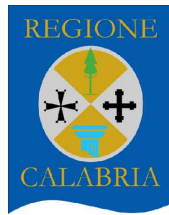


REGIONE
CALABRIA



Provincia di
Catanzaro



Committente:



PLT engineering s.r.l.
via Dismano 1280
47522 Cesena (FC)
P.IVA/C.F. 05857900723

Titolo del Progetto:

PARCO EOLICO "SELLIA MARINA"

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

ID PROGETTO:	PESM
DISCIPLINA:	P
CAPITOLO:	

N° Documento:

PESM-P-AN-01

Elaborato:

Studio anemologico

SCALA:

FORMATO:

A4

Nome file:

PESM-P-AN-01_Studio Anemologico

Progettazione:



Ing. Saverio Pagliuso

Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	06/2021	PRIMA EMISSIONE	GEMSA	GEMSA	PLT

Committente: **PLT engineering S.r.l.**
Via Dismano, 1280
47522 Cesena (FC)



Stefano Marulli
21.09.2021 09:30:45
GMT+01:00

Progetto: **PARCO EOLICO "SELLIA MARINA"**

Cod. Progetto: SLM

Fase del progetto: PROGETTAZIONE

Attività: PROGETTAZIONE DEFINITIVA

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato	Visto
00	15/09/2021	Prima emissione	Moorthy	Marulli	Marulli	-

Tipo: **WIND RESOURCE ASSESSMENT REPORT**

Scala:-

Cod. doc.: SLM_WRA

Elaborato: 1 di 1

Data: 15/09/2021



PLT engineering S.R.L. Via Dismano, 1280 47522 Cesena (FC)	WIND RESOURCE ASSESSMENT REPORT	CODICE: SLM_WRA
	PARCO EOLICO “SELLIA MARINA”	FASE: PROGETTAZIONE
		ATTIVITÀ: PROG. DEFINITIVA
		DATA: 15/09/2021
		REVISIONE 00
		PAGINA 2 DI 15

CONTENTS:

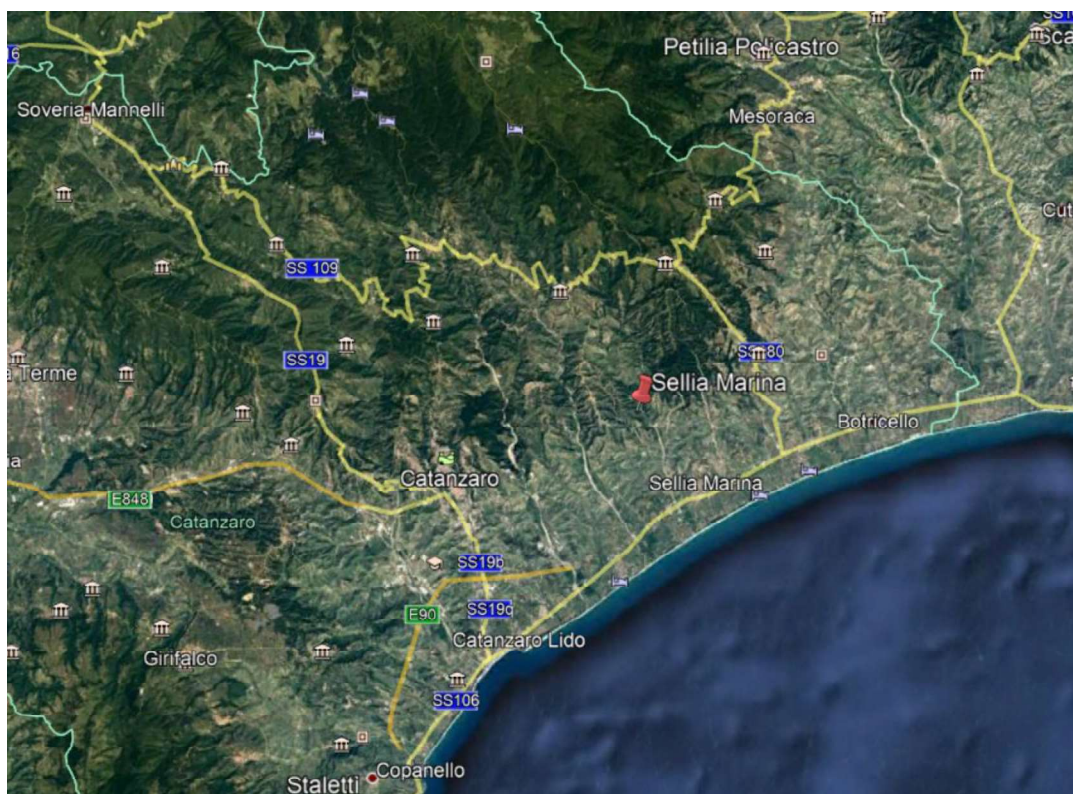
1. INTRODUZIONE:	3
2. DESCRIZIONE DEL SITO:	4
3. PROJECT DESIGN E DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA UTILIZZATA:	5
3.1. GENERALE	5
3.2. VELOCITA' DEL VENTO E DIREZIONE:	6
3.3. DENSITA' DELL'ARIA:	8
3.4. CURVA DI POTENZA:	8
3.5. LAYOUT DEL PARCO EOLICO:	9
3.6. PARCHI EOLICI LIMITROFI:	10
4. ENERGY YIELD CALCULATION:	10
5. RISULTATI:	12
6. INCERTEZZE:	13
7. CONCLUSIONI:	14

