

REGIONE PUGLIA  
CITTÀ METROPOLITANA DI BARI  
COMUNE DI ALTAMURA



Committente: **R2R**  
GRUPPO a2a  
R2R S.r.l. (gruppo a2a)  
Piazza Manifattura n. 1  
38068 - Rovereto (TN)

Titolo del Progetto:

**PARCO EOLICO SERRA DI MELE**

Documento: **PROGETTO DEFINITIVO**

N° Documento: **R2R-WSDM-A3**

ID PROGETTO:	<b>R2R-WSDM</b>	SEZIONE:	<b>C</b>	TIPOLOGIA:	<b>T</b>	FORMATO:	<b>A4</b>
--------------	-----------------	----------	----------	------------	----------	----------	-----------

Elaborato:

**ANALISI DELLA RISORSA ANEMOMETRICA**

FOGLIO:	1 di 28	SCALA:	-	Nome file:	YDUOL75_R2R-WSDM-A3
---------	---------	--------	---	------------	---------------------

A cura di:



Tecnogaia S.r.l.

Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
0	Nov.2023	Prima emissione	CG	CM	R2R

# Impianto eolico "Serra di Mele" nel Comune di Altamura (BA)

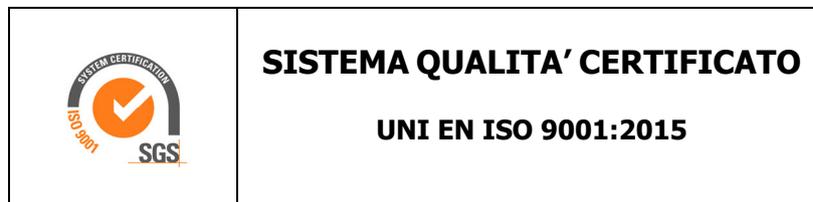
## Regione Puglia

### Analisi dati anemometrici d'area e Valutazione della Produzione Eolica preliminare

CLIENTE	REVISIONE				REDAZIONE
 GRUPPO a2a	N°	MESE	ANNO	LUOGO	C. Gaioni
	00	Novembre	2023	GARDONE VAL TROMPIA	<b>APPROVAZIONE</b> C. Mazzarella
<b>ORDINE RIF.</b>	Accettazione ns. Offerta 171_BS_2023_Rev1 del 11/09/2023				

**IL PRESENTE DOCUMENTO È DESTINATO AD USO ESCLUSIVO  
DEL COMMITTENTE.**

**L'USO IMPROPRIO DA PARTE DI TERZI DI INFORMAZIONI,  
DATI, ELABORATI, IMMAGINI IVI CONTENUTI È SANZIONABILE  
NEI TERMINI DI LEGGE.**



## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>IL SITO</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1</b>	<b>Localizzazione dell'impianto</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>I DATI ANEMOMETRICI</b> .....	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>VALUTAZIONE DELLA VENTOSITA' DI LUNGO PERIODO</b> .....	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>MATERIALE RESO DISPONIBILE DAL COMMITTENTE</b> .....	<b>9</b>
<b>5.1</b>	<b>Aerogeneratore</b> .....	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>MODELLO DI CALCOLO</b> .....	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>AREA DI APPLICAZIONE DEL MODELLO</b> .....	<b>11</b>
<b>8</b>	<b>VERIFICHE SUL MODELLO</b> .....	<b>11</b>
<b>8.1</b>	<b>Verifica dell'approssimazione della curva di Weibull</b> .....	<b>11</b>
<b>8.2</b>	<b>Verifica del gradiente al suolo della velocità del vento</b> .....	<b>12</b>
<b>8.3</b>	<b>Anemometro virtuale</b> .....	<b>13</b>
<b>9</b>	<b>RISULTATI DI WASP</b> .....	<b>16</b>
<b>9.1</b>	<b>Producibilità lorda dell'impianto</b> .....	<b>16</b>
<b>10</b>	<b>PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO AL NETTO DELLE PERDITE</b> .....	<b>17</b>
<b>11</b>	<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>18</b>

- ✓ **Allegato 1: Tavole**
- ✓ **Allegato 2: Brochure aerogeneratore di progetto**

## 1 PREMESSA

La possibilità di utilizzare la fonte eolica per la produzione di energia elettrica è subordinata alla disponibilità di siti con caratteristiche idonee alla realizzazione di impianti. Tali caratteristiche si riassumono nella disponibilità di spazio sufficiente ad ospitare un certo numero di aerogeneratori, nell'accessibilità al sito in relazione al trasporto degli stessi, nella presenza di una rete elettrica capace di assorbire la nuova immissione di energia, nell'assenza di valori ambientali tali da compromettere l'accettabilità pubblica dell'impianto e, soprattutto, in un sufficiente livello di ventosità.

Oggetto del presente studio, realizzato da TecnoGaia per conto di R2R S.r.l., è la caratterizzazione anemologica di un sito e la conseguente valutazione di producibilità (o della produzione attesa) di un impianto eolico, denominato "Serra di Mele", in progetto nel Comune di Altamura, nella Città Metropolitana di Bari, nella Regione Puglia. Detta stima è stata svolta sulla base dei dati anemometrici di una stazione di misura, scelta fra alcune serie disponibili, suffragata da confronti e correlazioni con dati di una serie storica facente riferimento all'area di interesse, a conferma che tale serie di dati, seppur di breve periodo, è compatibile con quella della zona di appartenenza, appartenente allo stesso regime di venti e rappresentativa del sito in oggetto.

In sintesi, l'attività svolta può essere suddivisa nei seguenti processi unitari:

- 1) Analisi, validazione ed elaborazione dei dati anemometrici disponibili, sia appartenenti alla stazione in sito, sia alla serie storica
- 2) Valutazione della ventosità di lungo periodo della serie di dati della stazione in sito mediante confronti con una serie di dati storici
- 3) Predisposizione della distribuzione di ventosità in ingresso al modello di simulazione
- 4) Predisposizione della mappa territoriale in ingresso al modello con curve di livello e rugosità
- 5) Simulazione del campo di vento mediante modello WASP
- 6) Valutazioni della produzione annua attesa dall'impianto, lorda ed al netto delle perdite stimate, mediamente negli anni di suo funzionamento ( $P_{50\%}$ )

Tutta l'attività è stata svolta con approccio e strumenti professionali, secondo quanto previsto dalla metodologia definita all'interno del sistema di certificazione ISO 9001:2015 con cui è accreditata la nostra società. L'applicazione del modello di calcolo WASP è stata effettuata da personale esperto nell'impiego del software fluidodinamico del Risoe National Laboratory di Danimarca, produttore del modello stesso.

