



REGIONE
CAMPANIA



PROVINCIA
DI
AVELLINO



COMUNE DI
SAVIGNANO IRPINO



PROVINCIA
DI
BENEVENTO



COMUNE DI
CASTELFRANCO
IN MISCANO



COMUNE DI
ARIANO IRPINO

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DA 34 MW NEL COMUNE DI SAVIGNANO IRPINO (AV) , CON OPERE DI CONNESSIONE IN CASTELFRANCO IN MISCANO (BN) E ARIANO IRPINO (AV)



Proponente	 <p>GIGLIO RINNOVABILI S.R.L. Largo Augusto n.3 20122 Milano pec: gigliorinnovabili@legalmail.it</p>   				
Progettazione	 <p>Viale Michelangelo, 71 80129 Napoli TEL.081 579 7998 mail: tecnico@inesr.it</p> <p>Amm. Francesco Di Maso Ing. Nicola Galdiero Ing. Pasquale Esposito</p> <p>Collaboratori: Geol. V.F. Iervolino Dott.Agr. A. Ianiro Archeol. A.Vella Arch. M. Perillo Arch. C. Gaudiero Ing. F.Quarto Arch. M. Mauro Studio Rinnovabili Srl</p>				
Elaborato	<p>Nome Elaborato:</p> <p style="text-align: center;">ANALISI DI PRODUCIBILITA' ATTESA</p>				
00	Giugno 2022	PRIMA EMISSIONE	INSE Srl	INSE Srl	Giglio rinnovabili s.r.l.
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione
Scala:	-:-				
Formato:	A4				
Codice Pratica	S251		Codice Elaborato	AS251-SIA13-R	



**Centrale Eolica di Savignano Irpino
Stima di Producibilità**

Preparato per:
Giglio Rinnovabili Srl – Ilaria Bonanomi
Distribuzione a discrezione del Cliente

Report: **21-1027 TNo2 Rev A** - Data di Emissione: **11 Luglio 2022**
Autore: Davide Medici – davide.medici@rengenconsulting.com

Indice

1	Sintesi	2
2	Sito di Savignano	3
3	Velocità ad altezza mozzo	7
4	Calcolo della producibilità	10

Revisioni:

TNo2-Rev A 11 Luglio 2022 - 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 Savignano Irpino

Posizione	Turbine	Potenza	Altezza Mozzo	Producibilità P50
Savignano Irpino, Campania	5 N163-6.8MW	34.0 MW	118 m	71.3 GWh/annum

Tabella 1.1: Caratteristiche del progetto

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

RenGen Consulting ha elaborata la relazione di producibilità per il sito di Savignano Irpino, sviluppato da Giglio Rinnovabili Srl. L'area può essere classificata come complessa, con accesso che è garantito da strade Statali e Provinciali in ottime condizioni. Nella stessa zona sono presenti altri sviluppi eolici, costruiti ed autorizzati, che ne sottolineano la vocazione alle rinnovabili. Le direzioni principali del vento sono sudovest e nord-nordest ed in quest'ottica sono state posizionate le turbine eoliche proposte dal progetto, per poterne aumentare l'efficienza.

2 Sito di Savignano

Il comune campano di Savignano è in provincia di Avellino, al confine con la Puglia come in Fig 2.1. Il terreno su cui è proposta la centrale eolica di Savignano può essere definito complesso, con uno sviluppo essenzialmente diviso tra una zona più esposta ad est ed una zona sul fianco del crinale ad ovest. Il crinale è occupato da una centrale eolica già in funzione, pertanto le turbine di progetto sono state ipotizzate a quote leggermente inferiori, come si evince dalla Fig 2.2. Le turbine sono ad una distanza media di oltre 3 km dal centro abitato di Savignano e si inseriscono tra gli sviluppi eolici presenti od autorizzati, come si evince dalla Fig 2.3 e Fig 4.1. Come si vede in Fig 2.4, che rappresenta la tipica visuale nella zona, il terreno è adibito a coltivazioni con solo piccole aree boschive. Nella zona sono state osservate alcune aziende agricole ad est delle Turbine 01 e 02. Altre visuali rappresentative dello sviluppo eolico sono mostrate in Fig 2.5.

