

REGIONE
SICILIANA



COMUNE DI
CAMMARATA



COMUNE DI
VILLALBA



COMUNE DI
MUSSOMELI



Il Committente:

NP Sicilia 4

NP Sicilia 4 S.r.l.

Galleria Passarella, 2

20122 MILANO

P.IVA - C.F. 12902920961

Il Progettista:

Agon
engineering



Entrope srl

dott. ing. VITTORIO RANDAZZO



dott. ing. VINCENZO DI MARCO



Titolo del progetto:

PARCO EOLICO "SCRUDATO"
POTENZA NOMINALE 39,6 MW

Elaborato:

PROGETTO DEFINITIVO

Codice Elaborato:

NPS4_CAM_D06_REL

TITOLO ELABORATO:

STIMA DI PRODUCIBILITA'

FOGLIO:

SCALA:

FORMATO:

A4

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

	PARCO EOLICO “SCRUDATO”	 		
		20/07/2023	REV.0	Pag. 1

Sommario

1. INTRODUZIONE	2
1.1. Premessa.....	2
1.2. Inquadramento geografico del sito	2
1.3. Metodologia di analisi	6
2. CRITERI ADOTTATI PER LA VALUTAZIONE	9
2.1. Modello digitale orografico	9
2.2. Mappa di rugosità.....	10
2.3. Ostacoli	10
2.4. Densità dell'aria	10
2.5. Risorsa eolica	11
2.6. Descrizione dell'aereogeneratore.....	15
3. CALCOLO E VERIFICA DELLA PRODUZIONE ATTESA	18
3.1. Stima della produzione energetica	18
3.2. Verifica dell'idoneità del sito	22
3.3. Conclusioni	23

	PARCO EOLICO “SCRUDATO”		 	
	STIMA DI PRODUCIBILITA'	20/07/2023	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. il parco eolico verrà collegato in antenna a 36 kV con la sezione a 36 kV di una nuova stazione elettrica di trasformazione (SE) 380/150/36 kV della RTN, da inserire in entra – esce sul futuro elettrodotto RTN a 380 kV della RTN “Chiamamonte Gulfi - Ciminna”, previsto nel Piano di Sviluppo Terna, cui raccordare la rete AT afferente alla SE RTN di Caltanissetta.

1.2. Inquadramento geografico del sito

Il sito di installazione è localizzato in Sicilia e precisamente nei Comuni di Cammarata (AG) e Villalba (CL) 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 Nord-ovest ed Est.

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.

