



REGIONE  
SICILIA



PROVINCIA DI  
AGRIGENTO



COMUNE DI  
NARO



COMUNE DI  
LICATA

**PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO  
COMPOSTO DA 12 AEROGENERATORI DA 6.0 MW PER UNA POTENZA  
COMPLESSIVA DI 72 MW SITO NEL COMUNE DI NARO (AG)  
CON OPERE DI CONNESSIONE NEI COMUNI DI NARO (AG) E LICATA (AG)**



Proponente



**SIRIO RINNOVABILI S.R.L.**

Largo Augusto n.3  
20122 Milano  
pec:siriorinnovabili@legalmqil.it



Progettazione



Viale Michelangelo, 71  
80129 Napoli  
TEL. 081 579 7998  
mail: tecnico@inesrl.it

Amm. Francesco Di Maso  
Ing. Nicola Galdiero  
Ing. Pasquale Esposito

Collaboratori:  
Ing. R. M. De Lucia  
Dott. G. Giardina  
Dott. Angelo Scuderi  
Eikon servizi per i beni culturali SAS  
Geol. V.E. Iervolino  
SR International Srl  
Arch. C. Gaudiero  
Ing. F. Quarto  
Ing. R. D'Onofrio  
Ing. M. Ciano

Elaborato

Nome Elaborato:

**ANALISI DI PRODUCIBILITA' ATTESA**

00	Ottobre 2023	PRIMA EMISSIONE	INSE Srl	INSE Srl	Sirio Rinnovabili s.r.l.
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione
Scala:	--				
Formato:	<b>A4</b>	Codice Pratica	<b>S314</b>	Codice Elaborato	<b>AS314-SIA15-R</b>



---

**Centrale Eolica di Naro**  
**Stima di Producibilità**

---

**Preparato per:**  
Sirio Rinnovabili Srl – Federica Mallozzi  
Distribuzione a discrezione del Cliente

Report: **23-1029 TN01 Rev A** - Data di Emissione: **12 Ottobre 2023**  
Autore: Davide Medici – [davide.medici@rengenconsulting.com](mailto:davide.medici@rengenconsulting.com)

# Indice

1 Sintesi	2
2 Sito di Naro	3
3 Velocità ad altezza mozzo e campo di moto	8
4 Calcolo della producibilità	11

## Revisioni:

TN01-Rev A 12 Ottobre 2023 - Prima versione

Ogni responsabilità per questo lavoro si intende ai sensi di legge. Il documento deve essere considerato nella totalità dei documenti eventualmente richiamati. Il lavoro è protetto dalle leggi sul copyright e può essere distribuito solo previo accordo scritto tra il Cliente e RenGen Consulting s.a.s.. Non si assume alcuna responsabilità per le informazioni, utilizzo ed i dati utilizzati per il lavoro.

# 1 Sintesi

- **Progetto:** Centrale Eolica di Naro

Posizione	Turbine	Potenza	Altezza Mozzo	Producibilità P50
Naro, Sicilia	12 V162-6.0MW	72.0 MW	119 m	149.2 GWh/annum

Tabella 1.1: Caratteristiche del progetto

- **Scopo del lavoro:** Stima di Producibilità

RenGen Consulting ha elaborato la relazione di producibilità per il sito di Naro, sviluppato da Sirio Rinnovabili Srl. L'area può essere classificata come complessa, con accesso garantito da strade Statali e Provinciali in buone condizioni. Le strade di accesso all'area di parco ed alle turbine dovranno essere significativamente migliorate e realizzate solo nella parte finale del collegamento. Dati sono disponibili dal datatabase WRF+ di EMD per un periodo di 23 anni a partire da gennaio 2000 e forniscono le necessarie informazioni di velocità, direzione, turbolenza e shear nell'area in oggetto utilizzate per poter redigere la stima di producibilità. La direzione principale del vento è nord ed ovest, anche se non marcatamente, ed in quest'ottica sono state posizionate le turbine eoliche proposte dal progetto per poterne aumentare l'efficienza.

## 2 Sito di Naro

Il Comune di Naro è in provincia di Agrigento, come mostrato in Fig 2.1. Il terreno su cui è proposta la centrale eolica può essere definito complesso, con uno sviluppo essenzialmente posizionato sui numerosi rilievi secondari e lievi pendii, come si evince dalla Fig 2.2 in cui le zone colorate identificano le pendenze oltre i 17 gradi. A circa 2,400 m ad ovest e 1,400 m a nordest dalla Turbina N06 si possono osservare due turbine di piccola taglia, verosimilmente due Northern Power da 27 m di diametro ed altezza mozzo di 37 m. Alla luce della distanza, dei rispettivi diametri e della differenza tra le altezze del mozzo delle turbine esistenti e di quelle proposte in questo studio, si ritiene ragionevole escludere l'effetto delle Northern Power dalla stima di producibilità. Le posizioni delle turbine considerate per questo sviluppo sono mostrate in Fig 2.3 ed in Fig 2.4 con i punti di vista delle immagini sulla zona. Come si vede in Fig 2.5, che rappresenta la tipica visuale nella zona, il terreno è adibito a coltivazioni e serre con solo piccole aree boschive o adibite a vigneto. Nella zona sono state osservate alcune aziende agricole e rare abitazioni sparse sul territorio, la cui presenza non è considerata in questa stima di producibilità. Altre immagini della zona attualmente proposta per lo sviluppo sono mostrate in Fig 2.6 e Fig 2.7.