PLT engineering S.R.L. Via Dismano, 1280 47522 Cesena (FC)	WIND RESOURCE ASSESSMENT REPORT	CODICE: SLM_WRA
	PARCO EOLICO “SELLIA MARINA”	FASE: PROGETTAZIONE
		ATTIVITÀ: PROG. DEFINITIVA
		DATA: 15/09/2021
		REVISIONE 00
		PAGINA 3 DI 15

1. INTRODUZIONE:

Questo rapporto descrive l'analisi del vento e la previsione del rendimento del parco eolico di Sellia Marina, situato nella provincia di Catanzaro.

La posizione del parco eolico di Sellia Marina è di seguito riportata:



1. Immagine 1. Localizzazione del parco eolico di Sellia Marina

Il parco prevede l'installazione di 14 aerogeneratori della potenza nominale di 6 MW. Gli aerogeneratori scelti per il parco hanno diametro di 162 m metri ed un'altezza del mozzo di 126 m.

Lo studio è stato redatto senza elaborare dati provenienti da misurazioni di una torre anemometrica ma utilizzando dati da database satellitari.

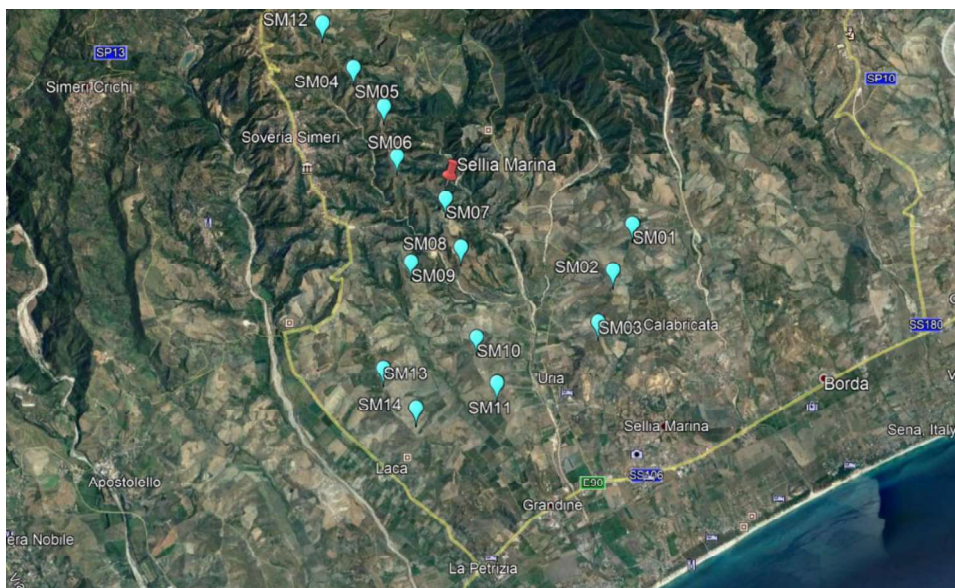
In particolare, lo studio ha preso in considerazione l'analisi della stima della densità dell'aria, la modellazione del vento e la valutazione dell'incertezza.

PLT engineering S.R.L. Via Dismano, 1280 47522 Cesena (FC)	WIND RESOURCE ASSESSMENT REPORT	CODICE: SLM_WRA
	PARCO EOLICO “SELLIA MARINA”	FASE: PROGETTAZIONE
		ATTIVITÀ: PROG. DEFINITIVA
		DATA: 15/09/2021
		REVISIONE 00
		PAGINA 4 DI 15

2. DESCRIZIONE DEL SITO:

Il sito di Sellia Marina è una zona collinare con pendii semi ripidi, presenza di alcuni fabbricati e vegetazione di tipo arbustivo.