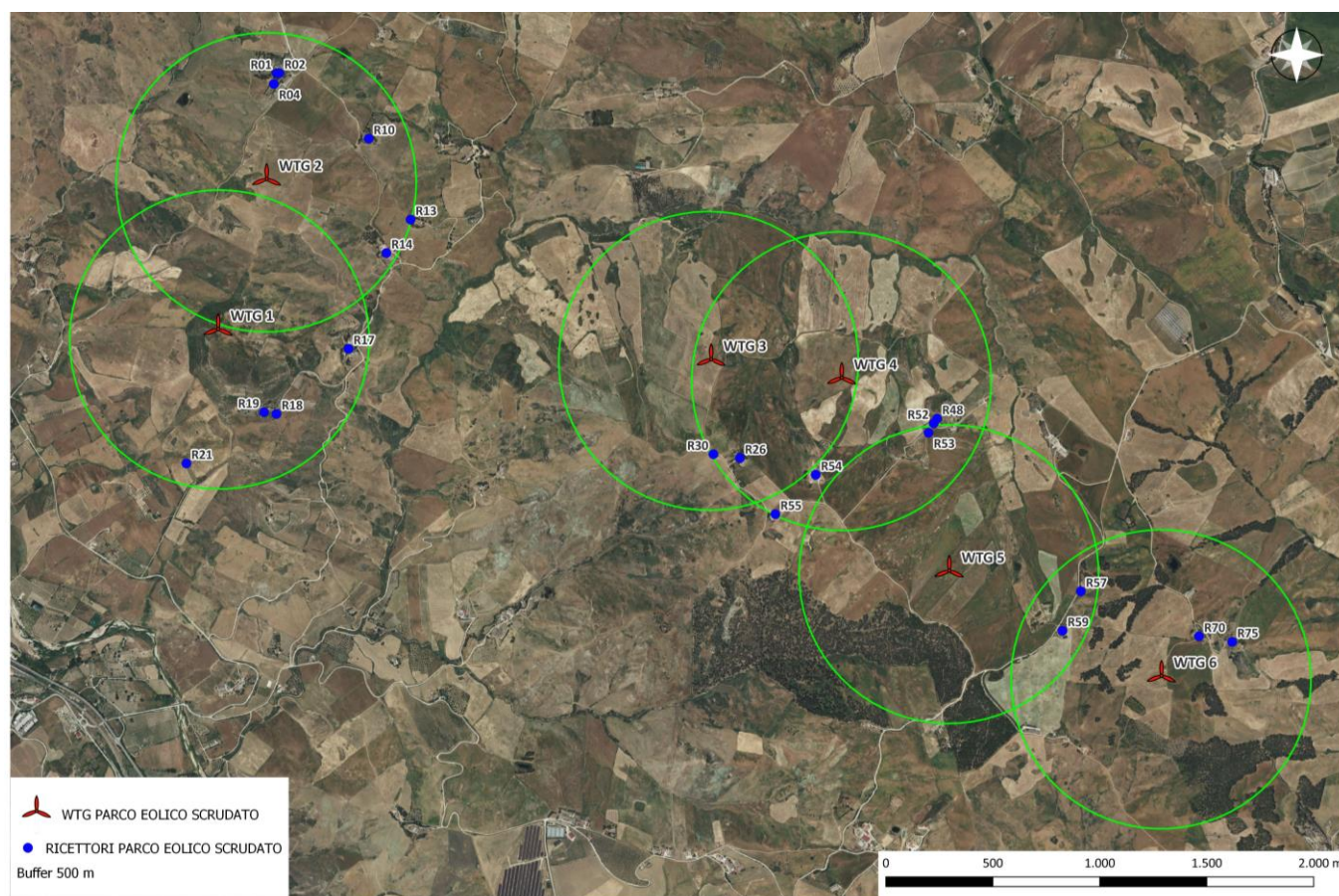


Figura 2: Layout del parco eolico

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)
WTG01	Cammarata	37°40'02,48"	13°41'07,06"	600
WTG02	Cammarata	37°40'26,38"	13°41'15,58"	607
WTG03	Cammarata	37°40'00,28"	13°42'40,42"	619
WTG04	Cammarata	37°39'57,49"	13°43'05,82"	630
WTG05	Cammarata	37°39'28,49"	13°43'26,82"	683
WTG06	Cammarata	37°39'13,03"	13°44'07,56"	667

	PARCO EOLICO "SCRUDATO"		 	
	STIMA DI PRODUCIBILITA'	20/07/2023	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:

Alpiq	Comune	Nord	Est	Altezza s.l.m. (m)
Gamesa G90 2000kW	Cammarata	37°40'39,39"	13°46'15,89"	639
Gamesa G90 2000kW	Cammarata	37°40'47,12"	13°46'15,91"	608
Gamesa G90 2000kW	Cammarata	37°40'35,75"	13°46'04,57"	630
Gamesa G90 2000kW	Cammarata	37°40'45,33"	13°46'06,19"	615
Gamesa G90 2000kW	Cammarata	37°40'37,45"	13°45'53,25"	620
Gamesa G90 2000kW	Cammarata	37°40'47,25"	13°43'58,07"	641
Gamesa G90 2000kW	Cammarata	37°40'55,68"	13°43'59,61"	623
Gamesa G90 2000kW	Cammarata	37°40'57,46"	13°43'43,64"	661
Gamesa G90 2000kW	Cammarata	37°40'58,80"	13°43'27,21"	618

Alpiq	Comune	Nord	Est	Altezza s.l.m. (m)
Gamesa G90 2000kW	Valllunga Pratameno	37°41'14,04"	13°46'11,23"	634
Gamesa G90 2000kW	Valllunga Pratameno	37°41'07,85"	13°46'03,30"	620
Gamesa G90 2000kW	Valllunga Pratameno	37°41'04,88"	13°45'53,34"	594
Gamesa G90 2000kW	Valllunga Pratameno	37°40'51,18"	13°45'20,17"	600
Gamesa G90 2000kW	Valllunga Pratameno	37°40'53,48"	13°45'03,49"	610
Gamesa G90 2000kW	Valllunga Pratameno	37°41'02,46"	13°44'53,38"	588
Gamesa G90 2000kW	Valllunga Pratameno	37°41'25,07"	13°44'59,61"	572
Gamesa G90 2000kW	Valllunga Pratameno	37°41'25,05"	13°44'48,82"	578
Gamesa G90 2000kW	Valllunga Pratameno	37°41'33,89"	13°44'48,81"	577
Gamesa G90 2000kW	Valllunga Pratameno	37°41'42,64"	13°44'52,32"	570

	PARCO EOLICO “SCRUDATO”		 	
	STIMA DI PRODUCIBILITA'	20/07/2023	REV.0	Pag. 5

Alpiq	Comune	Nord	Est	Altezza s.l.m. (m)
Gamesa G90 2000kW	CastroNovo di Sicilia	37°41'06,57"	13°43'53,73"	613
Gamesa G90 2000kW	CastroNovo di Sicilia	37°41'44,12"	13°43'46,19"	671
Gamesa G90 2000kW	CastroNovo di Sicilia	37°41'08,51"	13°43'27,17"	630
Gamesa G90 2000kW	CastroNovo di Sicilia	37°41'18,00"	13°43'30,01"	650
Gamesa G90 2000kW	CastroNovo di Sicilia	37°41'26,14"	13°43'33,02"	642
Gamesa G90 2000kW	CastroNovo di Sicilia	37°41'35,37"	13°43'32,61"	670
Gamesa G90 2000kW	CastroNovo di Sicilia	37°41'45,71"	13°43'33,55"	667
Gamesa G90 2000kW	CastroNovo di Sicilia	37°41'19,49"	13°40'16,83"	750
Gamesa G90 2000kW	CastroNovo di Sicilia	37°41'13,97"	13°40'03,61"	723
Gamesa G90 2000kW	CastroNovo di Sicilia	37°41'22,44"	13°40'05,87"	742
Gamesa G90 2000kW	CastroNovo di Sicilia	37°41'11,34"	13°39'53,36"	700
Gamesa G90 2000kW	CastroNovo di Sicilia	37°41'30,35"	13°39'55,52"	708
Gamesa G90 2000kW	CastroNovo di Sicilia	37°41'36,07"	13°39'48,99"	699
Gamesa G90 2000kW	CastroNovo di Sicilia	37°41'48,76"	13°39'45,72"	659
Gamesa G90 2000kW	CastroNovo di Sicilia	37°41'56,11"	13°39'44,77"	634
Gamesa G90 2000kW	CastroNovo di Sicilia	37°42'32,92"	13°39'25,25"	580
Gamesa G90 2000kW	CastroNovo di Sicilia	37°42'44,04"	13°39'16,08"	576
Gamesa G90 2000kW	CastroNovo di Sicilia	37°42'50,39"	13°38'54,58"	570
Gamesa G90 2000kW	CastroNovo di Sicilia	37°43'04,68"	13°38'44,62"	577
Gamesa G90 2000kW	CastroNovo di Sicilia	37°43'05,95"	13°38'33,68"	575
Gamesa G90 2000kW	CastroNovo di Sicilia	37°43'15,98"	13°38'25,93"	607
Gamesa G90 2000kW	CastroNovo di Sicilia	37°43'25,81"	13°38'22,88"	620
Gamesa G90 2000kW	CastroNovo di Sicilia	37°43'29,20"	13°38'11,58"	620

	 
	STIMA DI PRODUCIBILITA' 20/07/2023 REV.0 Pag. 6

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;
- ✓ ρ 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.