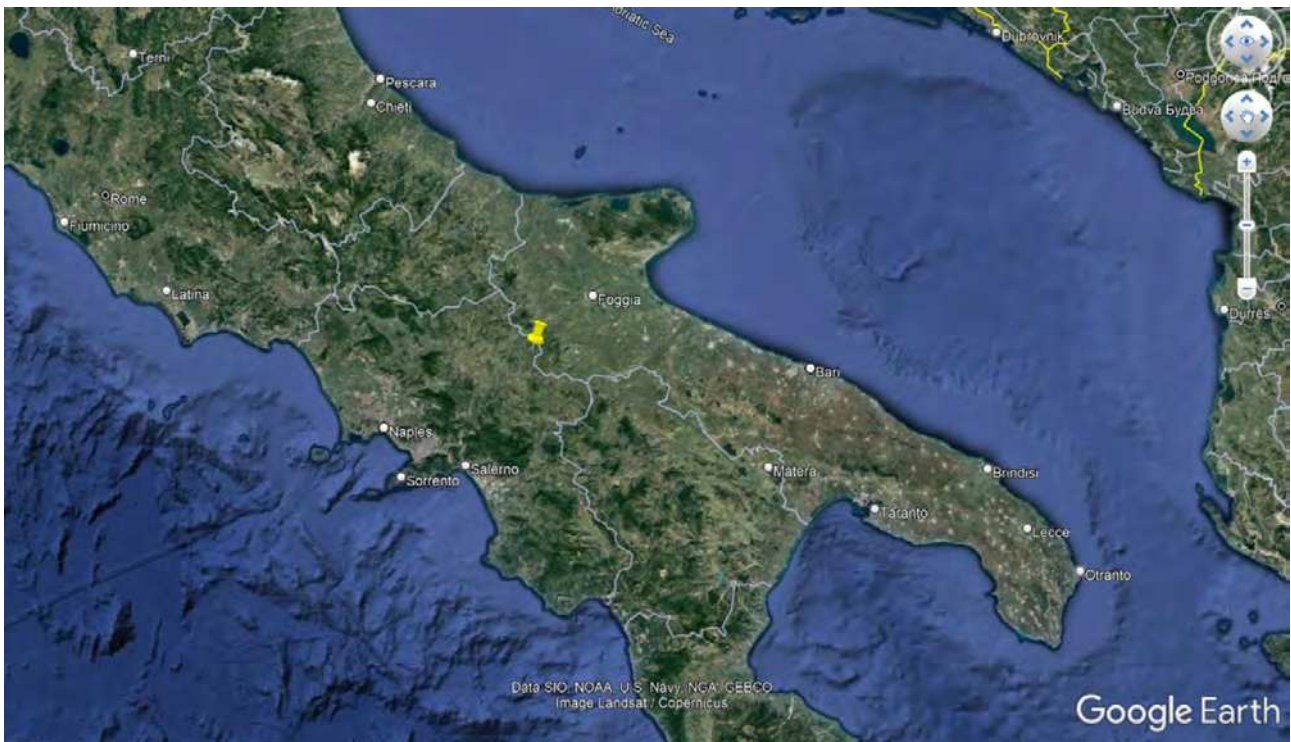


Figura 2.1: Savignano Irpino

La Strada Statale SS90 e Provinciale SP91bis si trovano rispettivamente ad ovest ed al centro del parco. La viabilità interna è garantita da strade secondarie asfaltate e sterrate che dovranno essere migliorate per permettere il passaggio delle attrezzature e delle turbine, tuttavia l'accesso al sito non rappresenta un problema allo sviluppo del progetto anche in funzione degli altri parchi eolici nell'area. Tuttavia le strade di accesso alle piazzole dovranno essere costruite come parte integrante del progetto, specialmente per l'accesso alle Turbine 01 e 02.

Dati anemologici sono stati ottenuti dal database ERA5 da gennaio 2002 a dicembre 2021 e la velocità media ad altezza mozzo è stata selezionata anche sulla base dell'esperienza del Consulente e del Global Wind Atlas. Le posizioni delle turbine eoliche sono riportate in Tabella 2.1. La distanza minima tra le turbine è pari a 442 m in direzione perpendicolare alla direzione principale tra le Turbine 04 e 05. Questo equivale, considerando un diametro D di 163 m ad una distanza di $2.7D$ ed ovviamente dovrà essere verificata dal fornitore delle turbine. Si nota tuttavia come questa distanza sia stata considerata ragionevole per distribuzioni di frequenza simili.