Dal punto di vista orografico l'area sulla quale si sviluppa l'impianto è costituita da tre crinali disposti in direzione NNW. Il Mar Ionio dista meno di 4 km dal parco eolico in analisi.



2. Immagine 2. Mappa topografica con 14 WTG

PLT engineering S.R.L. Via Dismano, 1280 47522 Cesena (FC)	WIND RESOURCE ASSESSMENT REPORT	CODICE: SLM_WRA
	PARCO EOLICO “SELLIA MARINA”	FASE: PROGETTAZIONE
		ATTIVITÀ: PROG. DEFINITIVA
		DATA: 15/09/2021
		REVISIONE 00
	PAGINA 5 DI 15	



3. Immagine 3. Immagine del Progetto con fotomontaggio delle WTG

Le immagini di cui sopra descrivono le creste in cui sono stati posizionati gli aerogeneratori e l'area circostante il met mast presenta versanti con pendenze medio-alte.

3. PROJECT DESIGN E DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA UTILIZZATA:

3.1. GENERALE

Questo rapporto si propone di fare una stima della produzione media annua di energia del parco di Sellia Marina. Il modello di turbina eolica preso a riferimento è Vestas con diametro rotore di 162 m 6,0 MW di potenza e altezza mozzo 126 m.

La produzione delle turbine eoliche è stata calcolata tenendo conto delle perdite per scia tra le turbine e le perdite standard considerate nel settore.

La risorsa eolica presenta grandi variazioni a seconda della circolazione del vento e degli effetti locali come l'orografia e la rugosità. Questi effetti locali sono molto difficili da modellare soprattutto se le pendenze del terreno intorno a un parco eolico superano i 17° di inclinazione.

PLT engineering S.R.L. Via Dismano, 1280 47522 Cesena (FC)	WIND RESOURCE ASSESSMENT REPORT	CODICE: SLM_WRA
		FASE: PROGETTAZIONE
	PARCO EOLICO “SELLIA MARINA”	ATTIVITÀ: PROG. DEFINITIVA
		DATA: 15/09/2021
		REVISIONE 00
		PAGINA 6 DI 15

Considerando queste condizioni, le raccomandazioni internazionali come MEASNET raccomandano di installare la torre di misurazione anemometrica a una distanza inferiore ai 2 chilometri dalle turbine eoliche, al fine di minimizzare gli errori nella previsione dell'energia prevista per il progetto.

In questo caso, come possiamo vedere nella mappa di pendenza in figura 2, alcune posizioni sono situate in una zona di terreno complesso, con pendenze superiori a 17° nei suoi dintorni. Tale complessità aggiunta al fatto di non avere una torre di misurazione avrà come conseguenza una certa incertezza nei risultati presentati qui, che potrà essere ridotta una volta elaborati i dati della torre anemometrica di prossima installazione.

Per eseguire i calcoli di produzione con il modello WAsP, è stata costruita una mappa di contorno in un raggio di 20 chilometri intorno al progetto, con l'aiuto della base cartografica SRTM 1 Arc distribuita dall'USGS (NASA Spatial Imagery).

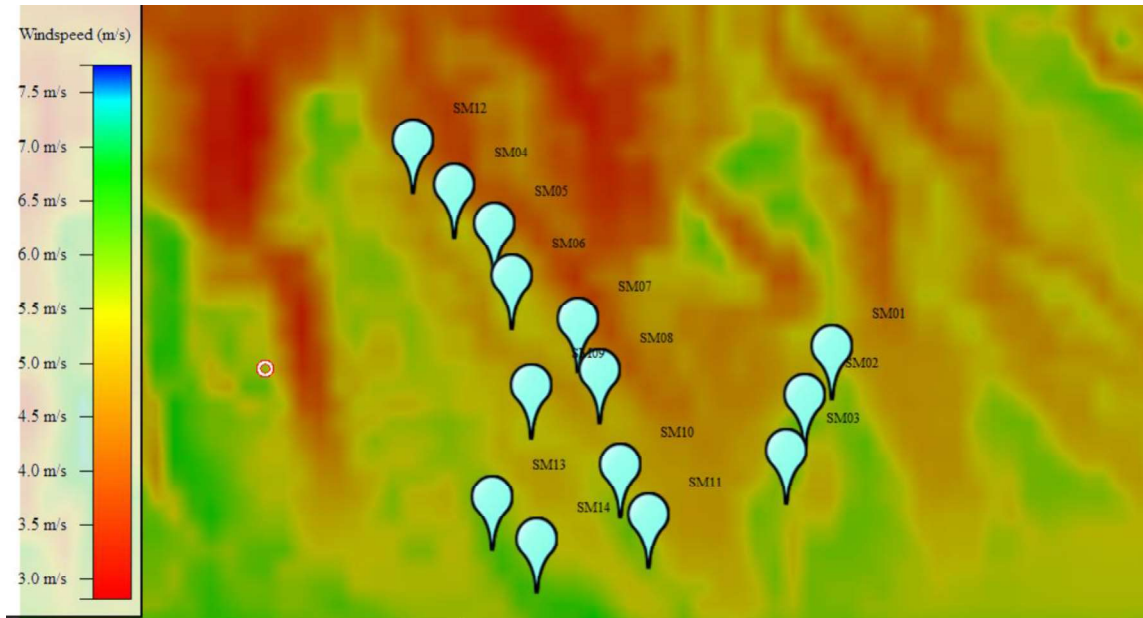
La rugosità del sito è stata definita utilizzando immagini aeree (ortofoto).