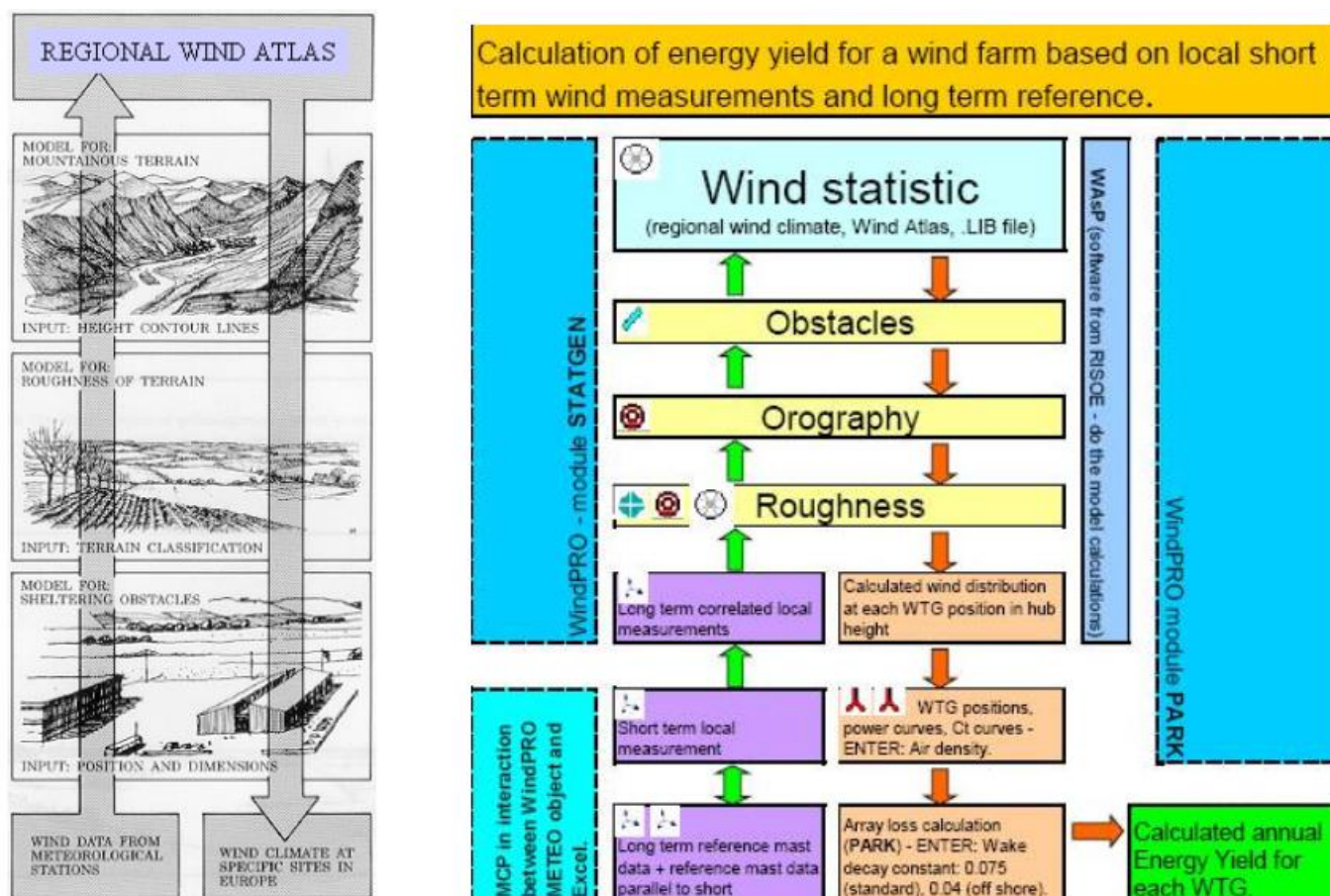


Figura 3: Diagramma di flusso del programma Wind Pro/WASP

Il modulo Park è in grado di calcolare, offrendo diversi modelli alternativi, le perdite di scia dovute all'effetto di copertura reciproca tra 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 C_t nel modello di calcolo; il valore esatto di C_t è usato in ciascun intervallo di velocità del vento.