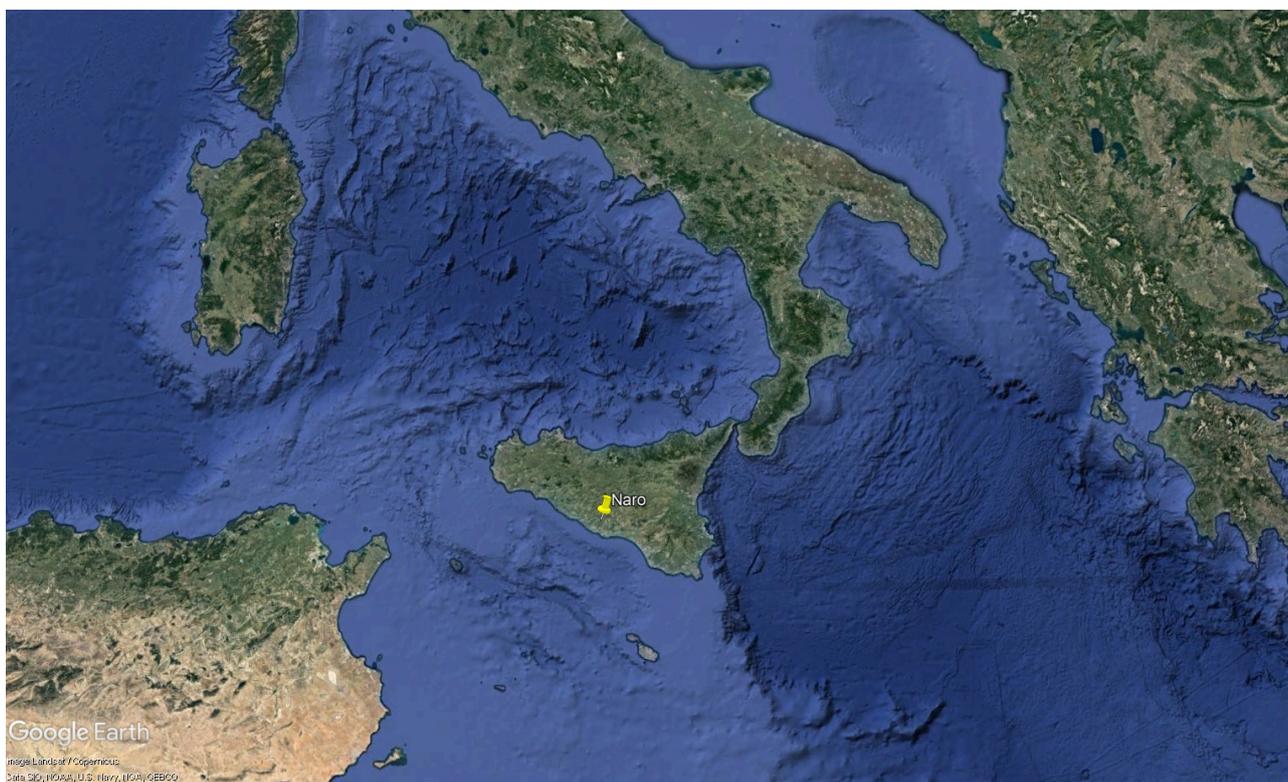


Figura 2.1: Naro

La Strada Statale SS123 si trova in prossimità del sito ad est. La viabilità interna è garantita da strade secondarie asfaltate e sterrate che dovranno essere anche significativamente migliorate per permettere il passaggio delle attrezzature e delle turbine. Le strade di accesso alle piazzole dovranno essere costruite come parte integrante del progetto, tuttavia non si ritiene che l'accesso al sito sia problematico.