## 2 IL SITO

Il sito in oggetto si trova nel Comune di Altamura, nella Città Metropolitana di Bari, nella parte centrale della Regione Puglia.

L'area geografica che lo ospita, nel suo contesto più ampio, è caratterizzata da un'orografia poco complessa e da una rugosità bassa. Nel particolare, il sito destinato ad ospitare l'impianto si colloca all'interno di un'ampia zona pianeggiante, con altitudine di qualche centinaio di metri sopra al livello del mare. Non si rileva alcun rilievo importante e/o altro ostacolo influente per diversi chilometri. La ventosità, sia dal punto di vista della maggiore frequenza, sia da quello relativo all'energia, proviene da Nord/Est.

Per quanto riguarda le caratteristiche orografiche del territorio, le principali informazioni sono:

- Altitudine media: **380 m slm**
- Orografia del sito: **poco complessa**
- Orografia circostante il sito: **poco complessa**
- Utilizzo principale del terreno: **coltivazioni**

Per il sito in oggetto sono state ipotizzate sei postazioni per altrettanti aerogeneratori di grande taglia in punti aventi una buona esposizione; per gli stessi non si riscontrano infatti ostacoli al flusso del vento.

Nelle **Tavole 1 e 2** dell'**Allegato 1** viene riportata l'ubicazione di detto sito su stralcio di cartografia stradale in scala 1:200.000 e su stralcio di cartografia IGMI 1:25.000.

Di seguito viene riportata l'immagine satellitare dell'ubicazione di detto sito.



## 2.1 Localizzazione dell'impianto

Nella tabella sottostante, di dette localizzazioni degli aerogeneratori, coincidenti con le indicazioni di progetto fornite dal Committente, vengono riportate le coordinate, rispettivamente, nei sistemi metrici UTM WGS84 e UTM ED50.

WTG	Comune	Quota (m slm)	COORDINATE UTM WGS84		COORDINATE UTM ED50		Fuso
			Long. E	Latit. N	Long. E	Latit. N	
			S1	Altamura	412.89	624,761	
S2	Altamura	383.25	625,343	4,517,931	625,416	4,518,119	
S3	Altamura	371.40	626,346	4,517,640	626,419	4,517,828	
S4	Altamura	371.80	627,356	4,517,349	627,429	4,517,537	
S5	Altamura	364.78	627,821	4,516,619	627,894	4,516,807	
S6	Altamura	380.33	627,613	4,515,979	627,686	4,516,167	

## 3 I DATI ANEMOMETRICI

Per le valutazioni di producibilità nel seguito descritte sono state preventivamente verificate diverse serie di dati anemometrici di altrettante stazioni ricadenti nell'area, utilizzando poi i dati di una stazione anemometrica denominata Riferimento 1, ricadente nel Comune confinante di Gravina in Puglia, a Sud/Ovest dell'impianto.

Di seguito si riportano in sintesi alcuni dati sulla stazione e sull'elaborazione dei dati raccolti:

Codice	Denominazione	Coordinate WGS84		Quota (s.l.m.) (m)	Altezza (m)	Periodo di misura disponibile	
		Latitudine	Longitudine			Inizio	Fine
<b>RIF1</b>	Riferimento 1	40° 43'	16° 24'	336	15	10/1995	07/1997

La disponibilità dei dati validi, per il periodo di circa 12 mesi preso a campione, risulta essere:

Codice	Denominazione	Durata misura (mesi)	Periodo di misura selezionato		Disponibilità %
			Inizio	Fine	
<b>RIF1_1Y</b>	Riferimento 1	13.1	05/06/1996	09/07/1997	91.0

Non risultando tale serie di durata sufficiente per le stime, neppure nella sua totalità, si è provveduto ad integrare i dati misurati con una serie ventennale di dati contemporanei ERA5, ovvero la quinta release di rianalisi sul clima globale resa disponibile dal centro europeo ECMWF, assumendo che detta serie ricostruisca con lo stesso criterio, nell'intero periodo considerato, il dato di ventosità (il cui valor medio, comunque, non è utilizzabile in valore assoluto ma solo qualitativamente), senza però avere informazioni a confortare tale tesi; i dettagli del punto utilizzato, sono esposti nella tabella seguente:

Codice	Coordinate Geografiche WGS84	Alt. (s.l.m.)	H	Periodo di misura	
		(m)	(m)	Inizio	Fine
<b>ERA5</b>	Lat. 40.75° Long. 16.5°	422	100	Gennaio 1993	Dicembre 2012

A seguito del confronto delle due serie è stato possibile estrarre un dato di vento della stazione anemometrica Riferimento 1 destagionalizzato.

I risultati sintetici dell'elaborazione statistica dei dati della stazione considerata, a seguito anche della sua storicizzazione, come dettagliato nel prossimo capitolo, sono i seguenti:

Codice	Denominazione	Periodo	H misura	V med	Energia	Param. distribuzione	
		(mesi)	s.l.s.	(m/s)	(W/m <sup>2</sup> )	Vc (m/s)	k
<b>RIF1_S</b>	Riferimento 1	13.1	15	5.26	219	5.9	1.65

Il suffisso "\_S" sta ad indicare che i risultati tengono conto della storicizzazione che ha indicato di decrementare il valore misurato del 4.5% circa e considerare il valore risultante come valido nel lungo periodo.

La stazione anemometrica Riferimento 1 si trovava a circa 12 km in direzione Sud/Ovest dal baricentro dell'impianto oggetto dello studio, ad una quota simile a quest'ultimo.

Nonostante la non contenuta distanza dall'impianto di Serra di Mele, che si sviluppa per circa 3 chilometri sulla direttrice Nord/Ovest – Sud/Est, il posizionamento della stazione è favorevole per le stime successive con modello grazie ad una morfologia poco complessa del territorio intercorrente.