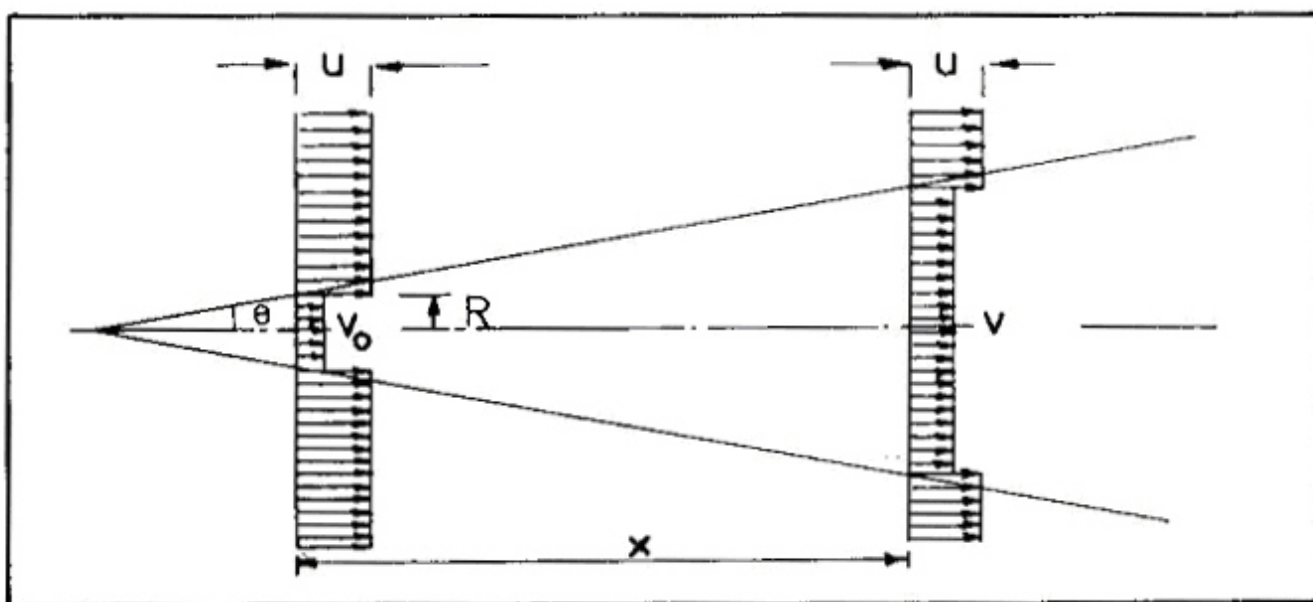


Figura 4: Modello semplificato delle perdite di scia oltre una turbina

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:

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			

	PARCO EOLICO “SCRUDATO”		 	
	STIMA DI PRODUCIBILITA'	20/07/2023	REV.0	Pag. 9

dove:

- ✓ Vref 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 Vref, 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 Vref);
- ✓ 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;
- ✓ Iref 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.

	PARCO EOLICO “SCRUDATO”		 	
	STIMA DI PRODUCIBILITA'	20/07/2023	REV.0	Pag. 10

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.

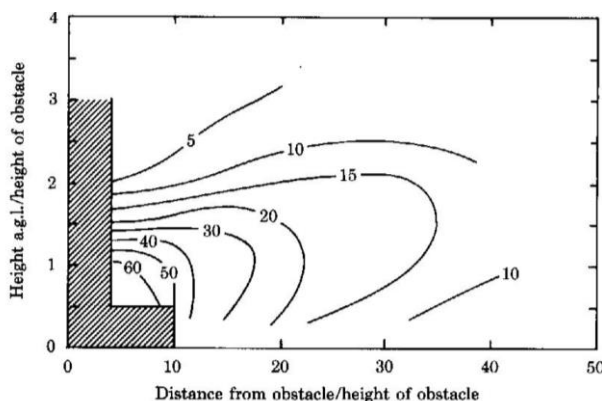


Figura 5: Riduzione percentuale della velocità del vento in presenza di ostacoli

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.

Select air density calculation method

Elevation depending air density

Temperature base values

☒ Temperature data from climate station database
 Climate database ENNA ITALY

☐ 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:

- ✓ 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.

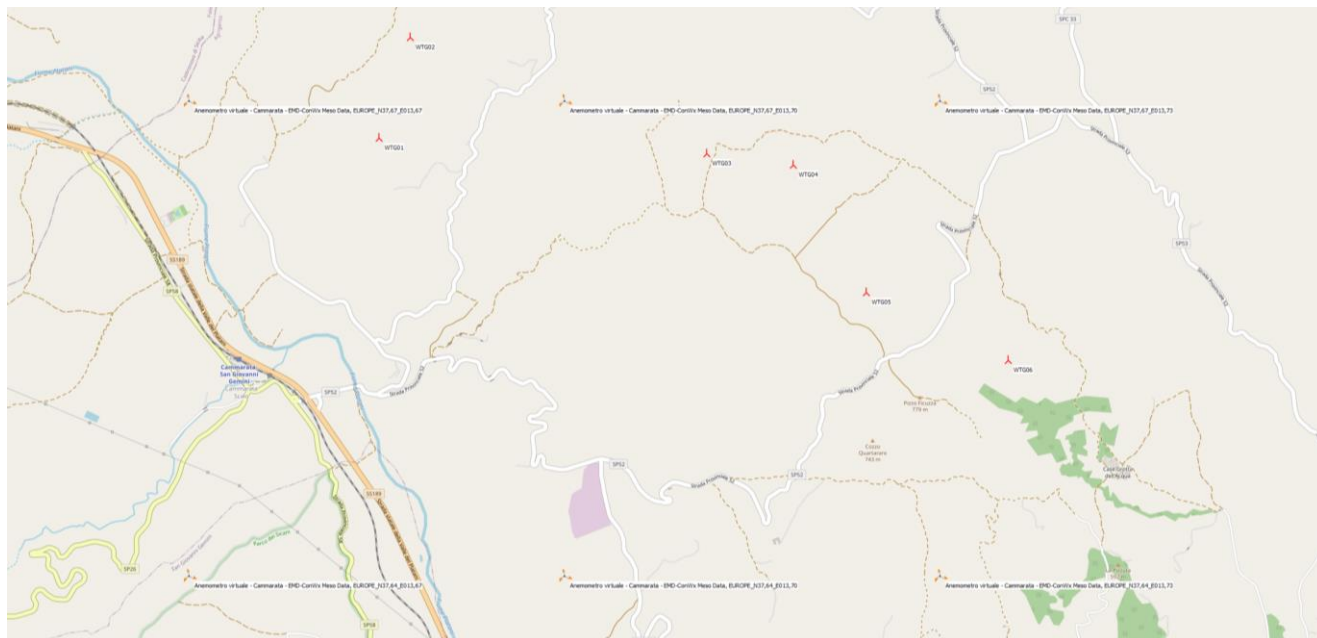


Figura 7: Posizione delle stazioni EMD-ConWx Mesodata Europe

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 Mesodata Europe_N37,64_E13,67	37°38'24,00"N	13°40'12,00"E	451
EMD-ConWx Mesodata Europe_N37,64_E13,70	37°38'24,00"N	13°41'60,00"E	476
EMD-ConWx Mesodata Europe_N37,64_E13,73	37°38'24,00"N	13°43'48,00"E	537
EMD-ConWx Mesodata Europe_N37,67_E13,67	37°40'12,00"N	13°40'12,00"E	413
EMD-ConWx Mesodata Europe_N37,67_E13,70	37°40'12,00"N	13°41'60,00"E	420
EMD-ConWx Mesodata Europe_N37,67_E13,73	37°40'12,00"N	13°43'48,00"E	617

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.

