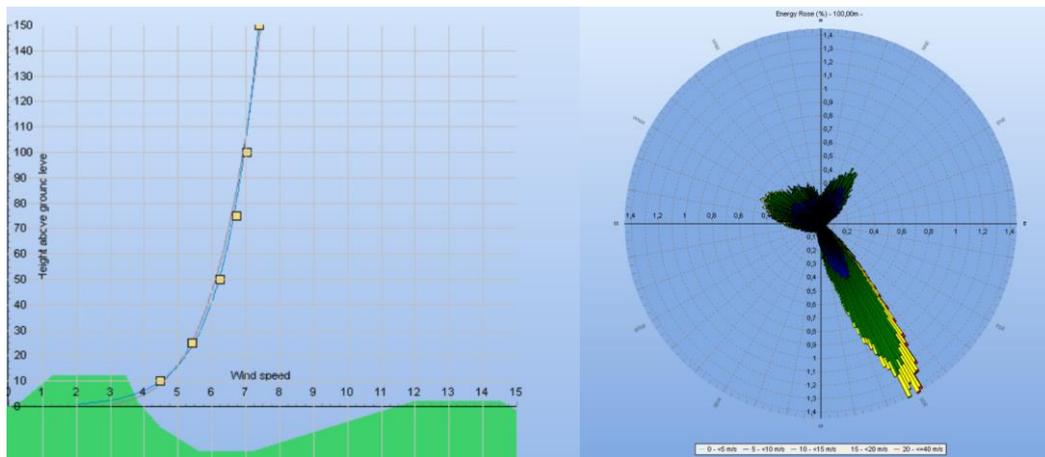


Figura 8: Caratteristiche della stazione EMD-ConWx Meso Data, EUROPE N37,85 E12,71

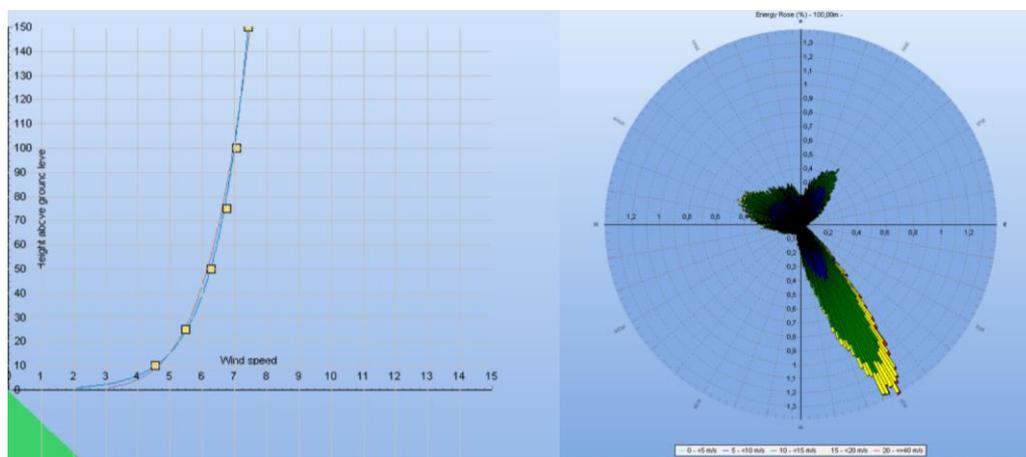


Figura 9: Caratteristiche della stazione EMD-ConWx Meso Data, EUROPE N37,85 E12,74