## 4 VALUTAZIONE DELLA VENTOSITA' DI LUNGO PERIODO

La valutazione della distribuzione della velocità del vento di lungo periodo in un sito candidato all'installazione di un impianto eolico, o più semplicemente della sua velocità media stimata su più anni, è un punto importante per la caratterizzazione della risorsa eolica con un accettabile grado di incertezza e diventa essenziale quando la disponibilità dei dati è limitata a periodi di tempo contenuti.

Nel nostro caso, per la stazione considerata, si dispongono dati riferibili ad una campagna di misura di circa 2 anni. Tale durata non può comunque essere ritenuta sufficiente per poter considerare la velocità media registrata come quella di lungo periodo, per cui, in questo caso, disponendo di una serie di dati storici relativa ad un punto del territorio avente un regime di vento simile, si preferisce verificare il posizionamento storico del valore di ventosità riscontrato e apportare, se necessario, le dovute correzioni.

La stima della ventosità di lungo periodo (o storicizzazione) può essere effettuata utilizzando i dati di ventosità rilevati per diversi anni da una o più serie storiche e mettendo in correlazione i dati rilevati contemporaneamente dalle stesse con quelli rilevati nel sito in cui si vuole valutare la velocità media di lungo periodo. I punti del territorio a cui fanno riferimento le serie di dati da confrontare devono essere possibilmente nelle medesime condizioni orografiche di esposizioni ai venti ed abbastanza vicini in modo che si possa ipotizzare siano soggetti agli stessi regimi di vento; è comunque possibile, mediante confronti e correlazioni, verificare la validità di queste condizioni. Nel caso specifico, come già detto, si dispone di una serie di dati ventennali di rianalisi. Essa fa riferimento ad un punto geografico posto a circa 9 km rispetto a RIF1, in direzione NE.

In sintesi, la metodologia utilizzata nello studio ha seguito il seguente processo logico:

1. Confronto degli andamenti dei dati contemporanei di velocità media mensile della stazione di "Riferimento 1" e della serie storica "ERA5"
2. Correlazioni tra i dati contemporanei di velocità media mensile della serie di dati disponibili con quelli della serie storica
3. Storicizzazione dei dati della serie di Riferimento 1 con l'utilizzo dei parametri caratteristici della correlazione

Il confronto degli andamenti dei dati contemporanei tra le due serie anemometriche ha dato esito positivo; il coefficiente di correlazione discreto, abbinato alla consistenza del numero di valori correlati, esprime la bontà/validità del procedimento e consente di accettare la correlazione svolta.

I parametri delle rette di regressione tra le medie mensili possono essere utilizzati come fattori di trasformazione della distribuzione del vento da un punto all'altro dell'area. Infatti, tali fattori spiegano, se

pur in modo molto esemplificativo, i fenomeni di accelerazione o decelerazione della vena fluida del vento che scorre su un'area interessata dagli stessi venti.

Utilizzando i parametri della retta di regressione di cui non è condizione il passaggio per lo zero, si può affermare che:

$$\bar{V}_{(SITO, \text{ dati contemporanei})} = a \cdot \bar{V}_{(STORICA, \text{ dati contemporanei})} + b$$

E per analogia che:

$$\bar{V}_{(SITO, \text{ dati storici})} = a \cdot \bar{V}_{(STORICA, \text{ dati storici})} + b$$

Nel caso specifico, utilizzando i parametri  $a$  e  $b$  che appartengono alla retta di regressione delle correlazioni sopra descritte, che minimizza lo scarto quadratico dei residui, si ottiene che la ventosità misurata da Riferimento 1 è superiore, rispetto a quella attesa sul lungo periodo, di circa 4.5 punti percentuali.

Pertanto, la velocità media annua stabile nel tempo di **"Riferimento 1" a 15 m dal suolo**, da utilizzare nelle successive elaborazioni, è pari a **5.26 m/s**.

La rosa dei venti e la distribuzione di Weibull, dedotte dal modello sulla base dei dati storicizzati della stazione Riferimento 1, sono riportate al Capitolo 8.3. Esse si riferiscono all'altezza di mozzo di 115.0 m e ad un punto rappresentativo, per ventosità, altitudine e posizione baricentrica, all'impianto in progetto.

## 5 MATERIALE RESO DISPONIBILE DAL COMMITTENTE

Il materiale reso disponibile dal Committente per la presente valutazione è il seguente:

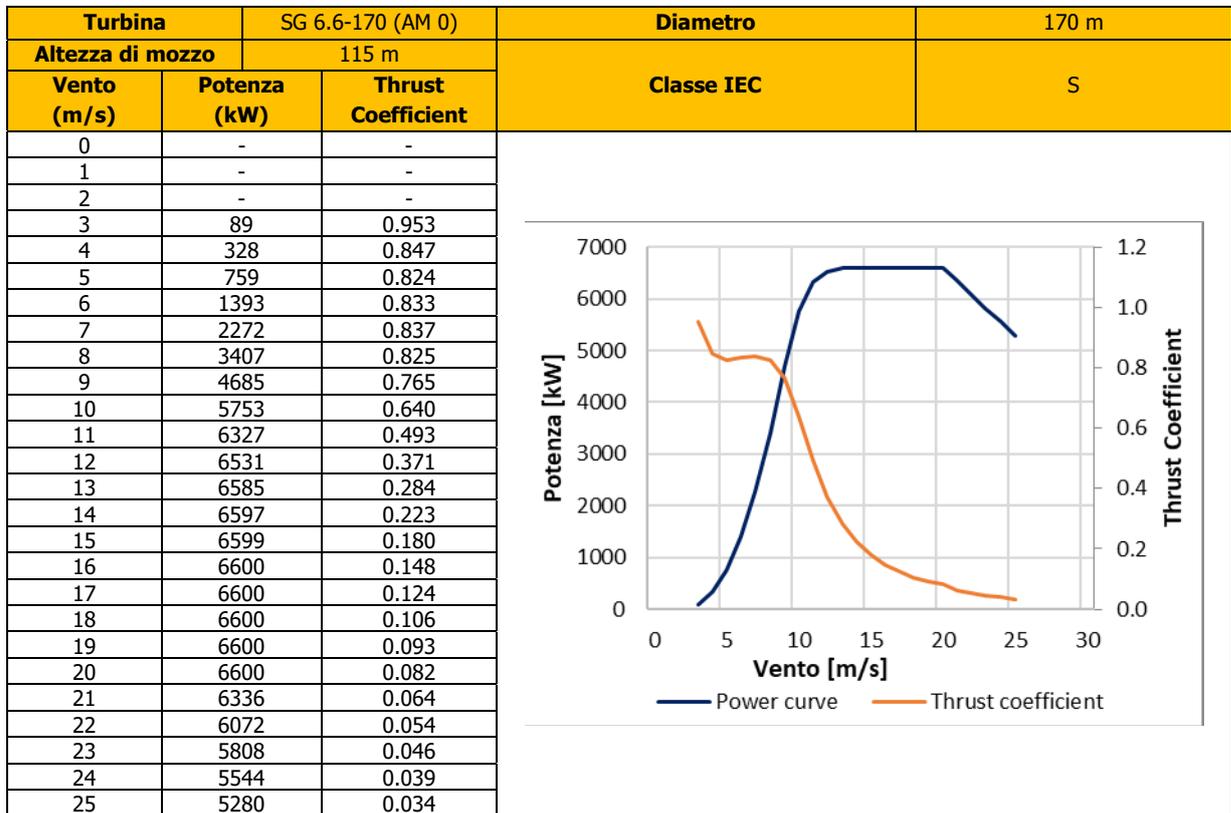
- Localizzazione del sito di prevista installazione delle turbine in progetto
- Caratteristiche del modello di aerogeneratore da impiegare nella valutazione di produzione attesa