	PARCO EOLICO “SCRUDATO”	 
	STIMA DI PRODUCIBILITA’	20/07/2023 REV.0 Pag. 13

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.

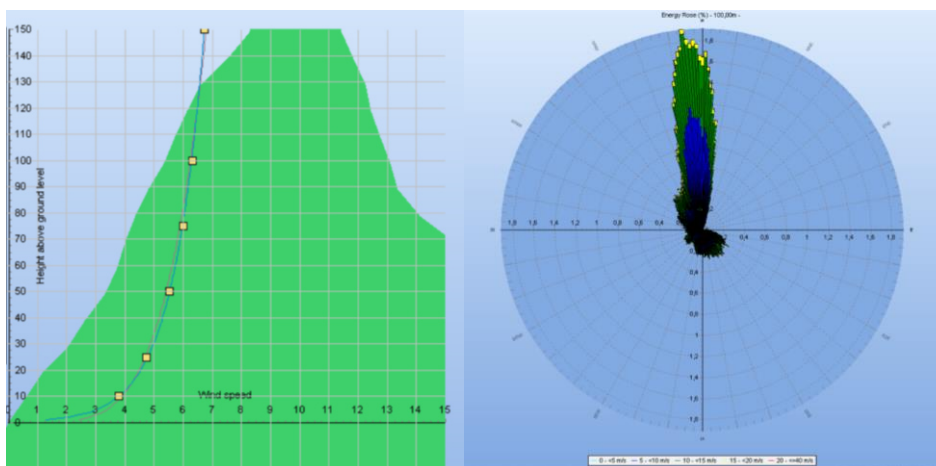


Figura 8: Caratteristiche della stazione EMD-ConWx Mesodata Europe N37,64 E13,67

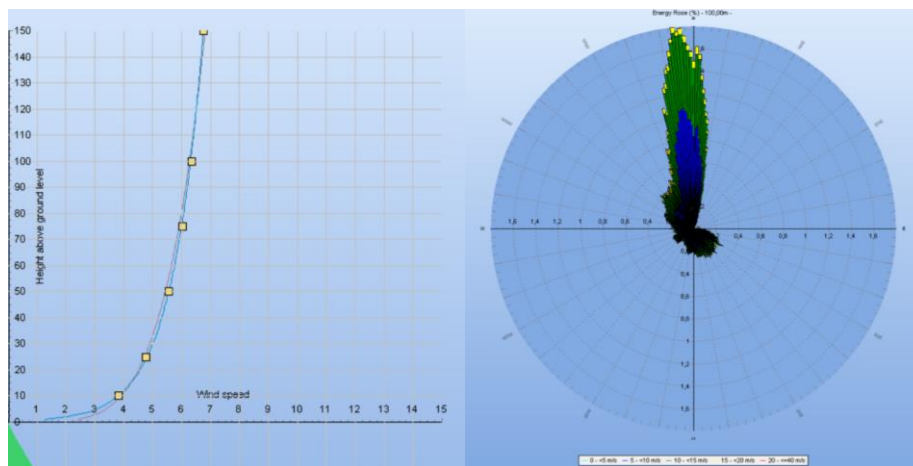


Figura 9: Caratteristiche della stazione EMD-ConWx Mesodata Europe N37,64 E13,70

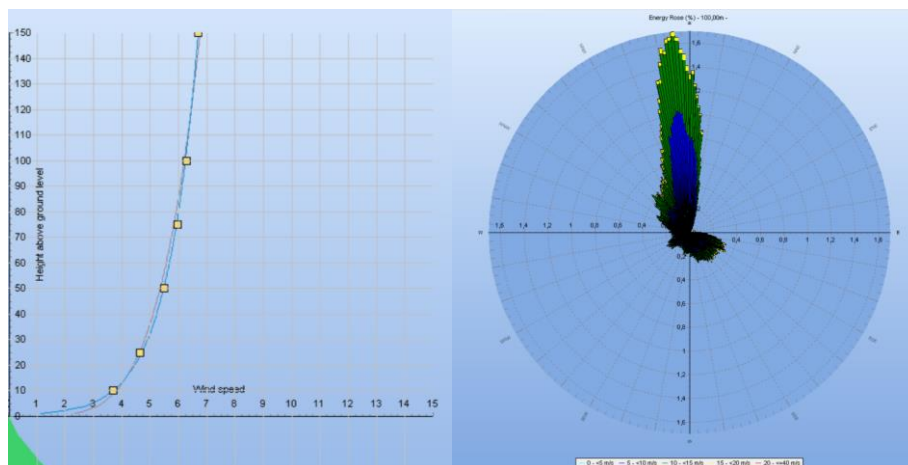


Figura 10: Caratteristiche della stazione EMD-ConWx Mesodata Europe N37,64 E13,73