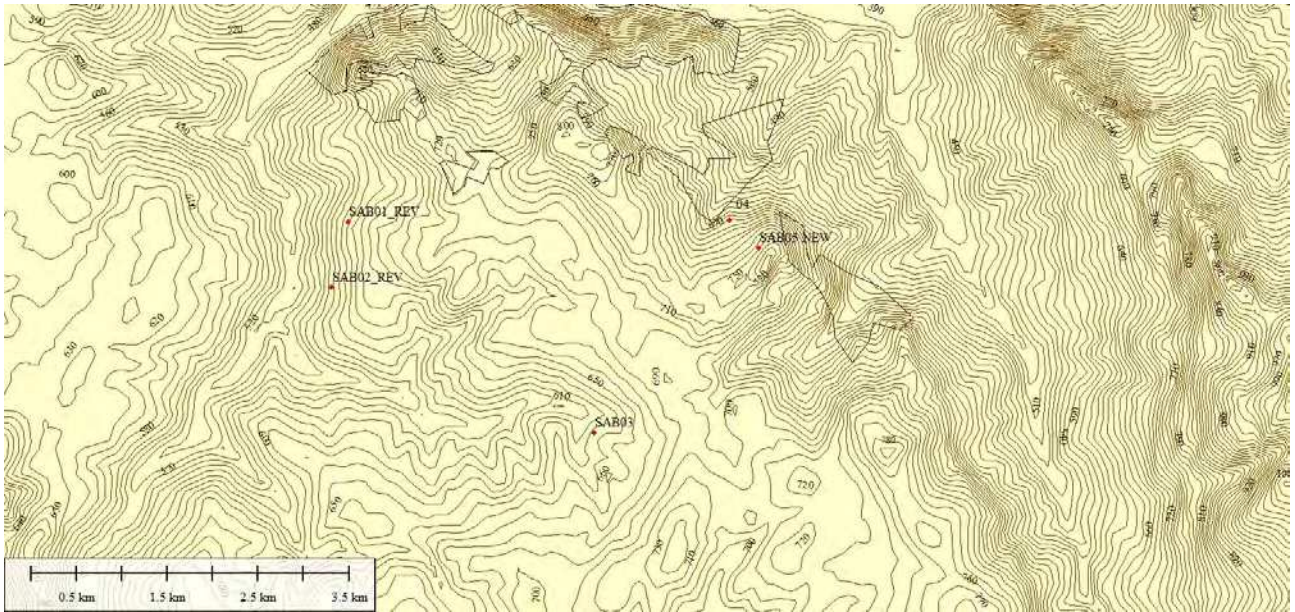


Figura 2.2: Turbine e curve di livello della centrale eolica di Savignano

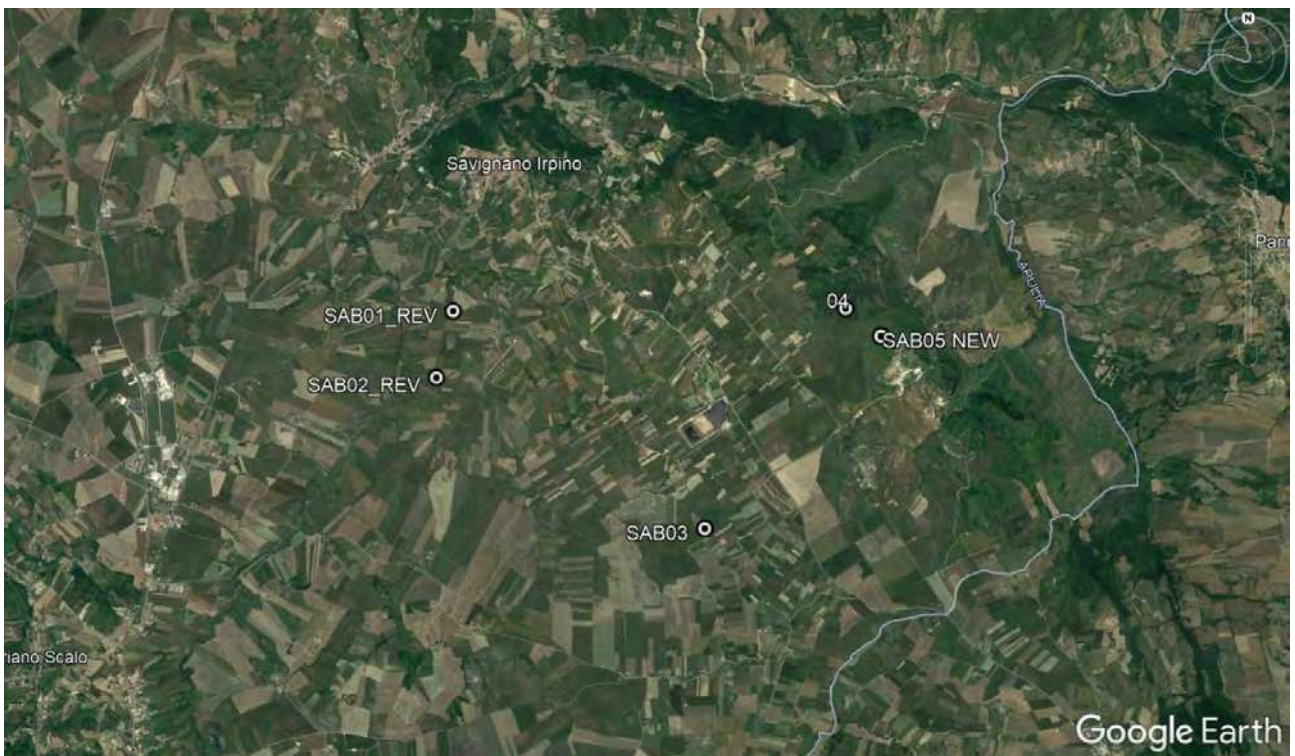


Figura 2.3: Posizione delle turbine eoliche



Figura 2.4: Foto dalla posizione baricentrica dello sviluppo di Savignano in direzione est, verso le Turbine 04 e 05



(a) Vista da nord della Turbina 03



(b) Dalla Turbina 01 in direzione della Turbina 02

Figura 2.5: Visuali della zona interessata dallo sviluppo eolico, entrambi le foto in direzione sud

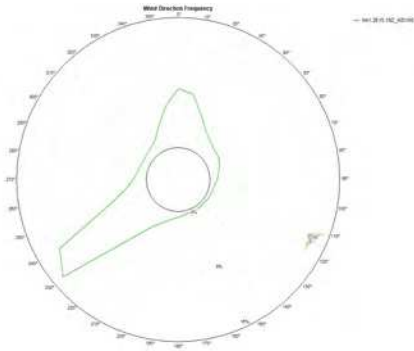
Tabella 2.1: Coordinate delle turbine eoliche, UTM ED1950 Datum, Zone 33T.

Descrizione	Est [m]	Nord [m]
SAB01_REV	514607	4562804
SAB02_REV	514424	4562092
SAB03	517310	4560499
04	518792	4562825
SAB05_NEW	519114	4562523

3 Velocità ad altezza mozzo

In questa fase, la distribuzione di frequenza della velocità e direzione del vento al sito in esame è stata ottenuta dai dati di Rianalisi *ERA5* che sono disponibili con frequenza oraria a 100 m di quota dal terreno, considerando anche il valore ottenuto dal Global Wind Atlas (GWA) tra i 50 m e 150 m di quota, ed ovviamente l'esperienza maturata dal Consulente nell'area proposita per lo sviluppo eolico. Le due metodologie di dati virtuali sono basate su modelli di previsione meteorologica 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. Ad esempio, 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. Nel nostro caso i parametri di interesse sono la velocità e la direzione del vento a 100 m a partire dal 2002. La scelta dell'anno di partenza della serie *ERA5* è arbitraria, tuttavia è ritenuta ragionevole per garantire una certa stabilità della distribuzione di frequenza della velocità e direzione del vento senza potenziali errori dovuti ad esempio a cambiamenti nella metodologia di misura dei