Le posizioni delle turbine eoliche sono riportate in Tabella 2.1. La distanza minima tra le Turbine N08 e N12 è pari a 706 m nella direttrice nordest-sudovest, che non è una delle direzioni

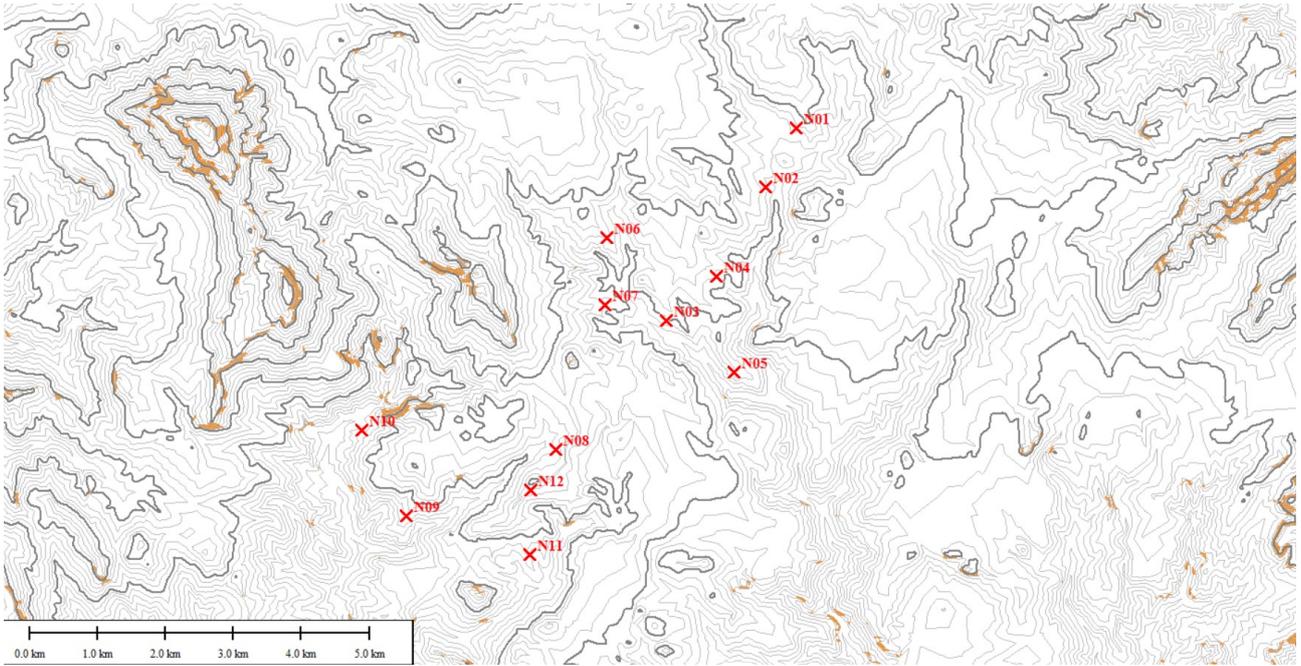


Figura 2.2: Turbine e curve di livello della centrale eolica di Naro, con pendenze oltre i 17 gradi in arancio