### 5.1 Aerogeneratore

Per le valutazioni di producibilità è stato indicato un modello di turbina di grande taglia. Nella tabella sottostante sono riportate alcune sue caratteristiche essenziali:

COSTRUTTORE	MODELLO	MODE	Potenza nominale	Diametro Rotore	H Mozzo	Sorgente curva
SIEMENS GAMESA	SG 6.6-170	AM 0	6.6 MW	170 m	115 m	SGRE

Nel seguito viene rappresentata nel suo sviluppo la curva di potenza calcolata alla densità dell'aria corrispondente alla quota del mare di 0 m (pari a 1.225 kg/m<sup>3</sup>), unitamente alla curva di spinta (Thrust Coefficient) utile alla stima delle interferenze tra gli aerogeneratori.



## 6 MODELLO DI CALCOLO

Il campo di velocità del vento su un sito eolico che consente di stabilire il potenziale energetico disponibile sulla sua superficie può essere dedotto con diverse metodologie. Quella più evoluta e diffusa è realizzata per mezzo di un modello virtuale dell'ambiente dove, all'interno della modellazione statica del territorio, agiscono delle grandezze fisiche dinamiche (il vento) nel tempo osservate. Con l'ausilio di specifici modelli matematici di calcolo è possibile proiettare con buona approssimazione su intere aree geografiche la ventosità scaturita da rilevazioni effettuate anche in punti differenti.

Tutte le elaborazioni, le stime e le valutazioni in seguito descritte sono state effettuate con il codice (o modello) di calcolo WAsP ver. 10.2 (Wind Atlas Analysis and Application Program) messo a punto dal Risoe National Laboratory di Danimarca e basato su un modello matematico del flusso del vento.

A partire dalla posizione spaziale di origine, i dati forniti al modello vengono utilizzati per costruire su tutta l'area di interesse il vento indisturbato in quota, detto anche vento geostrofico o Atlas, che si

ritiene costante per diversi km dal suo punto di origine e che consente di rilevare in punti arbitrari dello spazio tutti i parametri utili alla stima della ventosità. Il campo di velocità del vento fornito dal modello è tridimensionale e ciò consente di disporre in modo naturale anche del profilo della velocità media a varie altezze dal suolo.

## **7 AREA DI APPLICAZIONE DEL MODELLO**

Per conferire sufficiente stabilità al calcolo è necessario disporre di un modello territoriale tridimensionale con superficie più vasta di quella propriamente destinata all'impianto.

In questo caso si è utilizzata una mappa di circa 2000 km<sup>2</sup>, precisamente un rettangolo di 47x43 km, con curve di livello con passo di quota di 10 metri, derivate dal database Tinitaly (modello digitale senza soluzione di continuità [DEM] dell'intero territorio italiano), verificate nei dintorni della stazione e del sito. Per l'intera area si è utilizza la rugosità derivante dal database Corine Land 2018.

## **8 VERIFICHE SUL MODELLO**

Dovendo agire all'interno di un modello virtuale e volendo disporre di risultati analizzabili criticamente, prima di intraprendere qualunque attività di calcolo occorre verificare che i dati offerti al modello abbiano prodotto un ambiente virtuale congruo con la realtà del sito, entro cui poi calare ogni simulazione. Se in questa fase di messa a punto del modello non si riscontreranno incongruenze tali da inficiare l'intero calcolo e/o da costringere a riconsiderare alcune scelte, si potrà procedere ad una valutazione della qualità del processo, utile alla determinazione dell'incertezza inevitabilmente insita nella metodologia utilizzata.

Nello specifico sono state effettuate verifiche sull'approssimazione della distribuzione in ingresso al modello e sul gradiente al suolo, cioè sulla capacità del modello di valutare correttamente le variazioni di velocità del vento al variare dell'altezza dal suolo.

### **8.1 Verifica dell'approssimazione della curva di Weibull**

Il codice di calcolo WASP utilizza la distribuzione di Weibull per rappresentare i dati di vento e definisce il campo di vento indisturbato sull'area (Atlas) con i parametri derivati da tale distribuzione.

In una prima verifica vengono messi a confronto i parametri di velocità e di potenza della vena fluida sperimentali estrapolati (Measured) con la distribuzione di ventosità (Emergent) dedotta dal modello di calcolo.

Nella seconda i parametri sperimentali estrapolati vengono invece messi a confronto con quelli stimati dal modello, comprensivi delle informazioni territoriali, nel punto spaziale dell'anemometro (self prediction), partendo dal campo di vento (Atlas).

Relativamente alla prima verifica, quando le discrepanze risultano elevate denotano la mancata stabilizzazione secondo una lineare distribuzione di Weibull dei dati di vento registrati sul campo e i risultati prodotti da WASP saranno affetti da approssimazione.