In questo caso, le velocità del vento, così come i parametri A e K della distribuzione di Weibull di ogni turbina eolica, sono stati ottenuti con l'aiuto del software WAsP, alimentato dai dati del modello noto come MesoMap (Global Wind Atlas) sviluppato dal World Bank Group e dalla Technical University of Denmark per aiutare gli investitori a identificare potenziali aree di installazione. Si basa sul modello mesoscala Vortex (risoluzione 9km) dai dati di rianalisi ERA. La risoluzione è molto alta (100m).

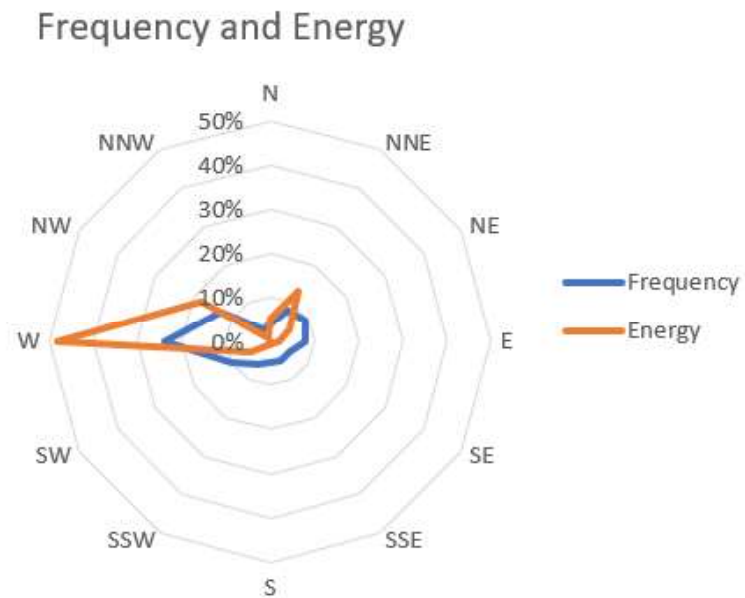
3.2. VELOCITA' DEL VENTO E DIREZIONE:

Il GWA (Global Wind Atlas) prevede una velocità del vento compresa tra i 5.9m/s e i 6.6m/s per l'area del parco in esame, come di seguito rappresentato:

PLT engineering S.R.L. Via Dismano, 1280 47522 Cesena (FC)	WIND RESOURCE ASSESSMENT REPORT	CODICE: SLM_WRA
	PARCO EOLICO “SELLIA MARINA”	FASE: PROGETTAZIONE
		ATTIVITÀ: PROG. DEFINITIVA
		DATA: 15/09/2021
		REVISIONE 00
		PAGINA 7 DI 15



4. Immagine 4. Velocità media del vento nell'area delle WTG



5. Immagine 5. Frequenza e rosa dei venti a 100 m

PLT engineering S.R.L. Via Dismano, 1280 47522 Cesena (FC)	WIND RESOURCE ASSESSMENT REPORT	CODICE: SLM_WRA
	PARCO EOLICO “SELLIA MARINA”	FASE: PROGETTAZIONE
		ATTIVITÀ: PROG. DEFINITIVA
		DATA: 15/09/2021
		REVISIONE 00
		PAGINA 8 DI 15

3.3. DENSITA' DELL'ARIA:

Il calcolo della densità dell'aria del sito è stato fatto con i dati di temperatura “long term” della stazione di riferimento ERA, ottenendo una temperatura “long term” di 15,67 °C.