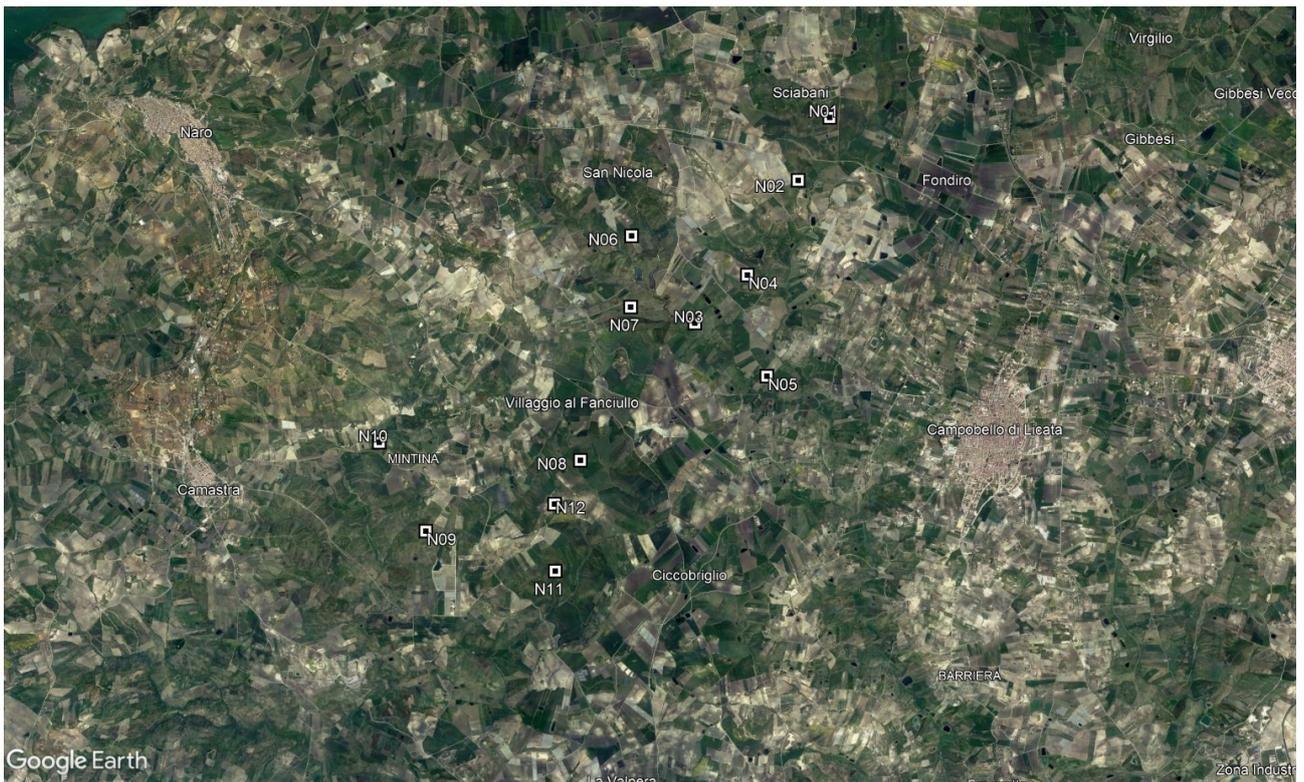


Figura 2.3: Posizione delle turbine eoliche

principali. Questo equivale, considerando un diametro  $D$  di 162 m ad una distanza di  $4.4D$ . Si fa notare inoltre come le basse perdite di scia, evidenziate nei capitoli successivi, permettono di considerare il layout come ottimizzato per il sito in funzione delle distanze tra le turbine.



Figura 2.4: Posizione delle turbine eoliche e dei punti VP1-VP2-VP3 da cui sono prese le foto dell'area



Figura 2.5: Foto dalla posizione VP2 in direzione est, verso le Turbine N07 e N03



Figura 2.6: Foto dalla posizione VP1 in direzione sudest, verso le Turbine N08 e N12



Figura 2.7: Foto dalla posizione VP3 in direzione sudovest, verso le Turbine N01 e N02

Tabella 2.1: Coordinate delle turbine eoliche, UTM WGS1984 Datum, Zone 33S

<b>Descrizione</b>	<b>Est [m]</b>	<b>Nord [m]</b>
N01	401784	4128545
N02	401332	4127670
N03	399870	4125696
N04	400611	4126358
N05	400872	4124939
N06	399000	4126919
N07	398974	4125927
N08	398250	4123794
N09	396058	4122815
N10	395399	4124070
N11	397870	4122232
N12	397885	4123190

### 3 Velocità ad altezza mozzo e campo di moto

In questa fase la distribuzione di frequenza della velocità e direzione del vento al sito in esame a 119 m è stata ottenuta con i dati di Rianalisi WRF+ di EMD International. Questi dati sono stati analizzati ad altezza mozzo su base 60 minuti a 119 m di quota dal terreno, partendo da quelle disponibili dai 2 m ai 300 m, ed ovviamente criticamente utilizzati con l'esperienza maturata dal Consulente nell'area proposta per lo sviluppo eolico. La metodologia si basa sui dati ERA5, che hanno come dati di input valori di pressione e temperatura atmosferica e misure al suolo, da radiosonde oppure da satelliti a partire dal 1940. Gli ERA5 utilizzano 137 livelli di valori di pressione e temperatura dai 10 m di quota a circa 80 km di quota per ottenere una serie temporale di parametri atmosferici. Un modello WRF, Weather Research and Forecasting, è applicato ai dati ERA5 e considerato dal 2000 al 2022, con una risoluzione di circa 3 km a livello Europeo onshore ed offshore. Le caratteristiche anemologiche alla quota di 119 m non sono direttamente disponibili nel database, pertanto la serie temporale a 100 m è stata interpolata alla quota mozzo con una legge esponenziale. I coefficienti di interpolazione  $\alpha$  sono stati ottenuti come *best – fit* dei dati a 75 m, 100 m e 150 m dopo una suddivisione in bin di direzione, orari e stagionali. Questa metodologia è considerata ideale perchè la serie temporale EMD-WRF+ di 23 anni con il 100% di disponibilità, permette di avere un elevato numero di dati in ogni bin considerato. I dati sono stati scalati in via precauzionale al 97% del valore fornito da EMD, cioè dall'azienda fornitrice del software WindPro e del database stesso. Nel caso specifico, si ritiene che questo approccio fornisca la miglior stima attualmente possibile del regime anemologico dell'area.

A titolo di esempio ed anticipando la metodologia per la stima del campo di moto sul sito che verrà descritta nel capitolo successivo, si riportano in questo capitolo i risultati per il punto WRF\_CNT ad altezza mozzo. La rispettiva variazione mensile della velocità media dei dati così ottenuti è inclusa in Tabella 3.1. Parimenti la rosa dei venti mostra le componenti principali da nord ed ovest come mostrato in Fig 3.1. La suddivisione in frequenza nei vari *bin* di velocità è invece rappresentata in Fig 3.2 e la distribuzione di velocità e direzione in Tabella 3.2.