Per la valutazione in oggetto la prima verifica è da considerarsi soddisfacente, in quanto non vi è alcuno scostamento tra i parametri dell'energia specifica e uno contenuto tra le ventosità.

Codice stazione	H	-	Unit	Measured	Emergent	Discrepancy (%)
RIF1_S	15 m	Mean wind speed	m/s	5.26	5.22	-0.77
		Mean power density	W/m <sup>2</sup>	219	219	-

Le risultanze della seconda verifica sono anch'esse da considerarsi positive. Infatti, si verificano scostamenti molto contenuti sia sui parametri relativi alla velocità che quelli relativi all'energia specifica.

Codice stazione	H	-	Unit	Measured	Self Prediction	Discrepancy (%)
RIF1_S	15 m	Mean wind speed	m/s	5.26	5.24	+0.38
		Mean power density	W/m <sup>2</sup>	219	220	0.45

Alla luce di quanto emerso e in considerazione di quanto espresso sopra, si può ritenere la verifica più che soddisfacente.

## 8.2 Verifica del gradiente al suolo della velocità del vento

Il gradiente al suolo della velocità del vento (alfa) è il parametro che consente di estrapolare la velocità del vento alle varie altezze dal suolo. La verifica consiste nel determinare l'entità dello scostamento che si riscontra confrontando due valori di velocità all'altezza del mozzo: il primo è quello frutto della stima del modello sulla verticale della stazione anemometrica ed il secondo è frutto dell'estrapolazione della ventosità in ingresso al modello con alfa sperimentale. Più in generale tali valori devono essere congrui con quello atteso nel punto di installazione della turbina in funzione della morfologia del territorio ad essa circostante. In pratica viene valutato l'errore che viene introdotto nella stima di velocità al mozzo usando l'alfa stimato da wasp confrontato con quello sperimentale e/o atteso.

Nel caso specifico, non disponendo di un valore di gradiente misurato per la stazione RIF1, il confronto può essere svolto unicamente tra il valore atteso nella zona di installazione della torre e quanto stimato da WASP nello stesso punto.

Per soddisfare le esigenze descritte, è stata effettuata una simulazione sulla verticale della stazione di Riferimento 1, utilizzando in ingresso al modello i dati della stessa, attraverso il confronto tra i valori di alfa stimati all'altezza di misura e quella del mozzo ipotizzato.

Nella tabella sono esposti i risultati di detta verifica:

Dati in ingresso al modello	Punto di simulazione	Vm (stimata da Wasp) 15 m sls	Vm (stimata da Wasp) 115 m sls
RIF1_S	RIF1	5.26 m/s	7.70 m/s
			Alfa 15-115 m: 0.19

Dalla lettura dei risultati appare probabile una sovrastima del gradiente al suolo nel punto di installazione della stazione anemometrica da parte del modello di calcolo rispetto a quanto ci si dovrebbe attendere sulla base della morfologia. Ci si può verosimilmente attendere invece un valore di alfa di media entità (0.1-0.15).

Per tale motivo, si preferisce non utilizzare le indicazioni emerse con il modello di calcolo e dunque adottare un approccio cautelativo ed estrapolare il valore misurato all'altezza prevista di mozzo con un gradiente di entità inferiore a quanto atteso, del valore di circa 0.08. Questo è il risultato della scelta intrapresa:

Codice	Denominazione	Periodo	H estrapolazione	V med	Energia	Param. distribuzione	
		(mesi)	s.l.s.	(m/s)	(W/m <sup>2</sup> )	Vc (m/s)	k
RIF1_HH115	Riferimento 1	13.1	115	6.23	364	7.0	1.65

### 8.3 Anemometro virtuale

Sulla base dei risultati ottenuti ai paragrafi precedenti con la stazione RIF1, è stata ricostruita una distribuzione del vento in sito di lungo periodo all'altezza dal suolo di 115 m in corrispondenza della posizione dell'aerogeneratore d'impianto **S3** che, come ventosità, altitudine e posizione baricentrica, ben rappresenta l'intero parco eolico.

La figura sottostante riproduce, per l'anemometro virtuale creato in sito, la rosa dei venti in ingresso al modello di calcolo, mentre, di seguito sono riportate le tabelle anemologiche che contengono in dettaglio tutti i parametri in input al modello di calcolo WASP.

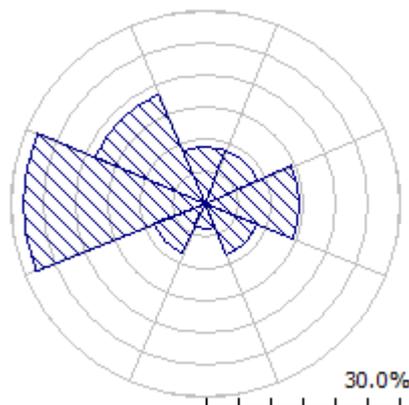
**Nella prima parte della tabella** sono riportati, per ciascuno degli 8 settori di direzione in cui è stato suddiviso l'angolo giro di 360° i seguenti parametri:

- A      velocità caratteristica in m/s della distribuzione di Weibull
- k      fattore di forma della distribuzione di Weibull
- U      velocità media in m/s
- P      potenza specifica della vena fluida in W/m<sup>2</sup>
- f      frequenza percentuale del settore di provenienza del vento

**Nella seconda parte della tabella** sono riportate le distribuzioni delle velocità del vento per settori di direzione, fornite in input al modello. In particolare, le distribuzioni riportano, per ciascuna classe di velocità del vento di 1 m/s (U) e per ciascuno degli 8 settori di direzione, le frequenze espresse in 'per mille' delle velocità del vento comprese nella classe di velocità e nel settore di direzione. La colonna Total riporta la distribuzione delle velocità indipendenti dalle direzioni del vento.