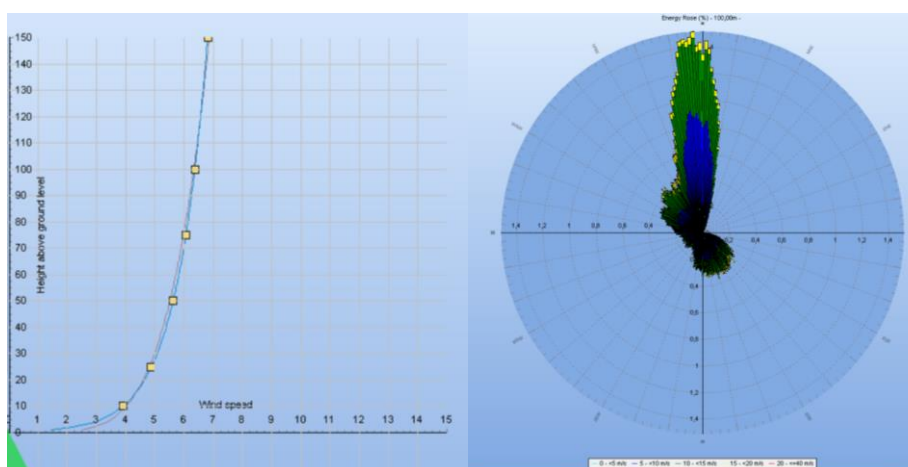


Figura 11: Caratteristiche della stazione EMD-ConWx Mesodata Europe N37,67 E13,67

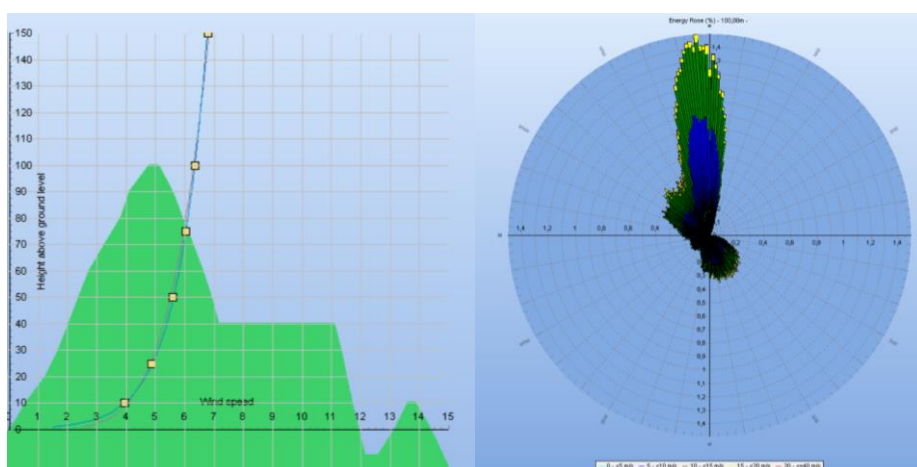


Figura 12: Caratteristiche della stazione EMD-ConWx Mesodata Europe N37,67 E13,70

	PARCO EOLICO “SCRUDATO”	 
	STIMA DI PRODUCIBILITA’	20/07/2023 REV.0 Pag. 15

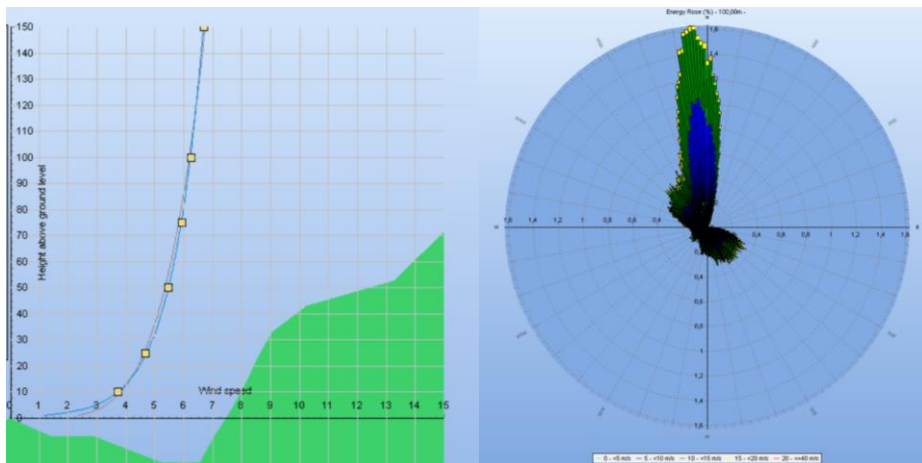


Figura 13: Caratteristiche della stazione EMD-ConWx Mesodata Europe N37,67 E13,73

Al fine di calcolare le condizioni di ventosità del sito all'altezza del mozzo degli aerogeneratori è necessario effettuare un'extrapolazione 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:

- ✓ 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'aerogeneratore

L'aerogeneratore scelto per il progetto è il modello SG6.6-170 Siemens-Gamesa, di potenza pari a 6,1 MW qui di seguito sono elencate le specifiche tecniche:

	PARCO EOLICO “SCRUDATO”		 	
	STIMA DI PRODUCIBILITA'	20/07/2023	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 – 135 m
Classe vento	IEC IIIA-IIIIB
Numero di lame	3

ROTORE

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

	PARCO EOLICO “SCRUDATO”		 	
	STIMA DI PRODUCIBILITA'	20/07/2023	REV.0	Pag. 17

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
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 %

	PARCO EOLICO “SCRUDATO”		 	
	STIMA DI PRODUCIBILITA'	20/07/2023	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 convolta, oltre alla densità dell'aria specifica di sito che incide sulla performance ed 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 “SCRUDATO”	
	STIMA DI PRODUCIBILITA’	20/07/2023 REV.0 Pag. 19

Setup

AEP scaled to a full year based on number of samples
Include seasonal correction: EMD Default
Scaling factor from 26,7 years to 1 year, Spring: 0,037
Scaling factor from 26,7 years to 1 year, Summer: 0,037
Scaling factor from 26,7 years to 1 year, Autumn: 0,038
Scaling factor from 26,7 years to 1 year, Winter: 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 Cammarata - 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 - Cammarata - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,64_E013,70 Anemometro virtuale - Cammarata - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,67_E013,70 Anemometro virtuale - Cammarata - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,64_E013,73 Anemometro virtuale - Cammarata - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,67_E013,73 Anemometro virtuale - Cammarata - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,64_E013,67 Anemometro virtuale - Cammarata - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,67_E013,67
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)