Tabella 3.1: Medie mensili della velocità di lungo periodo a 119 m

gennaio	6.9
febbraio	6.9
marzo	6.7
aprile	6.6
maggio	6.1
giugno	5.6
luglio	5.7
agosto	5.4
settembre	5.4
ottobre	5.3
novembre	6.2
dicembre	6.9
Annuale	6.1

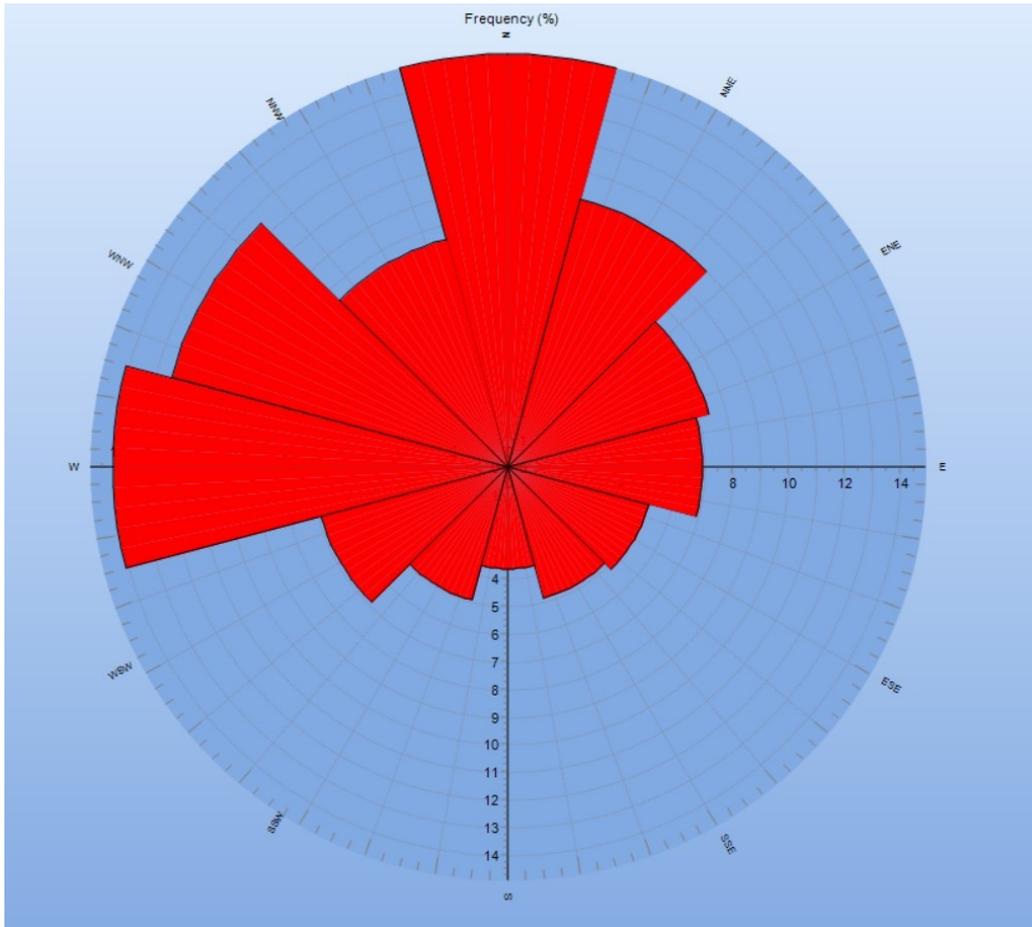


Figura 3.1: Distribuzione in frequenza della velocità del vento di lungo periodo a 119 m