### 'ANEMOMETRO VIRTUALE'- Observed Wind Climate

**Stazione: RIFERIMENTO 1** – Site description: **WTG V05** – Anemometer height: 115 m a.g.l.



	0	45	90	135	180	225	275	315
A	9.2	7.5	4.6	5.7	4.5	4.1	6.7	8.2
K	1.69	1.70	1.32	1.75	1.58	1.08	1.69	2.35
U	8.22	6.70	4.25	5.08	4.04	3.98	5.98	7.28
P	784	421	156	178	102	193	303	389
f	8.8	8.9	14.5	8.5	4.0	8.5	28.2	18.6

U	0	45	90	135	180	225	270	315	All
1.0	23	32	125	46	89	196	39	7	60
2.0	50	68	158	101	154	173	82	29	91
3.0	67	90	151	130	167	141	105	54	105
4.0	77	101	131	138	154	112	115	79	109
5.0	83	104	108	132	129	88	115	100	107
6.0	85	101	86	117	100	68	107	113	100
7.0	83	94	66	96	73	53	95	117	89
8.0	79	83	50	75	50	41	81	113	77
9.0	72	72	37	56	33	31	67	101	64
10.0	65	60	27	39	21	24	53	85	52
11.0	58	49	19	27	13	18	41	67	40
12.0	50	39	14	17	7	14	30	50	30
13.0	42	30	9	11	4	10	22	34	22
14.0	35	23	6	6	2	8	16	22	16
15.0	29	17	4	4	1	6	11	14	11
16.0	24	12	3	2	1	4	7	8	8
17.0	19	9	2	1	0	3	5	4	5
18.0	15	6	1	1	0	2	3	2	4
19.0	11	4	1	0	0	2	2	1	2
20.0	9	3	1	0	0	1	1	0	2
21.0	7	2	0	0	0	1	1	0	1
22.0	5	1	0	0	0	1	0	0	1
23.0	4	1	0	0	0	1	0	0	1
24.0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
26.0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
27.0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
28.0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
29.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## 9 RISULTATI DI WASP

I risultati ottenuti con l'applicazione del modello di calcolo WASP sono soggetti ad elaborazioni grafiche e numeriche per renderli più espliciti al Committente e per consentire le correzioni di tutte le approssimazioni introdotte dal modello di calcolo.

### 9.1 Producibilità lorda dell'impianto

Nel seguito si riportano i risultati della simulazione svolta:

<b>IMPIANTO EOLICO "SERRA DI MELE" NEL COMUNE DI ALTAMURA (BA)</b>									
<b>Stazione di riferimento</b>				<b>RIF1_HH115</b>					
<b>Aerogeneratore (modello)</b>				<b>SIEMENS GAMESA SG 6.6-170 (AM 0)</b>					
<b>Potenza nominale (MW)</b>				<b>6.6</b>					
			<b>Dati al mozzo</b>						
<b>AG</b>	<b>Coordinate UTM WGS84 Fuso 32</b>		<b>Base Macchina (m s.l.m.)</b>	<b>Dati di WASP</b>					
	<b>Longit.</b>	<b>Latitud.</b>		<b>H mozzo (m)</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>P lorda (MWh/a)</b>	<b>Perdita per scia [%]</b>	<b>P netta (MWh/a)</b>	<b>Ore (MWh/MW)</b>
S1	624,761	4,517,556	412.89	115	6.10	18,500	2.54	18,030	2732
S2	625,343	4,517,931	383.25	115	5.92	17,709	2.38	17,287	2619
S3	626,346	4,517,640	371.40	115	5.91	17,706	5.45	16,741	2537
S4	627,356	4,517,349	371.80	115	5.96	17,971	4.69	17,129	2595
S5	627,821	4,516,619	364.78	115	5.90	17,634	5.41	16,681	2527
S6	627,613	4,515,979	380.33	115	6.02	18,209	3.7	17,536	2657
<b>MEDIE</b>			<b>380</b>	<b>115</b>	<b>5.97</b>	<b>17,955</b>	<b>4.03</b>	<b>17,234</b>	<b>2611</b>
<b>TOTALI</b>						<b>107,729</b>		<b>103,404</b>	

La tabella riporta, nell'ordine:

- L'identificativo con riferimento alla tavola grafica allegata
- Le coordinate chilometriche nel sistema di riferimento UTM WGS84
- La quota della fondazione del sostegno
- L'altezza di mozzo della simulazione
- La velocità media annua stimata, all'altezza di mozzo indicata

- La produzione lorda attesa, stimata dal modello
- La perdita percentuale di produzione attesa per effetto scia, stimata dal modello
- La produzione attesa, netta della perdita per scia calcolata
- Le ore annue equivalenti di funzionamento, espresse come rapporto tra la produzione netta attesa e la potenza nominale della macchina

Seguono, in calce, le medie ed i totali per le colonne di interesse

## 10 PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO AL NETTO DELLE PERDITE

Alla producibilità lorda riportata al capitolo precedente devono essere sottratte le perdite d'impianto. Nella tabella seguente sono riportati i valori di perdita applicati: **si raccomanda la revisione degli stessi una volta sottoscritti tutti i contratti di fornitura della turbina ed O&M, nonché una volta disponibile il progetto elettrico esecutivo dell'impianto.**

Perdite considerate	Venturina
Densità aria alla densità di 1.168 Kg/m <sup>3</sup>	-2.94%
Disponibilità aerogeneratore	-3.0%
Disponibilità aerogeneratore – non contrattuale	-0.5%
Disponibilità B.O.P.	-1.0%
Disponibilità rete	-0.2%
Perdite elettriche d'impianto	-1.5%
Perdite ambientali	-0.5%
Performance aerogeneratore	-1.5%
<b>Totale perdite</b>	<b>-10.7%</b>

**Disponibilità Contrattuale dell'Aerogeneratore:** è stato assunto un valore standard del 97%

**Disponibilità B.O.P.:** questa perdita considera i fuori servizio del Balance of Plant, ovvero il valore di disponibilità garantita dal provider dei servizi O&M per il B.O.P. Il valore assunto dovrà essere rivisto alla chiusura delle negoziazioni del contratto O&M per il B.O.P.

**Disponibilità Rete:** tale perdita rappresenta gli eventuali fuori servizio della Rete Elettrica Nazionale a cui si collegherà l'impianto eolico. In tale analisi, è stato adottato un valore standard corrispondente a n. 3 eventi all'anno della durata media di 6 ore.

**Perdite Elettriche:** le perdite elettriche sono state assunte basandosi su considerazioni generali coerenti con lo specifico layout di progetto.