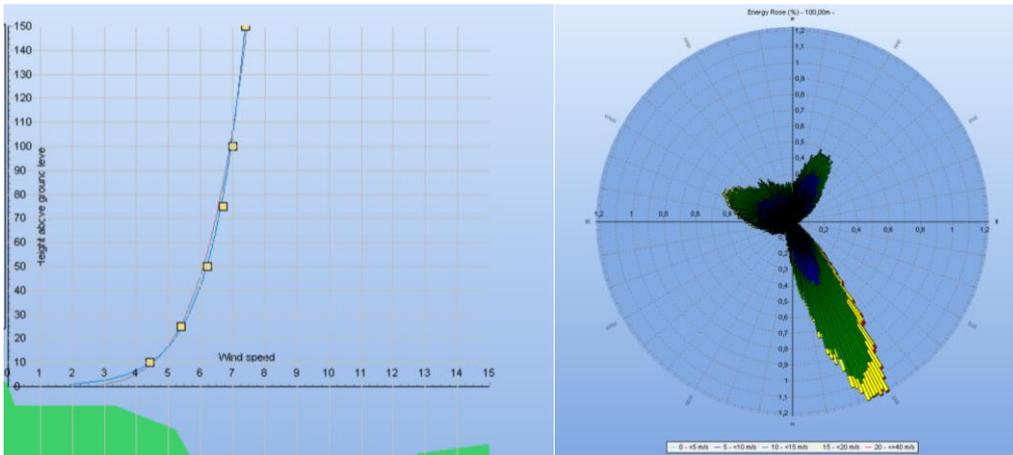


Figura 10: Caratteristiche della stazione EMD-ConWx Meso Data, EUROPE N37,85 E12,77

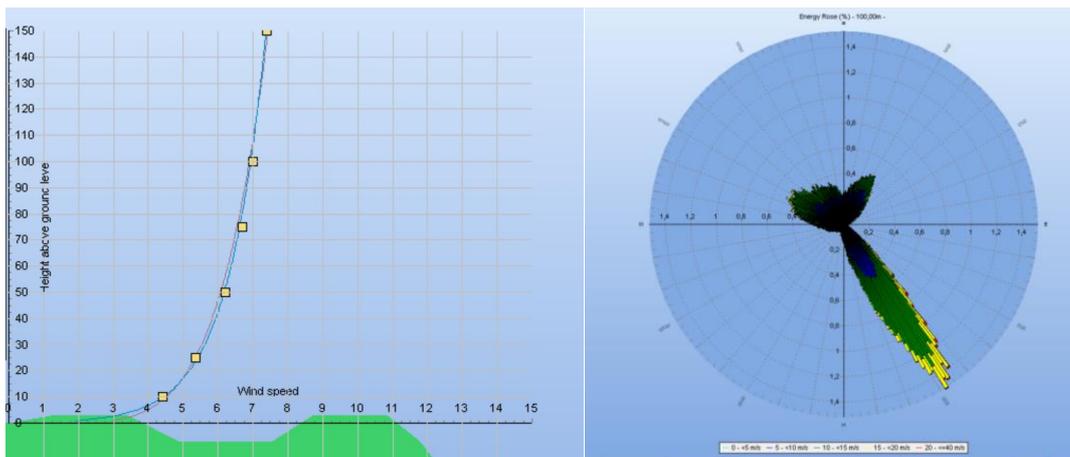


Figura 11: Caratteristiche della stazione EMD-ConWx Meso Data, EUROPE N37,82 E12,71

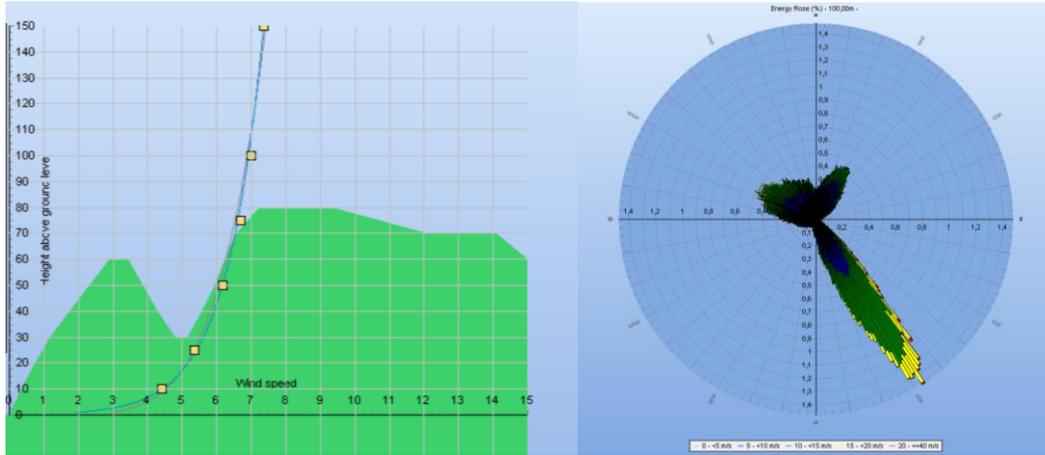


Figura 12: Caratteristiche della stazione EMD-ConWx Meso Data, EUROPE N37,82 E12,74