L'altitudine media delle turbine eoliche situate nel parco eolico di Sellia Marina è di 206 metri. È necessario prendere in considerazione l'altezza del mozzo, in questo caso 126 metri, al fine di regolare completamente la curva di potenza utilizzata. La densità dell'aria calcolata a 126 metri è di 1,171 Kg/m³. Per ottenere questo risultato, è stata utilizzata la seguente formula definita nella norma IEC 61.400-12-1:

$$\rho = \frac{1}{T} \left(\frac{B}{R_0} - \phi P_w \left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_w} \right) \right) \quad (F.1)$$

where

B is the barometric pressure [Pa];

T is the absolute temperature [K];

ϕ is the relative humidity (range 0 to 1);

R_0 is the gas constant of dry air [287,05 J/kgK];

R_w is the gas constant of water vapour [461,5 J/kgK];

P_w is the vapour pressure [Pa].

$$P_w = 0,0000205 \exp(0,0631846 \cdot T) \quad (F.2)$$

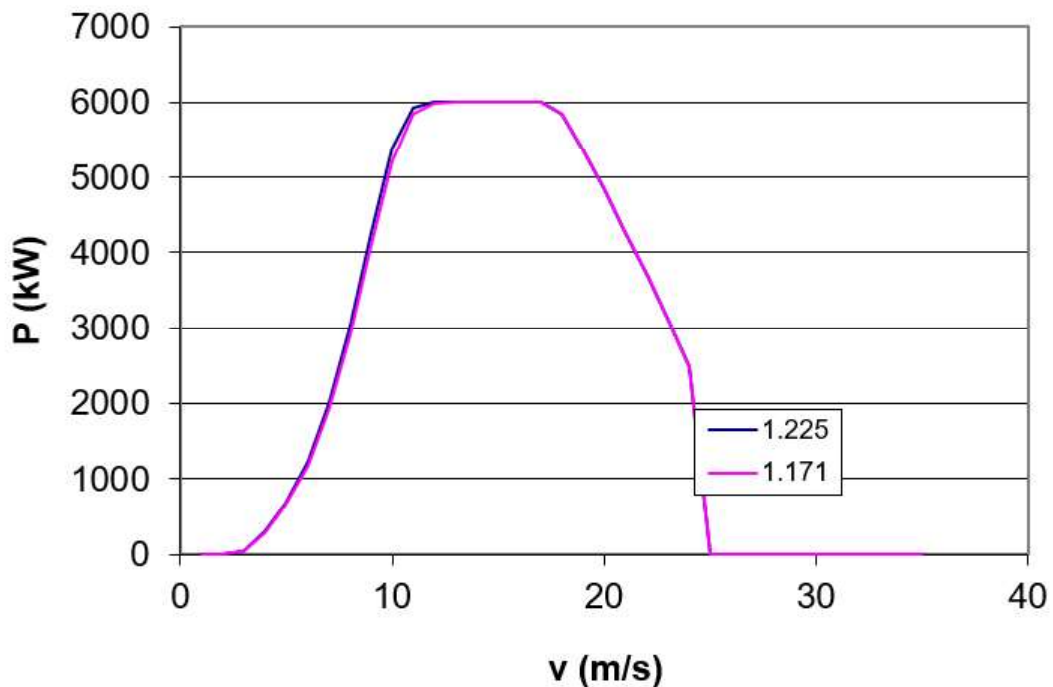
Per calcolare la produzione degli aerogeneratori in questo progetto, è stata eseguita una interpolazione della power curve del costruttore della turbina, in modo da ottenere la power curve della suddetta turbina alla densità media dell'aria del sito.

3.4. CURVA DI POTENZA:

La turbina eolica scelta per il parco eolico di Sellia Marina è il modello Vestas V162 da 6 MW con un rotore di 162 metri e un'altezza al mozzo di 126 metri. Si tratta di una turbina eolica progettata per siti con vento medio-basso.

PLT engineering S.R.L. Via Dismano, 1280 47522 Cesena (FC)	WIND RESOURCE ASSESSMENT REPORT	CODICE: SLM_WRA
	PARCO EOLICO “SELLIA MARINA”	FASE: PROGETTAZIONE
		ATTIVITÀ: PROG. DEFINITIVA
		DATA: 15/09/2021
		REVISIONE 00
		PAGINA 9 DI 15

Il grafico seguente mostra la curva di potenza di detta turbina eolica con una densità di 1,171 kg/m³ e un livello di rumore standard di 104,3 dB(A). Il produttore di turbine eoliche Vestas è un punto di riferimento mondiale nel settore eolico, oltre ad essere uno dei leader nella produzione di turbine eoliche. La solvibilità tecnica di Vestas è garantita dagli anni di esperienza accumulati nel settore.



6. Immagine 6. Valori della Power Curve considerando la densità specifica del sito

3.5. LAYOUT DEL PARCO EOLICO:

La distanza minima tra le turbine è quella tra la SM-04 e la SM-05 che si attesta a 4.7 diametri (761m), prendendo come riferimento l’installazione della turbina V162 da 6 MW.