Il valore dovrà eventualmente essere rivisto una volta disponibile il progetto esecutivo dell'impianto ed a seguito della contrattualizzazione dell'aerogeneratore da installare.

**Altre perdite:** la voce tiene conto dei parametri ambientali (ghiaccio, shutdown per temperatura, ecc.). Non tiene invece conto di alcun wind sector management/sector-wise curtailment e/o limitazioni dovute all'impatto acustico e/o limitazioni di rete particolari, in quanto non sono disponibili o risultanti informazioni a riguardo.

**Prestazione aerogeneratore:** tale perdita tiene conto della degradazione pale, isteresi e prestazione non ottimale della turbina.

Ne risulta, pertanto, **una produzione attesa netta (P<sub>50%</sub>) di 92,391 MWh/anno pari a 2333 ore annue equivalenti.**

## 11 CONCLUSIONI

Il presente rapporto contiene i risultati della valutazione preliminare di produzione attesa dall'impianto eolico in progettazione in un sito ricadente nel Comune di Altamura, nella Città Metropolitana di Bari, Regione Puglia.

La valutazione della producibilità è stata ottenuta mediante applicazione di un modello fluidodinamico del vento utilizzando in ingresso una serie di dati anemometrici appartenente ad una stazione di rilevamento le cui misure ben caratterizzano un ampio territorio circostante. La serie di dati è stata ampiamente analizzata ai fini del presente studio. La sua bontà e validità è stata confermata grazie a idonee verifiche e a confronti con altre stazioni ricadenti nella più ampia area analizzata, inclusa una serie di lungo periodo, utilizzata per il processo di storicizzazione posto in atto, il cui esito è stato soddisfacente.

In generale, la messa a punto del modello di calcolo si rende necessaria per valutare, attraverso una serie di verifiche e di controlli successivi, la sua capacità ad interpretare i dati di ventosità ed in particolare gli effetti dell'orografia e della rugosità del terreno sulla corretta estrapolazione della velocità del vento al mozzo delle macchine. Le soddisfacenti verifiche sul modello hanno consentito di trovare le soluzioni per diminuire il grado di incertezza introdotto dal modello nel calcolo in ogni fase del processo.

In questo senso va interpretata la scelta di estrapolare il dato misurato all'altezza del mozzo ipotizzato con un gradiente ben inferiore a quello stimato dal modello di calcolo.

I siti più interessanti dal punto di vista dell'installazione di un impianto eolico sono caratterizzati da livelli di ventosità tali da comportare valori di utilizzazione dello stesso per un numero minimo di ore annue di funzionamento, tale da garantirne la convenienza economica dell'iniziativa. Questo valore può variare a seconda della taglia dell'aerogeneratore adottato poiché varia il costo dell'aerogeneratore stesso e più in generale dei costi di investimento e di gestione dell'impianto.

Nel complesso i processi applicati non hanno comportato difficoltà di esecuzione superiori alla norma, poiché il sito è interessato da una discreta ventosità e, grazie anche ad un territorio di appartenenza con un'orografia poco complessa, le verifiche effettuate hanno dato risultati positivi.

Nell'ottica della finalizzazione del progetto e dell'eventuale necessità d'intercettare i servizi proposti dal circuito del Credito (finanziamento), si consiglia una specifica qualificazione anemometrica ad adeguate altezze dal suolo, anche con l'impiego della tecnologia di Remote Sensing Device, con misure anche di breve durata e un approfondimento di questo studio (asseverazione bancabile) che comprenda in particolare un'analisi specifica delle variabili, la quale, con le informazioni disponibili, definisca l'incertezza complessiva sulla valutazione della producibilità dell'impianto, al fine di determinarne il valore atteso con data probabilità ( $P_{75\%}$ ,  $P_{90\%}$ ,) solitamente richiesto per il finanziamento.