dati di input del modello meteorologico. Di fatto si sono utilizzati i dati *ERA5* a partire da gennaio 2002 per evitare che le velocità nei primi anni 2000, che sono considerate eccezionalmente alte, inducano un valore leggermente più alto nella media finale che non è considerato rappresentativo della effettiva velocità media di lungo periodo. L'extrapolazione ad altezza mozzo viene lasciata al modello meteorologico su cui si basa il Global Wind Atlas. Quest'ultimo applica un modello WRF ai dati *ERA5* dal 2008 al 2017, con una risoluzione di 3 km a livello globale ed un'area di applicazione onshore che si estende fino a 200 km dalla costa per la parte offshore. Si considera che una velocità media di lungo periodo pari a 6.0 m/s a 118 m di altezza sia rappresentativa delle condizioni in cui la centrale eolica si troverà ad operare nei prossimi 20 anni. Di fatto, i dati *ERA5* si utilizzano per ottenere la serie temporale oraria, la distribuzione di frequenza e direzione che sono poi scalate al valore medio rappresentativo. Il Global Wind Atlas non solo conferma la distribuzione in frequenza della direzione, ma anche riesce a dare una indicazione sulla velocità attesa delle zone più esposte. La rispettiva variazione mensile della velocità media dei dati così ottenuti è inclusa in Tabella 3.1. Parimenti la rosa dei venti è tipica con le componenti principali da sudovest e nord-nord-est come mostrato in Fig 3.1. La suddivisione in frequenza nei vari *bin* di velocità è invece rappresentata in Fig 3.2. Applicando ai dati *ERA5* l'aggiustamento al valore di lungo periodo, si ottiene la distribuzione di velocità e direzione in Tabella 3.2 che è stata posizionata in un punto baricentrico della centrale eolica in sviluppo. Ulteriori informazioni sui dati di Rianalisi si possono ottenere ai seguenti link:

- <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation>
- <https://globalwindatlas.info/about/method>



(a) Rosa dei venti, ERA5



(b) Rosa dei venti, GWA

Figura 3.1: Distribuzione in frequenza della direzione del vento

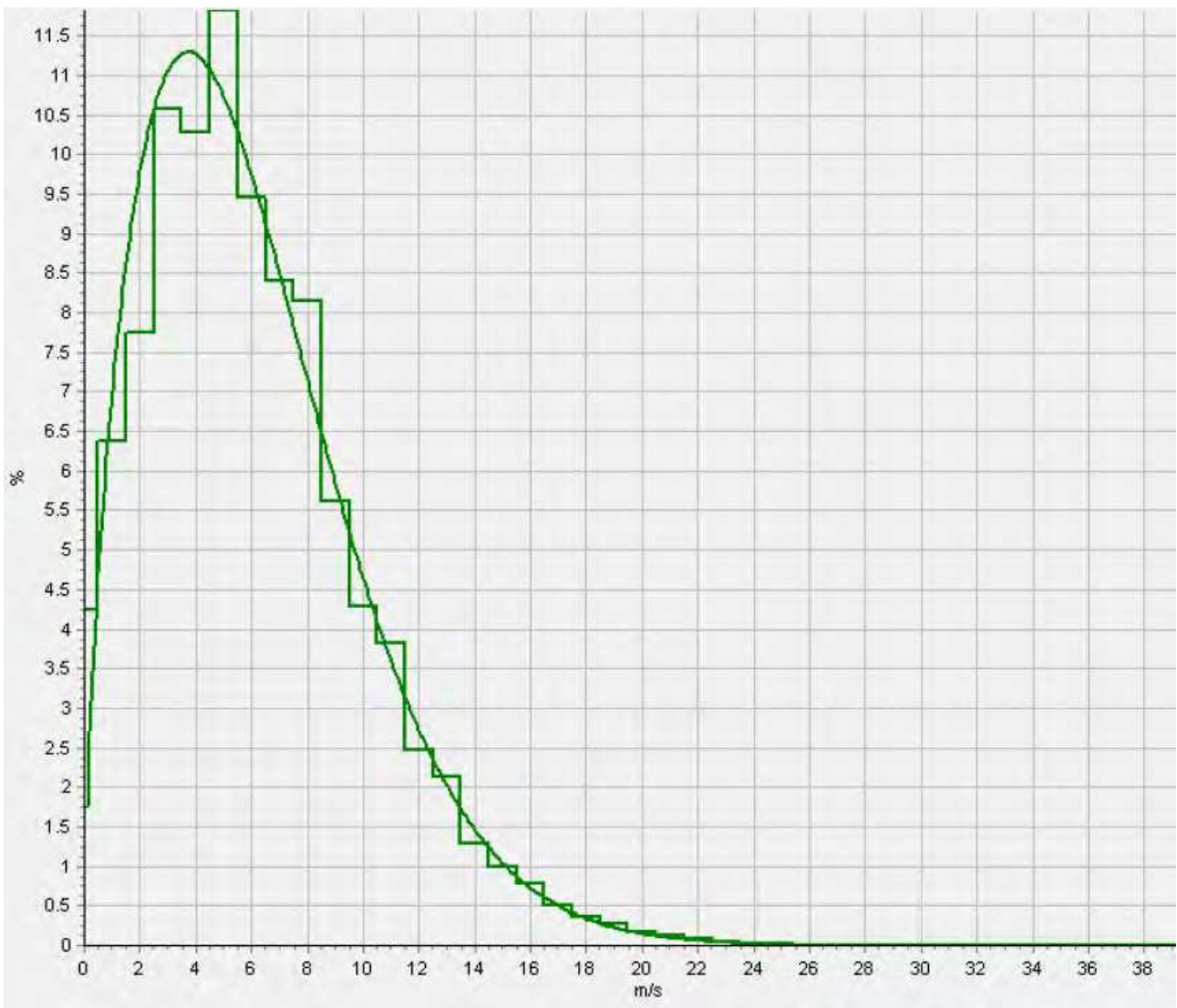


Figura 3.2: Distribuzione in frequenza della velocità del vento di lungo periodo a 118 m, nel punto baricentrico allo sviluppo eolico

Tabella 3.1: Medie mensili della velocità di lungo periodo a 118 m

gennaio	6.8
febbraio	7.1
marzo	7.1
aprile	6.1
maggio	6.1
giugno	5.3
luglio	5.2
agosto	5.0
settembre	5.4
ottobre	5.4
novembre	5.8
dicembre	6.6
Annuale	6.0

Tabella 3.2: Distribuzione di frequenza della velocità baricentrica al sito a 118 m.

Velocità [m/s]	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	No Direction	Total [%]
0	16.2	17.5	79.0	162.8	242.1	179.3	84.9	20.4	15.9	106.4	118.8	34.4	-	3.9
1	26.5	34.4	121.2	206.9	260.5	282.8	157.2	61.7	49.7	157.3	150.5	68.2	-	7.2
2	34.0	49.3	144.6	170.7	172.4	160.0	136.8	78.8	77.0	181.7	147.9	72.3	-	8.3
3	53.3	92.6	162.8	133.7	114.1	99.5	123.4	94.2	96.6	164.7	138.3	85.3	-	9.7
4	84.4	137.5	163.9	90.3	68.3	70.0	68.0	94.0	120.9	131.8	123.8	96.0	-	10.9
5	121.0	149.5	117.8	76.7	52.3	63.6	54.0	81.4	128.2	101.0	109.0	102.2	-	11.1
6	146.4	148.2	79.2	76.1	34.9	48.8	54.0	62.5	103.7	71.3	80.8	95.6	-	10.1
7	143.6	130.5	48.2	47.4	34.3	31.9	48.0	53.7	88.1	35.8	58.3	80.2	-	8.7
8	124.7	98.2	33.1	24.3	16.3	22.6	55.0	50.4	69.2	21.9	29.0	82.5	-	7.1
9	82.5	57.2	19.7	6.8	3.3	22.8	48.3	60.1	61.3	12.1	18.6	64.9	-	5.6
10	56.4	35.2	15.9	3.4	1.1	8.3	44.9	53.3	48.1	8.2	12.2	65.4	-	4.3
11	38.4	19.7	3.4	0.6	0.0	5.3	31.6	54.7	36.5	3.5	4.9	47.8	-	3.3
12	28.7	11.2	2.7	0.0	0.5	1.2	32.8	48.7	26.9	1.1	4.4	45.5	-	2.6