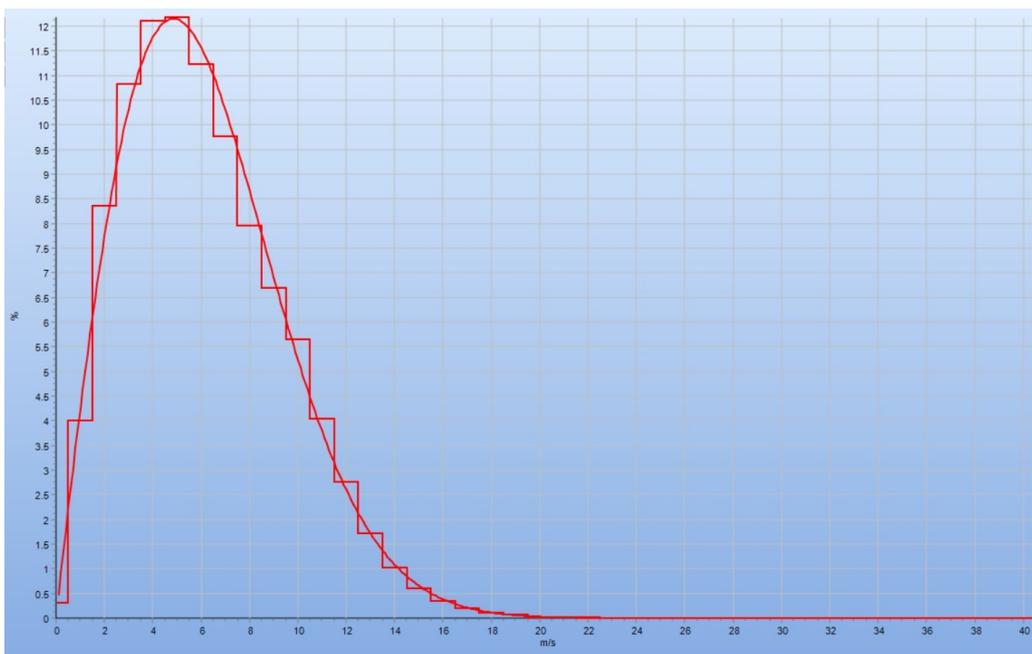


Figura 3.2: Distribuzione in frequenza della velocità del vento di lungo periodo a 119 m

Tabella 3.2: Distribuzione di frequenza della velocità e direzione di lungo periodo a 119 m nella posizione WRF\_CNT

Velocità [m/s]	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	No Dir	Totale [%]
0	1.7	2.9	3.5	4.3	5.9	5.1	5.9	6.2	3.5	1.6	1.9	2.1		0.3
1	28.6	27.2	42.0	65.3	80.3	70.4	81.9	48.2	35.0	18.4	24.6	51.5		4.0
2	73.2	82.1	114.3	126.2	124.5	115.1	125.4	98.6	73.6	37.4	46.1	111.0		8.4
3	87.5	168.7	173.0	131.4	120.2	122.4	146.8	139.1	118.8	57.7	58.7	95.5		10.8
4	78.4	213.8	167.4	118.7	115.2	130.6	176.9	169.3	157.6	81.5	73.5	99.1		12.1
5	78.4	182.4	134.0	103.6	97.8	138.9	172.3	179.4	174.0	106.0	87.5	114.3		12.2
6	85.0	123.9	88.9	83.9	91.2	121.8	124.5	159.2	170.3	126.9	97.9	114.2		11.2
7	94.5	77.8	65.3	71.0	83.2	95.8	61.3	90.9	133.5	132.2	110.4	101.2		9.8
8	94.4	46.4	57.3	67.9	64.4	68.5	31.5	31.7	58.4	123.4	108.8	86.9		7.9
9	103.0	28.6	48.3	59.4	56.0	43.8	16.6	22.8	22.5	99.5	101.0	71.4		6.7
10	99.8	18.6	34.8	57.0	51.1	30.7	20.3	17.1	16.8	76.1	87.0	56.4		5.7
11	72.0	12.1	24.6	41.6	37.7	21.0	14.7	12.9	11.2	50.2	69.7	36.5		4.0
12	47.0	7.4	17.0	28.2	26.8	13.6	9.5	9.9	8.1	33.6	50.5	25.3		2.8
13	27.4	4.2	10.8	16.8	15.9	9.0	4.8	6.9	5.9	22.1	32.8	14.6		1.7
14	14.6	1.8	6.8	10.5	12.6	6.0	1.3	3.7	4.3	13.0	20.8	8.6		1.0
15	6.9	0.7	5.1	6.5	9.3	3.2	3.1	1.1	3.2	8.0	12.5	5.5		0.6
16	3.8	0.7	2.9	3.9	4.4	2.2	1.0	1.2	1.7	5.3	6.8	2.7		0.4
17	2.0	0.3	1.7	1.3	1.6	0.5	0.6	0.7	0.8	3.2	4.7	1.9		0.2
18	1.0	0.2	0.5	1.5	1.0	0.7	0.4	0.7	0.3	1.8	2.1	0.5		0.1
19	0.5	0.1	0.4	0.7	0.5	0.3	0.4	0.1	0.3	1.1	1.7	0.3		0.1
20	0.3	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.6	0.6	0.2		0.0
21	0.1	0.0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3	0.1		0.0
22	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2		0.0
23	0.0	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0		0.0
24	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0		0.0
25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0
26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0
27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0
28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0
29	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0
30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0
30+	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0
Totale	14.9	10.0	7.4	7.0	5.2	4.9	3.7	5.0	6.9	14.1	12.4	8.5		100.0
Velocità media	7.1	4.9	5.3	5.7	5.7	5.2	4.6	4.9	5.3	7.2	7.6	6.0	-	6.1