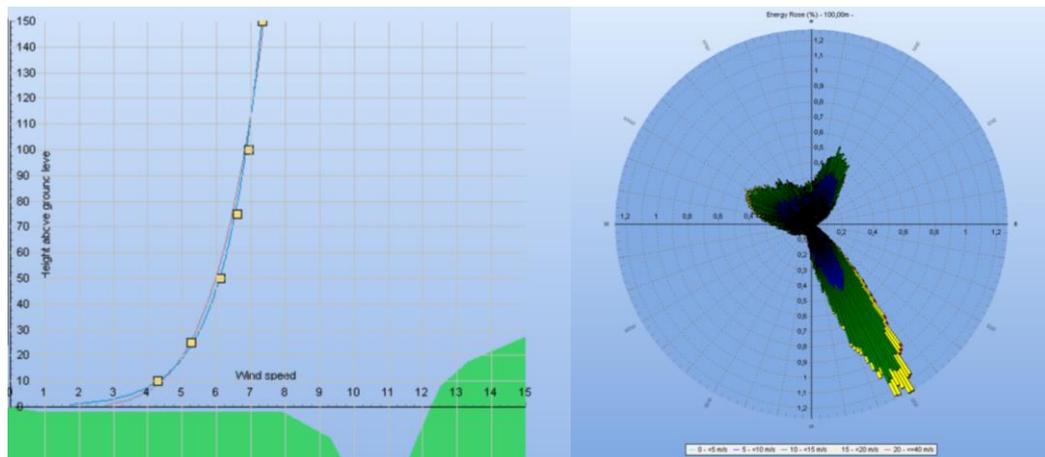


Figura 13: Caratteristiche della stazione EMD-ConWx Meso Data, EUROPE N37,82 E12,77

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:

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	STIMA DI PRODUCIBILITA'	22/04/2024	REV.1	Pag. 17

- ✓ α 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'aereogeneratore

L'aereogeneratore 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:

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

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	STIMA DI PRODUCIBILITA'	22/04/2024	REV.1	Pag. 18

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
Area spazzata	22698 m ²
Potenza su superficie nominale	290,77 W/m ²
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

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	STIMA DI PRODUCIBILITA'	22/04/2024	REV.1	Pag. 19

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 %

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.

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	STIMA DI PRODUCIBILITA'	22/04/2024	REV.1	Pag. 20

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 (RISO/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.
				[%]	[%]	[%]
Air density						
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 on-shore Salemi	Siemens-Gamesa SG170
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
Potenza complessiva installata [MW]	39,6
Vento medio all'hub [m/s]	6,68
Densità dell'aria [kg/m³]	1,164
GROSS [MWh/y]	128.764
AEP [MWh/y]	121.252
Park efficiency [%]	94,17%
Perdite in scia [%]	5,83%
Salemi WTG01 [%]	5,83%
Salemi WTG02 [%]	7,12%
Salemi WTG03 [%]	4,23%
Salemi WTG04 [%]	4,01%
Salemi WTG05 [%]	5,69%
Salemi WTG06 [%]	8,16%
Stima perdite complessive [%]	-8,1%
<i>Disponibilità aerogeneratori</i> [%]	-3,0%
<i>Efficienza elettrica</i> [%]	-2,0%
<i>Efficienza dell'impianto</i> [%]	-1,0%
<i>Cause ambientali</i> [%]	-1,0%
<i>Disponibilità della rete</i> [%]	-0,7%
<i>Altro</i> [%]	-0,7%
Dettaglio turbine - P50	
Salemi WTG01 [MWh]	20.309
Salemi WTG02 [MWh]	19.920
Salemi WTG03 [MWh]	19.816
Salemi WTG04 [MWh]	17.739
Salemi WTG05 [MWh]	17.013
Salemi WTG06 [MWh]	16.597
Energia netta in rete - P50 [MWh/y]	111.392
Ore equivalenti [ore]	2.813
Capacity factor [%]	32,1%
Energia netta in rete - P75 [MWh/y]	103.883,6
Ore equivalenti [ore]	2.623
Capacity factor [%]	29,9%
Energia netta in rete - P90 [MWh/y]	97.125,4
Ore equivalenti [ore]	2.453
Capacity factor [%]	28,0%