PLT engineering S.R.L. Via Dismano, 1280 47522 Cesena (FC)	WIND RESOURCE ASSESSMENT REPORT	CODICE: SLM_WRA
	PARCO EOLICO “SELLIA MARINA”	FASE: PROGETTAZIONE
		ATTIVITÀ: PROG. DEFINITIVA
		DATA: 15/09/2021
		REVISIONE 00
		PAGINA 10 DI 15

3.6. PARCHI EOLICI LIMITROFI:

Ci sono parchi eolici vicini (Simeri Crichi e Simeri Mare) nella parte occidentale del parco ma sono ubicate a più di 4 km di distanza. La distanza tra questi e il parco eolico in esame è maggiore di 20D e quindi il loro impatto può essere considerato nullo e scartato in sede di analisi.

4. ENERGY YIELD CALCULATION:

Il calcolo della produzione di energia è stato effettuato con l'aiuto del software di modellazione del vento noto come WAsP. WAsP è un software integrato da diversi modelli fisici e statistici che permette la modellazione orizzontale e verticale del campo del vento in una data area. Per fare questo, utilizza fonti di dati climatici o serie temporali di velocità e direzione del vento fornite da stazioni meteorologiche o qualsiasi altra fonte di dati, come MesoMap (atlante del vento), in questo caso.

WAsP opera a livello di microscala (risoluzione inferiore a 1 km). Utilizza un modello di analisi degli ostacoli, un modello di analisi della rugosità e un modello di analisi orografica, che insieme, dopo essere stati applicati alle diverse posizioni di un parco eolico, permettono la ricostruzione del campo di vento da una distribuzione del vento come quella utilizzata in questa analisi.

Come abbiamo già indicato in precedenza, il calcolo della produzione è stato effettuato dal modello WAsP, utilizzando come dati di ingresso la mappa topografica preparata dal database USGS e la distribuzione di frequenza del nodo (o dei nodi) più vicini al progetto ottenuta dai dati MesoMap di GWA.

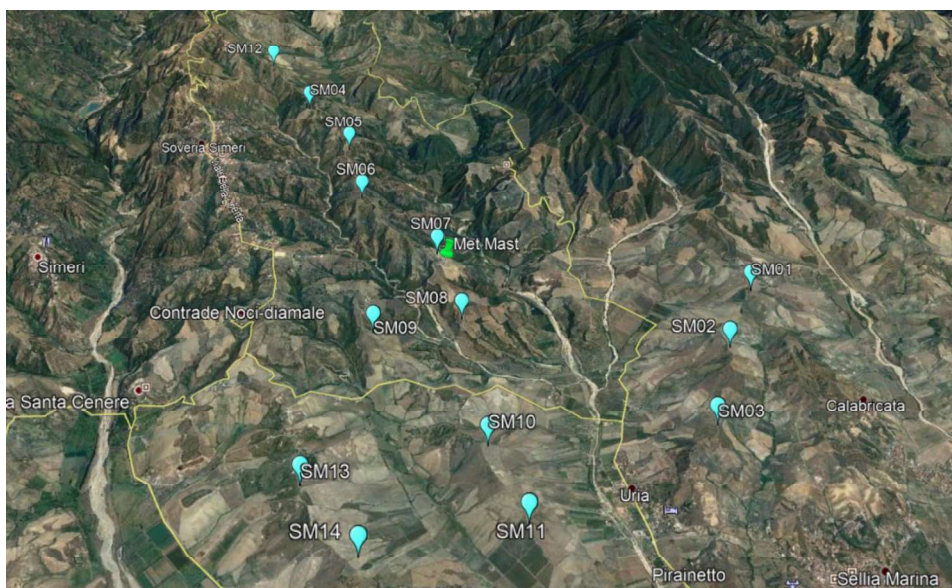
Da questi dati, è stata effettuata una simulazione su microscala per prevedere la risorsa eolica in ciascuna delle posizioni del progetto. Questa simulazione ha due importanti componenti di incertezza:

- La simulazione utilizza come dati di input, una distribuzione del vento derivata da un modello di dati simulati, che presenta incertezze significative, soprattutto in terreni complessi.
- WAsP è stato utilizzato per estrapolare la distribuzione del vento dal nodo più vicino al progetto a ciascuna delle posizioni del progetto, che sono caratterizzate da versanti con pendenze maggiori di 17°.