13	20.0	6.8	3.9	0.3	0.0	1.0	20.2	42.4	20.9	1.7	1.5	28.5	-	2.0
14	11.8	4.3	2.2	0.0	0.0	1.8	11.9	35.2	15.7	0.6	1.1	16.0	-	1.5
15	5.9	2.5	1.2	0.0	0.0	0.0	11.0	26.4	12.4	0.2	0.4	9.2	-	1.1
16	3.2	2.0	0.8	0.0	0.0	1.0	6.6	21.4	9.4	0.5	0.4	4.4	-	0.8
17	1.7	2.0	0.4	0.0	0.0	0.0	4.4	19.3	6.0	0.0	0.3	1.5	-	0.6
18	0.8	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	12.9	4.2	0.2	0.0	0.2	-	0.4
19	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	10.2	2.7	0.0	0.0	0.0	-	0.3
20	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	6.5	2.4	0.0	0.0	0.0	-	0.2
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	5.2	1.7	0.0	0.0	0.0	-	0.1
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	3.5	1.5	0.0	0.0	0.0	-	0.1
23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.5	0.6	0.0	0.0	0.0	-	0.0
24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	-	0.0
26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	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	0.1	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	0.1	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
Total [%]	15.6	15.1	4.2	2.0	1.4	1.6	4.2	20.1	23.7	4.2	2.8	5.2	-	100.0
Mean Speed	6.8	5.8	3.7	2.8	2.1	2.6	5.0	7.6	6.4	3.2	3.5	6.3	-	6.0

4 Calcolo della producibilità

L'analisi della producibilità non può prescindere dalla stima dell'effetto che le centrali eoliche già operative ed autorizzate avranno sulla centrale eolica in esame. Considerando la distribuzione del vento nella zona con direzioni prevalenti da sudovest e nord-nordest, e le distanze relative tra le turbine, il Consulente ritiene che le centrali eoliche mostrate in Figura 4.1 siano responsabili della perdita causata sulla centrale eolica di Savignano Irpino.