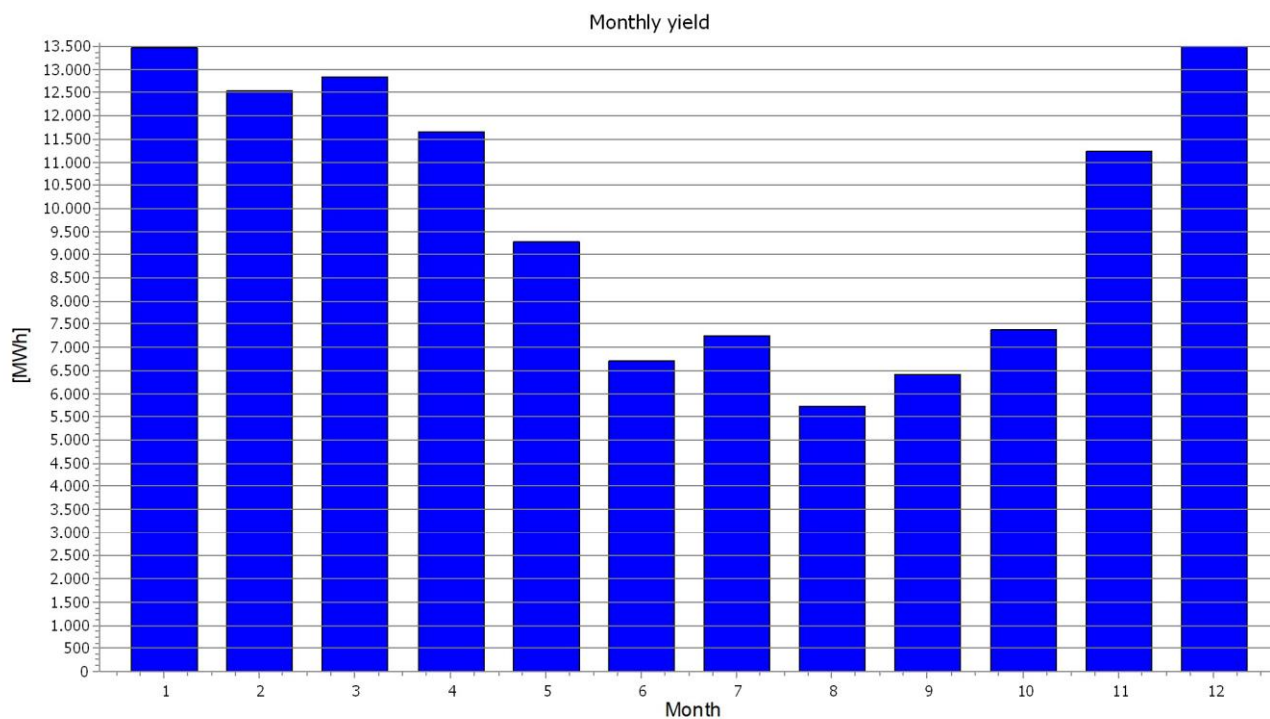
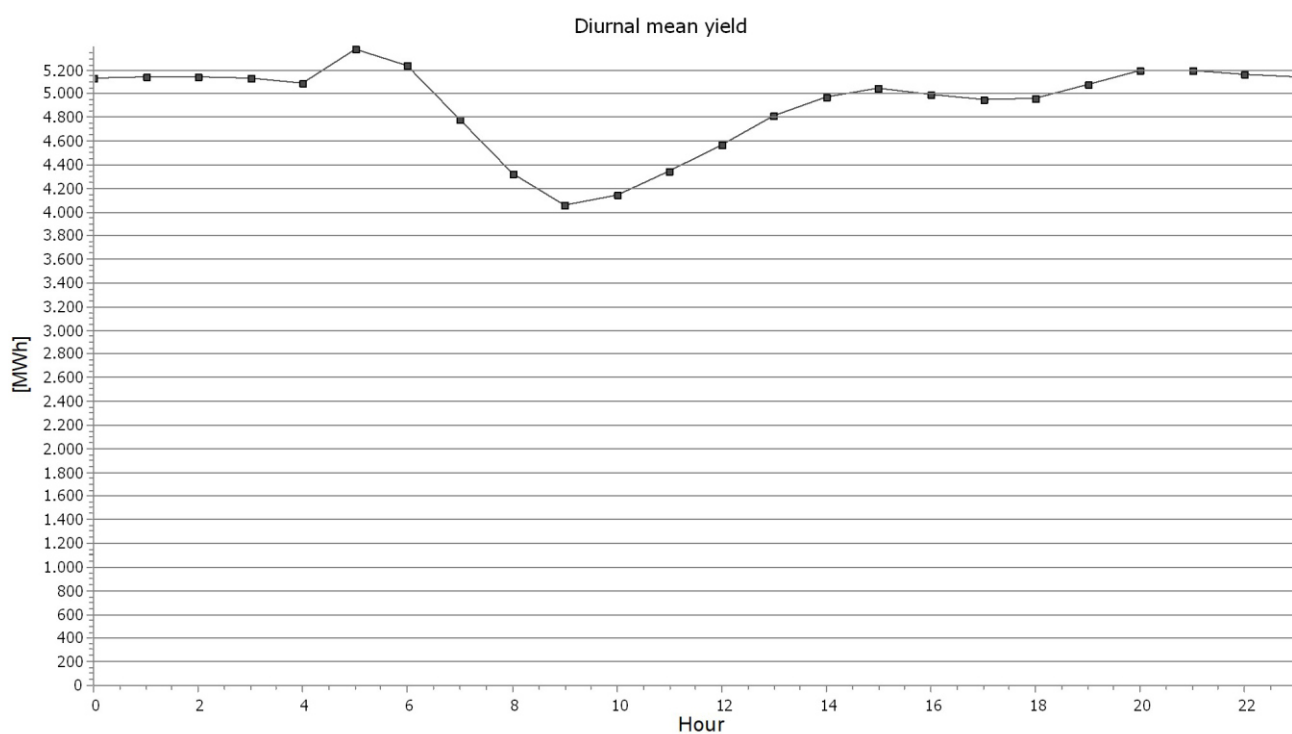
Power curve correction (adjusted IEC method, improved to match turbine control)