## 4 Calcolo della producibilità

L'analisi della producibilità non può prescindere dalla stima dell'effetto che le centrali eoliche già operative avranno sulla centrale eolica in esame, tuttavia si ritiene che la presenza di due piccole turbine eoliche avrà un effetto trascurabile sulla produzione della centrale eolica di Naro. L'estensione del sito, circa 8 km in direzione nordest-sudovest, suggerisce che il regime del vento potrebbe variare in modo significativo tra le estremità e non necessariamente in accordo con quanto un modello di simulazione fluidodinamica potrebbe prevedere se inizializzato da una singola posizione. Per tale ragione, si è deciso di utilizzare 4 serie storiche dal database EMD-WRF+ come input per il regime anemologico dell'area, come mostrato in Fig 4.1. Questi punti hanno le coordinate di Tabella 4.1 e vengono utilizzati per mediare sulla distanza ogni punto del campo di moto a livello geostrofico. Di fatto questo significa mediare i dati di input a quota elevata, dove la resistenza del terreno non ha un effetto significativo, per poi scendere a livello del mozzo dove la presenza del terreno e della rugosità sono ovviamente importanti ed il vettore velocità ne risente di conseguenza. Partendo dai dati a 119 m ottenuti in questo modo, scalati in via precauzionale al 97% del valore, ed utilizzando il software di calcolo del flusso aerodinamico WAsP, sono state ottenute le serie storiche ad ogni turbina della centrale eolica dal 2000 al 2022.

Tabella 4.1: Coordinate dei punti EMD-WRF+, UTM WGS1984 Datum, Zone 33S

Descrizione	Est [m]	Nord [m]
WRF_CNT	399628	4124998
WRF_SW	396671	4124866
WRF_NE	402454	4128078
WRF_S	396805	4121919

Il modello utilizza una mappa del terreno che è stata ottenuta da rilievi satellitari TIN Italy, con curve di livello ogni 10 m ed estensione di 10 km in ogni direzione. All'orografia viene aggiunta la rugosità, che per il sito in esame prevede valori di 0.1 m per l'area estesa per la compresenza di terreno agricolo misto a piccoli alberi ed uliveti, valori di 0.3 m per piccoli assembramenti e 0.5 m per i paesi. Tramite il software WindPro si sono ottenuti i valori in Tabella 4.2. Come ragionevole e dato che la centrale eolica si estende su un'area orograficamente complessa nel suo insieme, i valori di velocità mostrano una certa variabilità. Applicando a ciascun dato orario della serie di velocità e direzione storica, così ottenuto per ogni singola turbina eolica, la curva di potenza ed il coefficiente di spinta del modello Vestas V162-6.0MW come riportato in Tabella 4.3 si ottiene la stima della produzione. Il software WindPro stesso calcola poi le perdite dovute all'effetto scia tra le turbine. La turbina eolica ha un diametro di 162 m ed una potenza 6.0MW, e le caratteristiche sono presentate per una densità dell'aria prossima a quella del sito in esame che è stata stimata essere pari a  $1.171\text{kg}/\text{m}^3$  a 306 m sul livello del mare. Le perdite di scia stimate per la centrale eolica sono ragionevoli ed ampiamente entro i valori tipicamente osservati per centrali eoliche in funzione. Si può quindi affermare che il layout di impianto è di fatto ottimizzato.

I risultati di producibilità stimata per la centrale eolica in esame sono presentati in Tabella 4.4. Con Produzione Netta si intende al netto di tutte le perdite. Questi risultati sono al livello P50, cioè valori che hanno una probabilità pari al 50% di essere superati. Le perdite di scia sono state calcolate, mentre altre perdite sono state stimate. Nello specifico si è ipo-