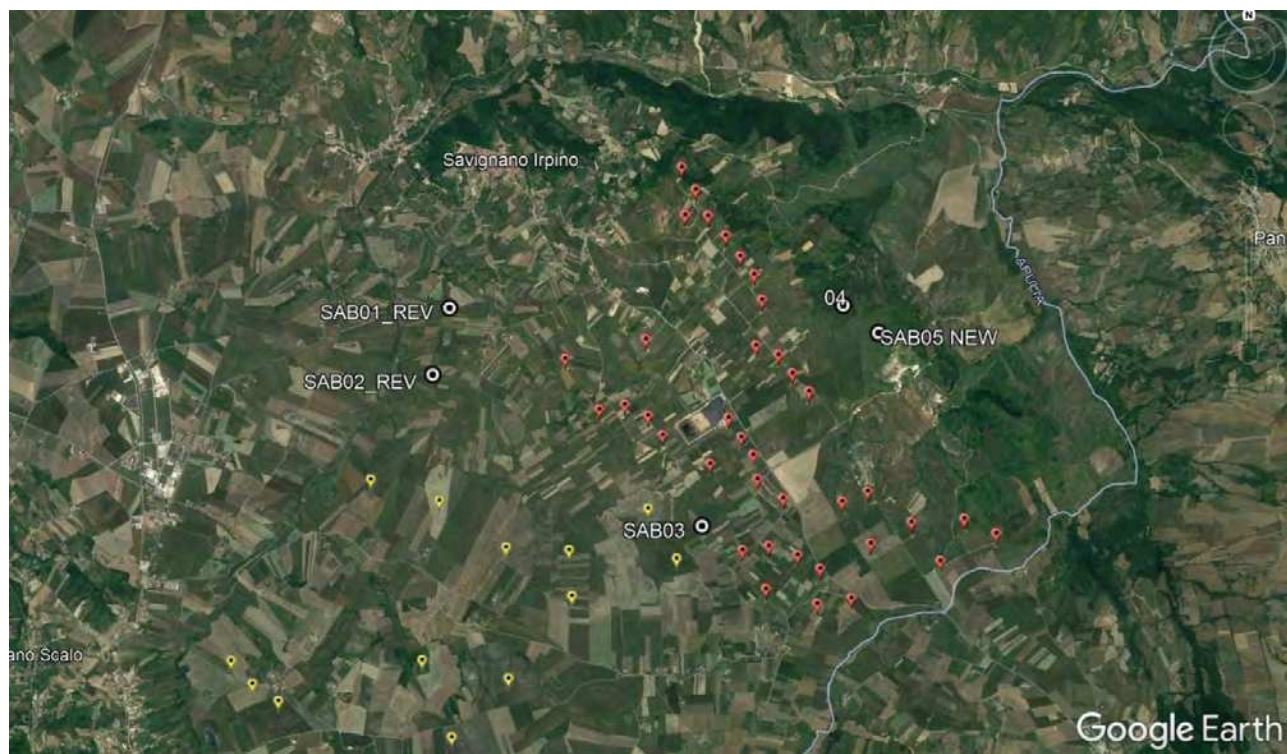


Figura 4.1: Centrali esterne allo sviluppo di Savignano

Partendo dalla distribuzione di velocità e frequenza a 118 m ottenuta dal Consulente ed utilizzando il software di calcolo del flusso aerodinamico WAsP, sono state ottenute le distribuzioni di velocità e frequenza ad ogni turbina della centrale eolica. Il modello utilizza una mappa del terreno che è stata ottenuta da rilievi satellitari SRTM, con curve di livello ogni 10m ed estensione di 10 km in ogni direzione dal centro della centrale eolica. All'orografia viene aggiunta la rugosità, che per il sito in esame prevede valori di 0.03m per terreno agricolo, valori da 0.1m a 0.2m per le basse zone alberate, a seconda dell'altezza degli alberi, e valori di 0.2m per piccoli villaggi. Tramite il software WindFarmer Analyst si sono ottenuti i valori in Tabella 4.1. Come ragionevole è dato che la centrale eolica si estende su un'area orograficamente complessa, i valori di velocità mostrano una certa variabilità. La metodologia del software WAsP prevede che la distribuzione di velocità e frequenza misurata sia approssimata da una curva di Weibull ed infine estrapolata alla posizione delle turbine eoliche. Il software WindFarmer Analyst invece è stato utilizzato con il metodo della associazione, che prevede che la distribuzione di velocità e frequenza sia scalata alla posizione di ognuna delle turbine eoliche con i rapporti di velocità dei 12 settori come ottenuti dalle rispettive curve di Weibull ottente tramite WAsP. Applicando a ciascuna delle distribuzioni di frequenza, così ottenute per ogni singola turbina eolica, la curva di potenza ed il coefficiente di spinta del modello Nordex N163-6.8MW come riportato in Tabella 4.2 si ottiene la stima della produzione. Il software Windfarmer stesso calcola poi le perdite dovute all'effetto scia tra le turbine. La turbina eolica ha un diametro di 163m ed una potenza di 6.8MW, i cui dettagli sono presentati per una densità dell'aria