PLT engineering S.R.L. Via Dismano, 1280 47522 Cesena (FC)	WIND RESOURCE ASSESSMENT REPORT	CODICE: SLM_WRA
	PARCO EOLICO “SELLIA MARINA”	FASE: PROGETTAZIONE
		ATTIVITÀ: PROG. DEFINITIVA
		DATA: 15/09/2021
		REVISIONE 00
		PAGINA 11 DI 15

Il progetto Sellia Marina si trova in una zona complessa, quindi si raccomanda di procedere con l'installazione di una torre di misurazione per ridurre i valori di incertezza.

Si propone di installare una torre di misurazione di un'altezza di 100 metri alle coordinate UTM WGS84 647914 / 4310998. Tale posizione è rappresentata nella figura seguente in verde:



7. Immagine 7. Posizionamento anemometro parco eolico Sellia Marina

Il wind shear del parco eolico è stato calcolato con le velocità del vento raggiunte a diverse altezze di ogni posizione ed è stata ottenuta una media di 0,16. Questo elemento conferma la complessità del terreno del progetto.

Le perdite per “effetto scia” sono state calcolate utilizzando il modello Park per il calcolo delle perdite di produzione dovute agli effetti di alcune turbine eoliche su altre incluse nel software WAsP.

E' stato aggiunto il 4 % di perdite di indisponibilità che include le perdite di scia, l'indisponibilità contrattuale, la manutenzione e l'indisponibilità della sottostazione.

Le perdite elettriche del parco eolico, compresa l'indisponibilità della rete e le perdite dovute alla trasformazione e alla trasmissione dell'energia, sono stimate intorno al 2% della produzione.

Allo stesso modo, è necessario includere le perdite conosciute come un fattore di adattamento, che

PLT engineering S.R.L. Via Dismano, 1280 47522 Cesena (FC)	WIND RESOURCE ASSESSMENT REPORT	CODICE: SLM_WRA
	PARCO EOLICO “SELLIA MARINA”	FASE: PROGETTAZIONE
		ATTIVITÀ: PROG. DEFINITIVA
		DATA: 15/09/2021
		REVISIONE 00
		PAGINA 12 DI 15

include le perdite di natura ambientale e di prestazioni / funzionamento delle turbine eoliche. Questo fattore include le perdite associate al luogo e alle sue condizioni, come le perdite dovute al ghiaccio/calore, allo sporco delle pale, alla degradazione della curva di potenza, alle perdite dovute all'isteresi, alla turbolenza, all'inclinazione del flusso del vento e a fattori occasionali come gli arresti della turbina eolica, ecc. Il suo valore è del 3%.

Di conseguenza, è raccomandabile che in una seconda fase il produttore analizzi il sito e definisca un'analisi di idoneità del sito per evitare qualsiasi rischio di integrità della turbina eolica.

5. RISULTATI:

Oltre alle perdite intrinseche di scia, un certo numero di fattori di perdita sono stati considerati nel tentativo di tenere conto di tutte le potenziali fonti di perdita di produzione, utilizzando valori standard di mercato.

Unavailability	Contract Unavail.	3.00%
	Maintenance Unavail.	0.50%
	Subst. & HVL Unavail.	0.50%
	Untwisting Losses	0.10%
WT Performance	Hysteresis Losses	2.00%
	Drive Train Degradation	1.00%
	Site Specific Power Curve	
	WT Blockage Effect Losses	1.00%
Environmental	Big WF Blockage Effect Losses	
	Temp. Losses	
	Ice Losses	
Curtailment	Shadow Losses	
	Bats Losses	
	Shut down Losses	
Electrical Losses		2.00%
Total Losses		9.70%

Tabella 1. Perdite applicate alla produzione lorda

PLT engineering S.R.L. Via Dismano, 1280 47522 Cesena (FC)	WIND RESOURCE ASSESSMENT REPORT		CODICE: SLM_WRA
	PARCO EOLICO “SELLIA MARINA”		FASE: PROGETTAZIONE
			ATTIVITÀ: PROG. DEFINITIVA
			DATA: 15/09/2021
			REVISIONE 00
		PAGINA 13 DI 15	

WTG	X (m)	Y (m)	Elevation (m)	WSp (m/s)	WASP Yield (MWh/yr)	Wake Losses (%)	Gross Yield (MWh/yr)	Net Yield (MWh/yr)	NEH
SM01	650872	4310755	184.3	6.00	16157	2.58	15740	14214	2369
SM02	650569	4310007	175.7	6.39	18225	3.65	17560	15857	2643
SM03	650358	4309172	135.3	6.28	18108	3.71	17436	15746	2624
SM04	646332	4313138	355.9	5.81	15826	0.91	15682	14161	2360
SM05	646827	4312561	299.4	5.72	15659	1.62	15405	13912	2319
SM06	647046	4311766	286.6	5.78	15808	0.73	15693	14171	2362
SM07	647847	4311126	206.5	5.41	14409	2.79	14007	12649	2108
SM08	648117	4310353	145.5	5.78	16435	3.48	15863	14325	2387
SM09	647307	4310106	167	6.08	17771	1.49	17506	15809	2635
SM10	648392	4308906	124	6.05	17373	2.08	17012	15362	2560
SM11	648735	4308159	105.3	6.07	17496	3.35	16910	15270	2545
SM12	645832	4313819	398	5.19	12669	0.42	12616	11393	1899
SM13	646879	4308381	152.9	6.57	19436	1.08	19226	17362	2894
SM14	647418	4307752	151.4	6.53	19268	1.73	18935	17099	2850
TOTAL					234640		229590	207329	
AVERAGE			206	5.98	16760	2.15%	16399	14809	2468