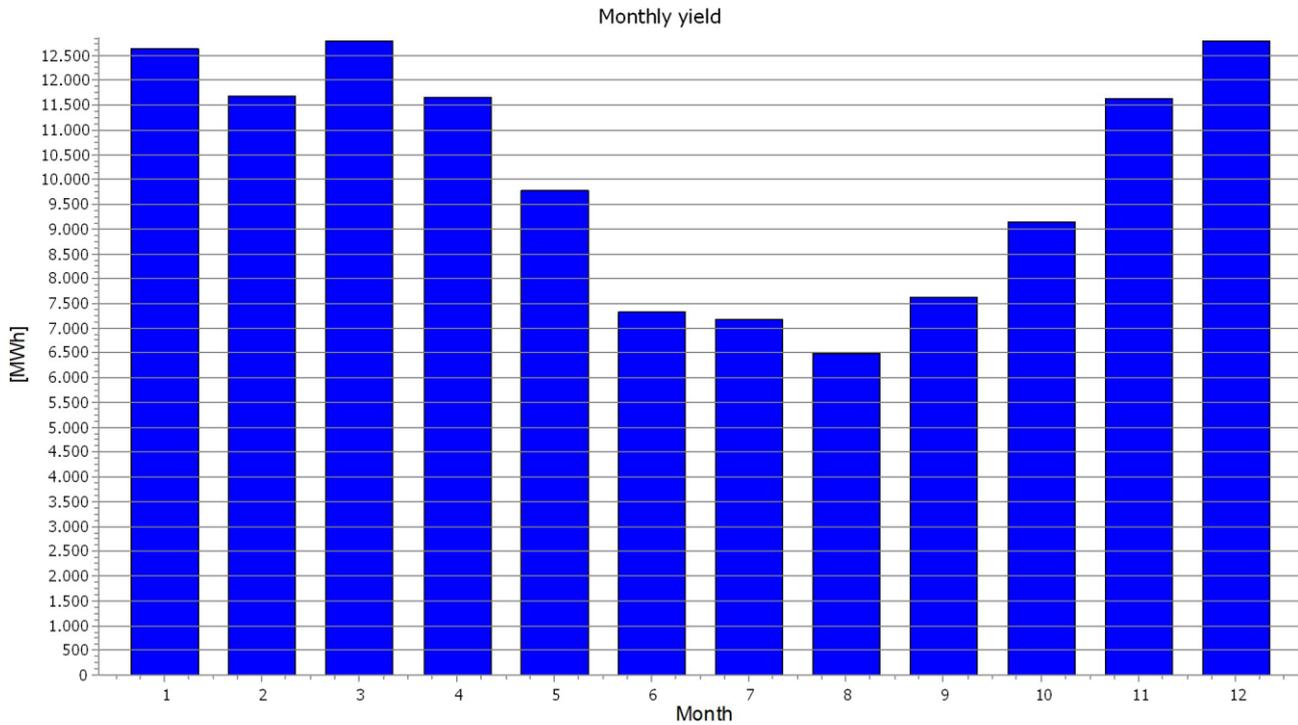
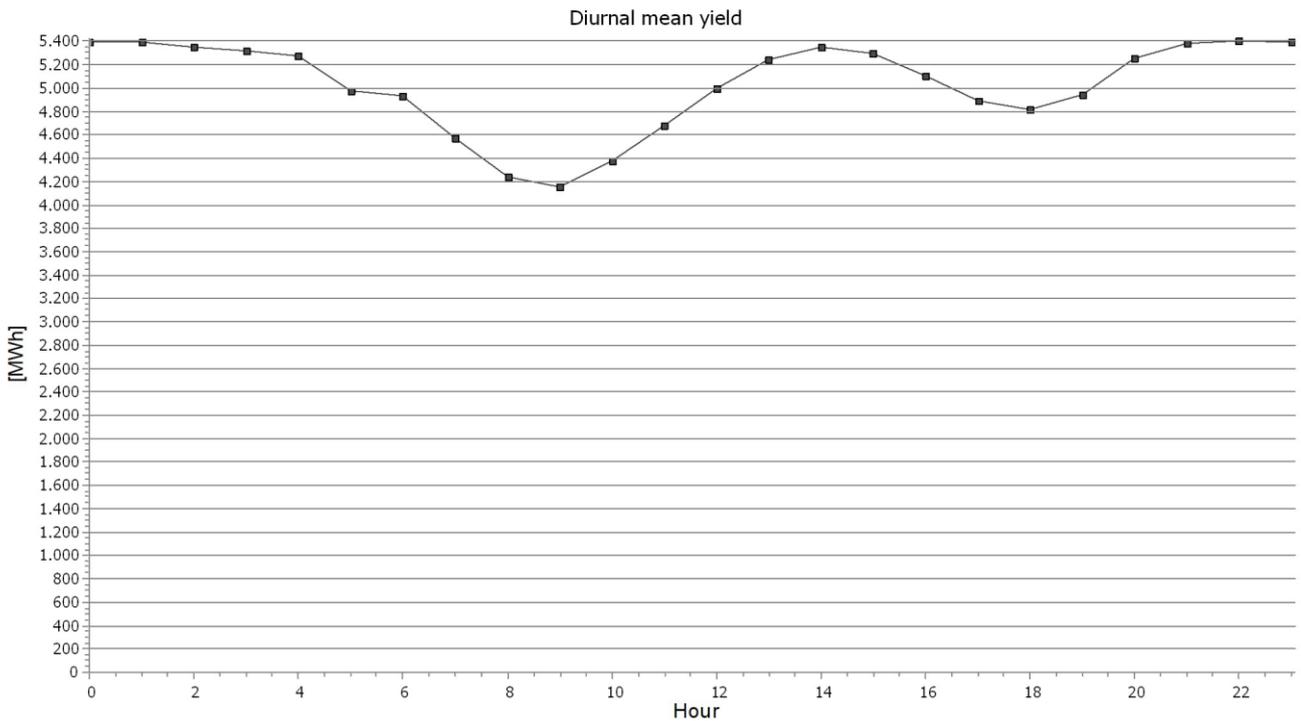