prossima a quella del sito in esame che è stata stimata essere pari a 1.115 kg/m^3 a 646 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 inoltre 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 4.3. 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 e di isteresi della curva di potenza (pari in realtà allo 0.0%) sono state calcolate, mentre altre perdite sono state stimate. Nello specifico si è ipotizzata 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, ai morsetti di AT di connessione alla rete elettrica. Sono anche state incluse perdite dello 0.5% per manutenzione generica e dello 0.5% per diminuzione nel tempo delle prestazioni dei vari componenti il sistema di trasmissione della coppia dal mozzo al generatore (*drivetrain*). Gli ultimi due fattori, insieme alla isteresi della curva di potenza, sono raggruppati nelle *performance* delle turbine. La quota relativamente poco elevata ha portato alla esclusione della perdita per diminuzione delle prestazioni per ghiaccio, ma inclusione per perdite dovute alle alte temperature dello 0.5%.

Questa analisi di producibilità è basata su una stima di produzione annuale nei primi 10 anni di funzionamento della centrale eolica. Il valore medio P50 rappresenta la producibilità stimata con il 50% di possibilità di essere superata. Nella stima non sono incluse perdite per limitazioni alle *performance* delle turbine eoliche. La perdita dovuta alla presenza delle centrali eoliche in funzione ed autorizzate è pari ad 3.8% della produzione.

Tabella 4.1: Parametri stimati alle turbine eoliche ad altezza mozzo di 118 m.

Turbina	Velocità media [m/s]	Produzione Netta [GWh/annum]	Perdita di scia [%]
SAB01_REV	6.05	14.28	3.2
SAB02_REV	5.71	12.52	6.1
SAB03	5.85	12.33	10.8
04	6.42	15.41	4.7
SAB05_NEW	6.82	16.80	5.3

Tabella 4.2: Curva di potenza e coefficiente di spinta per Nordex N163-6.8MW a densità di $1.125\text{kg}/\text{m}^3$

Velocità [m/s]	Potenza [kW]	Coeff di spinta
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	24	0.87
4	246	0.85
5	598	0.82
6	1094	0.81
7	1774	0.80
8	2674	0.79
9	3781	0.74
10	4906	0.66
11	5883	0.57
12	6460	0.48
13	6737	0.39
14	6800	0.32
15	6800	0.26
16	6800	0.21
17	6800	0.18
18	6800	0.15
19	6800	0.13
20	6800	0.12
21	6331	0.10
22	5794	0.08
23	5270	0.06
24	4760	0.05
25	4264	0.04
26	3774	0.04

Tabella 4.3: Centrale Eolica di Savignano Irpino

Stima della producibilità		
Potenza	34.0	MW
Energia Lorda	83.3	GWh/annum
Perdite di scia	94.1	%
Disponibilità	95.8	%
Efficienza elettrica	96.5	%
Performance delle turbine	98.9	%
Ambientale	99.5	%
Limitazioni	100.0	%
Perdite totali	85.7	%
Energia Netta	71.3	GWh/annum
Capacity Factor	23.9	%
Ore equivalenti	2098	ore