Tabella 2. Risultati per V162-6.0MW con altezza hub 126m

6. INCERTEZZE:

Nella seguente tabella in questa pagina, è stata tracciata l'analisi dell'incertezza di produzione del parco eolico di Sellia Marina. L'analisi di incertezza ha una parte di incertezza nella velocità del vento, con le variabili che influenzano direttamente il calcolo della velocità e una parte di incertezza nella produzione, con le variabili che influenzano il calcolo dell'energia prodotta.

In questo caso, è stato selezionato un valore di incertezza globale del 15%, che corrisponde principalmente ai seguenti componenti:

- Incertezza del modello GWA MesoMap.
- Incertezza nella modellazione del modello WASP.
- Incertezza della curva di potenza utilizzata.
- Incertezza delle perdite calcolate.

Una volta selezionato il valore di incertezza del 15%, si procede ad ottenere i diversi percentili di produzione, assumendo che la produzione annuale del parco eolico segua una distribuzione normale la cui deviazione standard è uguale alla componente di incertezza precedentemente menzionata. I valori ottenuti sono:

PLT engineering S.R.L. Via Dismano, 1280 47522 Cesena (FC)	WIND RESOURCE ASSESSMENT REPORT		CODICE: SLM_WRA
	PARCO EOLICO “SELLIA MARINA”		FASE: PROGETTAZIONE
			ATTIVITÀ: PROG. DEFINITIVA
			DATA: 15/09/2021
			REVISIONE 00
			PAGINA 14 DI 15

	Probability	Energy (GWh)	Equivalent hours
P50	50%	207.329	2468
P75	75%	186.35	2218
P90	90%	167.47	1994

Tabella 3. Incertezze per il parco eolico di Sellia Marina

7. CONCLUSIONI:

La produzione netta di energia eolica è stata determinata tenendo conto delle perdite dovute al vento del parco eolico, delle perdite elettriche e dell'indisponibilità delle turbine eoliche e della rete elettrica. Inoltre, le perdite operative e ambientali sono state prese in considerazione all'interno del concetto di fattore di adattamento.

È stata presa in considerazione una correzione della densità della curva di potenza, per adattarla alle condizioni del sito. Per questa correzione, è stata inclusa l'altezza del mozzo delle turbine eoliche, in modo che la produzione stimata corrisponda all'altezza assoluta del mozzo delle macchine.

È stata realizzata un'analisi grafica completa dell'ambiente geografico del parco eolico per avere un'idea del grado di complessità del terreno che circonda il progetto. Sono stati studiati i pendii intorno al parco eolico.

Come risultato di tutte queste analisi, la produzione netta risultante dal parco di Sellia Marina è di 207,329 GWh all'anno, o 2468 ore equivalenti.

Un'analisi delle incertezze è stata anche condotta per calcolare i percentili delle diverse produzioni annuali per il progetto. Per questo, è stato stimato un valore di incertezza nella produzione del 15%.

L'incertezza associata ai calcoli energetici basati su dati simulati è medio-alta, quindi si raccomanda di procedere con l'installazione di una torre di misurazione nella posizione suggerita in modo da diminuire il valore di incertezza della stima di producibilità. Si propone di installare una torre di misurazione di 100 metri alle coordinate UTM WGS84 647914 / 4310998 e di correlare i dati misurati con quelli provenienti dell'impianto limitrofo situato a Simeri.

PLT engineering S.R.L. Via Dismano, 1280 47522 Cesena (FC)	WIND RESOURCE ASSESSMENT REPORT	CODICE: SLM_WRA
		FASE: PROGETTAZIONE
	PARCO EOLICO “SELLIA MARINA”	ATTIVITÀ: PROG. DEFINITIVA
		DATA: 15/09/2021
		REVISIONE 00
		PAGINA 15 DI 15

Una volta completata la campagna di misurazione sarà possibile anche valutare il modello di turbina eolica ottimale per il progetto.