Figura 14: Produzione media mensile



	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	STIMA DI PRODUCIBILITA'	22/04/2024	REV.1	Pag. 23

Figura 15: Produzione media giornaliera

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	Caution
(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
Tropical cyclone analysis	OK

Result details

			WTG class	Method	Quality	WTG Mean	Max WTG	Min WTG	WTGs OK	WTGs Caution	WTGs Critical
Main IEC checks											
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	-	-	-	3	3	0
(c) Flow inclination	favg	[°]		WEng	B	-0,1	0,4	-0,5	6	0	0
(d) Wind shear	a	[-]		Mast WEng	A	0,13	0,19	0,04	5	1	0
(e) Air density	?	[kg/m³]		Mast	A/B	1,159	1,169	1,151	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	30,9	34,2	26,8	6	0	0
(c) Ambient extreme turbulence [ETM]	sxt(u)*	[-]	IA+	WEng	B/C	-	-	-	3	0	3
(d) Max centre-wake 90% turbulence [ETM]	smax(u)*	[-]	IA+	WEng	B/C	-	-	-	6	0	0
Other IEC checks & analysis											
Seismic hazard	PGA	[m/s²]		GSHAP map		1,1	-	-			
Temperature range											
Normal range, hours outside		[h/year]	Std	Full gauss		1,2	-	-			
Extreme range, hours outside		[h/year]	Std	Full gauss		0,0	-	-			
Lightning rate		[flashes/year/km²]		NASA GHCC		4,3	-	-			
Tropical cyclone analysis		[-]		IBTrACS		-	-	-			

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

	PARCO EOLICO “CELSO-PESCES”	 		
	STIMA DI PRODUCIBILITA'	22/04/2024	REV.1	Pag. 24

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_N37,85_E012,71
- C Anemometro virtuale - Salemi - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,85_E012,77
- D Anemometro virtuale - Salemi - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,82_E012,71
- E Anemometro virtuale - Salemi - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,82_E012,74
- F Anemometro virtuale - Salemi - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,82_E012,77

Main IEC checks

WTG-name	Class	Mast	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]	Total
1 WTG05	IA+	E	No	OK	OK	0	0,04	1,154	OK	33,2	OK	OK	Caution
2 WTG06	IA+	E	No	OK	OK	0	0,10	1,152	OK	34,2	OK	OK	OK
3 WTG01	IA+	A	No	OK	OK	0	0,11	1,151	OK	33,8	OK	OK	OK
4 WTG02	IA+	A	No	OK	Caution	0	0,16	1,163	OK	29,2	Critical	OK	Critical
5 WTG03	IA+	B	No	OK	Caution	-1	0,16	1,168	OK	28,2	Critical	OK	Critical
6 WTG04	IA+	D	No	OK	Caution	0	0,19	1,169	Critical	26,8	Critical	OK	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 **111,392 GWh** annui corrispondenti a circa **2.813** 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.