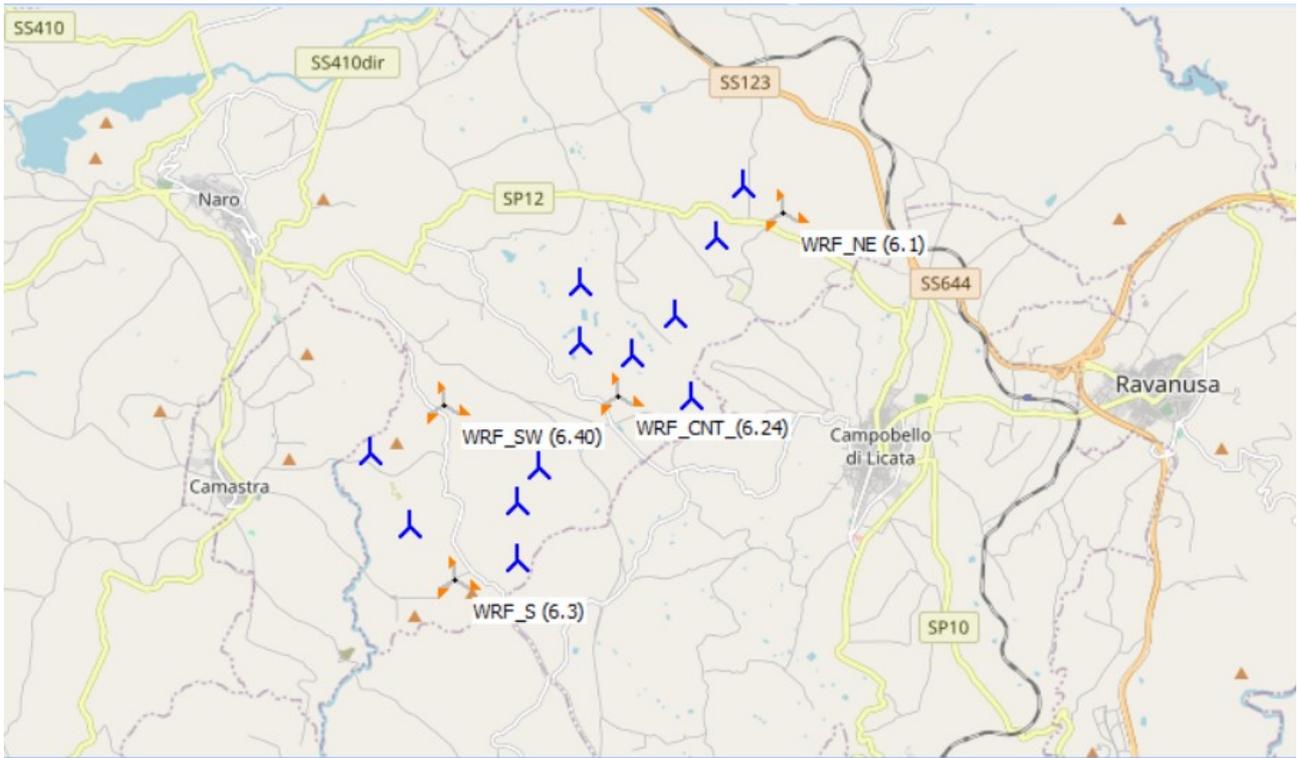


Figura 4.1: Posizione dei dati WRF+ utilizzati nella distribuzione, in riferimento al layout

tizzata una perdita di indisponibilità del 3% per le turbine eoliche, dell'1% per le opere civili ed elettriche, dello 0.2% per la rete, a cui è aggiunta una perdita pari all'1% per l'autoconsumo, ed anche una perdita elettrica di impianto pari allo 2.5% della produzione. Quest'ultima perdita è associata alla perdita di produzione dai morsetti di bassa tensione del generatore, in cui si calcola la curva di potenza, al punto AT di connessione alla rete elettrica. La quota relativamente poco elevata sul livello del mare ha portato alla esclusione della perdita per diminuzione delle prestazioni per ghiaccio, ma inclusione di perdite dovute alle alte temperature dello 0.5% e dello 0.2% per diminuzione delle prestazioni aerodinamiche delle pale nel tempo.

Questa analisi di producibilità è basata su una stima di produzione annuale nei primi 10 anni di funzionamento della centrale eolica. Nella stima non sono incluse perdite per limitazioni alle turbine eoliche.

Tabella 4.2: Parametri stimati alle turbine eoliche ad altezza mozzo di 119 m

<b>Turbina</b>	<b>Velocità media [m/s]</b>	<b>Produzione Netta [GWh/annum]</b>	<b>Perdita di scia [%]</b>
N01	5.64	12.3	1.0
N02	5.57	11.8	2.5
N03	5.67	11.9	6.9
N04	5.70	12.2	4.6
N05	5.79	12.4	6.8
N06	5.73	12.7	2.2
N07	5.64	11.7	6.5
N08	5.89	13.3	3.4
N09	5.88	13.4	2.8
N10	5.35	10.9	1.7
N11	5.74	12.1	7.4
N12	6.19	14.4	4.6

Tabella 4.3: Curva di potenza e coefficiente di spinta per V162-6.0MW a densità di  $1.175\text{kg/m}^3$

<b>Velocità [m/s]</b>	<b>Potenza [kW]</b>	<b>Coeff di spinta</b>
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	28	0.086
4	277	0.357
5	645	0.426
6	1,175	0.449
7	1,916	0.461
8	2,893	0.467
9	4,102	0.465
10	5,233	0.432
11	5,889	0.365
12	5,994	0.286
13	6,000	0.226
14	6,000	0.181
15	6,000	0.147
16	6,000	0.121
17	6,000	0.101
18	5,822	0.082
19	5,341	0.064
20	4,822	0.05
21	4,250	0.038
22	3,672	0.028
23	3,088	0.021
24	2,463	0.015

Tabella 4.4: Centrale Eolica di Naro

<b>Stima della producibilità</b>		
Potenza	72.0	MW
<b>Energia Lorda</b>	<b>169.7</b>	<b>GWh/annum</b>
Perdite di scia	95.7	%
Disponibilità	95.8	%
Efficienza elettrica	96.5	%
Performance delle turbine	100	%
Ambientale	99.3	%
Limitazioni	100.0	%
<b>Perdite totali</b>	<b>88.0</b>	<b>%</b>
<b>Energia Netta</b>	<b>149.2</b>	<b>GWh/annum</b>
Capacity Factor	23.7	%
Ore equivalenti	2,073	ore