		Min	Max	Avg	Corr. [%]	Neg. corr. [%]	Pos. corr. [%]
Air density							
From air density settings	[°C]	13,2	13,6	13,4			
From air density settings	[hPa]	922,5	929,3	926,1			
Resulting air density	[kg/m³]	1,122	1,129	1,126			
Relative to 15°C at sea level	[%]	91,6	92,2	91,9	-5,4	-5,4	0,0

Parco eolico Cammarata

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
Potenza complessiva installata	[MW]	39,6
Vento medio all'hub	[m/s]	6,50
Densità dell'aria	[kg/m3]	1,126
GROSS	[MWh/y]	122.637
AEP	[MWh/y]	117.964
Park efficiency	[%]	96,20%
Perdite in scia	[%]	3,80%
Cammarata WTG01	[%]	2,70%
Cammarata WTG02	[%]	2,40%
Cammarata WTG03	[%]	2,80%
Cammarata WTG04	[%]	5,30%
Cammarata WTG05	[%]	5,70%
Cammarata WTG06	[%]	4,30%
Stima perdite complessive	[%]	-8,1%
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%
Dettaglio turbine - P50		
Cammarata WTG01	[MWh/y]	19.459
Cammarata WTG02	[MWh/y]	19.668
Cammarata WTG03	[MWh/y]	17.932
Cammarata WTG04	[MWh/y]	16.286
Cammarata WTG05	[MWh/y]	16.342
Cammarata WTG06	[MWh/y]	18.721
Energia netta in rete - P50	[MWh/y]	108.409
Ore equivalenti	[ore]	2.738
Capacity factor	[%]	31,3%
Energia netta in rete - P75	[MWh/y]	99.528
Ore equivalenti	[ore]	2.513
Capacity factor	[%]	28,7%
Energia netta in rete - P90	[MWh/y]	91.535
Ore equivalenti	[ore]	2.311
Capacity factor	[%]	26,4%

**Figura 14: Produzione media mensile****Figura 15: Produzione media giornaliera**

NP Sicilia 4	PARCO EOLICO "SCRUDATO"	 		
	STIMA DI PRODUCIBILITA'	20/07/2023	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	Caution
Fatigue/Normal conditions	
(a) Wind distribution	OK
(b) Effective turbulence	OK
(c) Flow inclination	OK
(d) Wind shear	OK
(e) Air density	OK
Ultimate/Extreme conditions	
(a) Ambient 90% turbulence [NTM]	OK
(b) Extreme wind	OK
(c) Ambient extreme turbulence [ETM]	OK
(d) Max centre-wake 90% turbulence [ETM]	OK

Other IEC checks & analysis

Seismic hazard	Caution
Temperature range	Caution
Lightning rate	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		1,05	1,10	1,00	2	4	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	-	-	-	6	0	0
(c) Flow inclination	favg	[°]		WEng	B	0,9	1,9	0,0	6	0	0
(d) Wind shear	a	[-]		Mast WEng	A	0,16	0,21	0,12	6	0	0
(e) Air density	?	[kg/m³]		Mast	A/B	1,126	1,129	1,122	6	0	0
Ultimate/Extreme conditions											
(a) Ambient 90% turbulence [NTM]	s90(u)*	[-]	IA+	WEng	B/C	-	-	-	6	0	0
(b) Extreme wind	u50y	[m/s]	IA+	AM	A+A	28,2	32,8	26,8	6	0	0
(c) Ambient extreme turbulence [ETM]	sext(u)*	[-]	IA+	WEng	B/C	-	-	-	6	0	0
(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		0,9	-	-			
Temperature range											
Normal range, hours outside		[h/year]	Std	Full gauss		13,0	-	-			
Extreme range, hours outside		[h/year]	Std	Full gauss		0,1	-	-			
Lightning rate		[flashes/year/km²]		NASA GHCC		4,8	-	-			

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

NP Sicilia 4	PARCO EOLICO “SCRUDATO”	Agon engineering entrope srl		
	STIMA DI PRODUCIBILITA'	20/07/2023	REV.0	Pag. 23

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

Main checks - WTGs

Criteria

Critical

Caution

OK

Masts

- A Anemometro virtuale - Cammarata - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,64_E013,70
- B Anemometro virtuale - Cammarata - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,67_E013,70
- C Anemometro virtuale - Cammarata - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,64_E013,73
- D Anemometro virtuale - Cammarata - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,67_E013,73
- E Anemometro virtuale - Cammarata - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,64_E013,67
- F Anemometro virtuale - Cammarata - EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N37,67_E013,67

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
			[-]	[-]	[-]	[°]	[-]	[kg/m³]	[-]	[m/s]	[-]	[-]	
1 WTG01	IA+	D	Low	OK	OK	0	0,13	1,129	OK	27,6	OK	OK	Caution
2 WTG02	IA+	D	No	OK	OK	0	0,12	1,129	OK	27,4	OK	OK	OK
3 WTG03	IA+	D	Medium	OK	OK	2	0,16	1,125	OK	27,0	OK	OK	Caution
4 WTG04	IA+	D	Low	OK	OK	2	0,20	1,126	OK	26,8	OK	OK	Caution
5 WTG05	IA+	D	No	OK	OK	1	0,21	1,122	OK	27,5	OK	OK	OK
6 WTG06	IA+	C	Medium	OK	OK	1	0,17	1,124	OK	32,8	OK	OK	Caution

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 Cammarata una produzione netta P50 pari a **108,409 GWh** annui corrispondenti a circa **2.738** 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 anemologiche del sito.