---

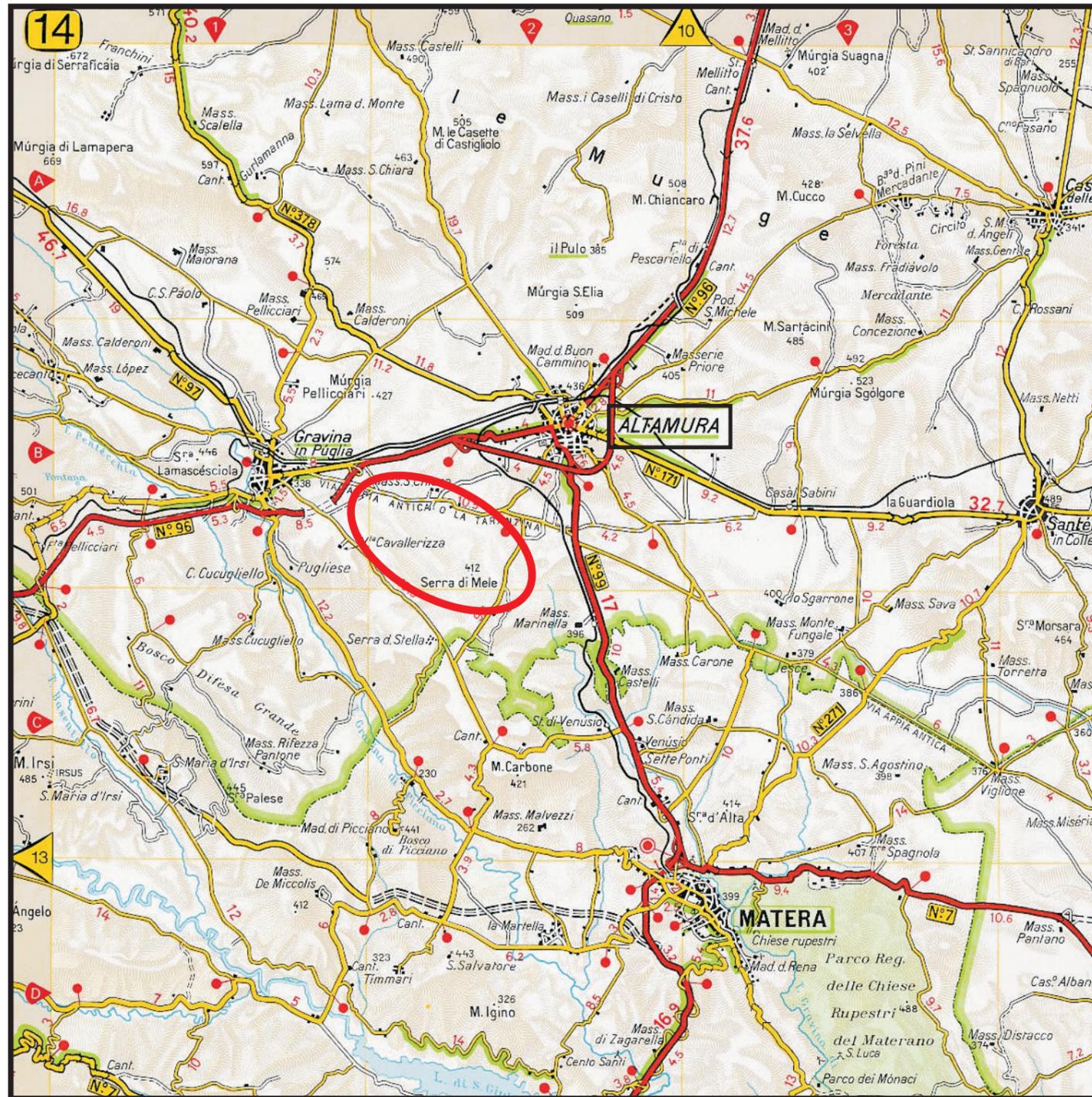
*ALLEGATO 1*

---

# SITO EOLICO "SERRA DI MELE"

Comuni di Altamura (BA)

Ubicazione geografica del sito



Scala 1:200.000



 Sito eolico



Regione: PUGLIA

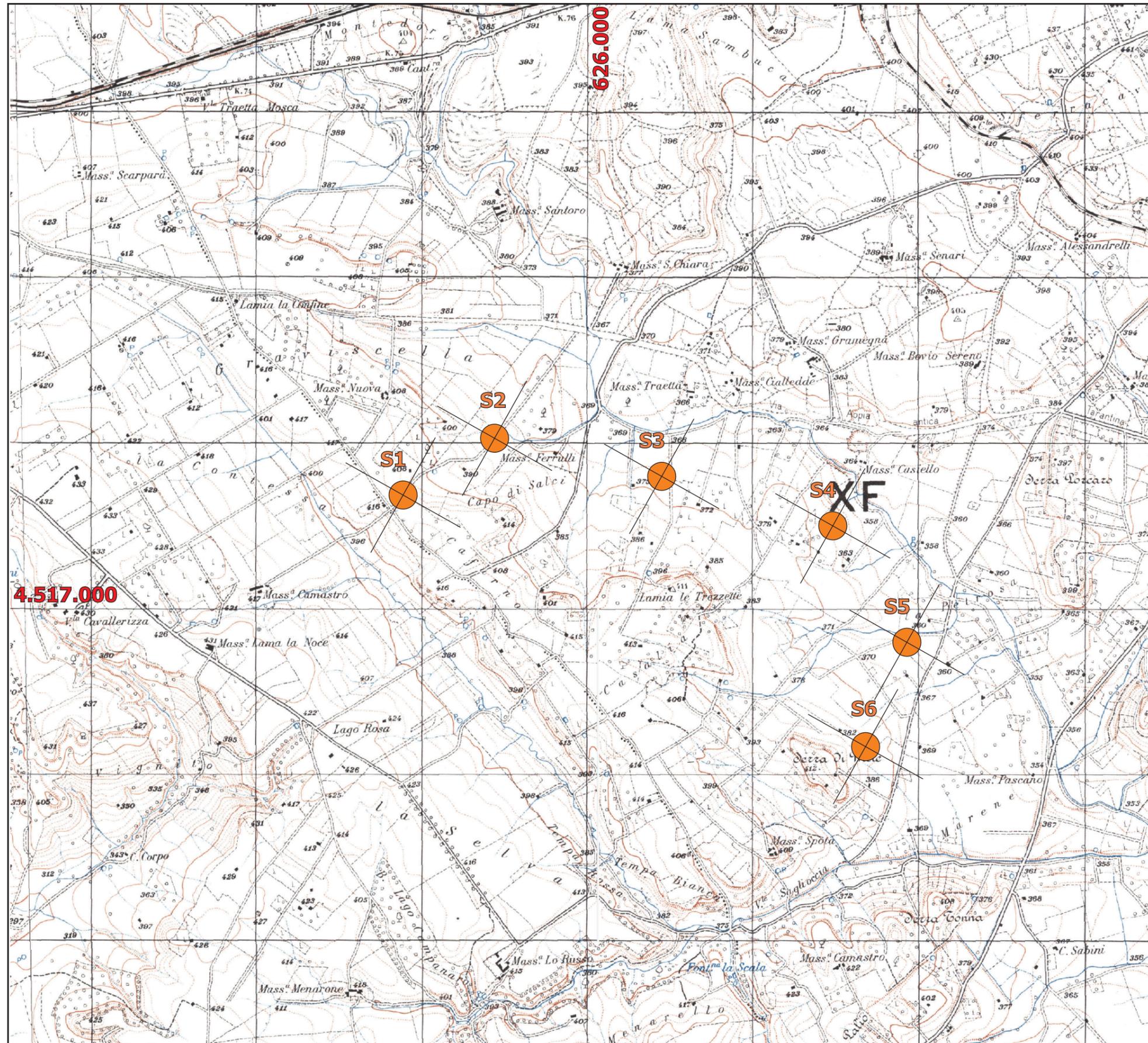
Cartina di base: Atlante stradale d'Italia, Volume CENTRO, 1:200.000, Ediz. TCI, Milano 2004.



# IMPIANTO EOLICO "SERRA DI MELE"

Comuni di Altamura (BA)

Ubicazione degli Aerogeneratori



## LEGENDA

- Confini regionali
- Confini provinciali
- Confini comunali

- Sito Eolico
- Aerogeneratori

Cartina di base IGMI, serie 25V:  
ALTAMURA 189 III NO

Scala 1:25.000



Regione: Puglia



---

*ALLEGATO 2*

---



Siemens Gamesa 5.X  
Reaching new heights



# Siemens Gamesa technology with benchmark performance and proven reliability

SG 6.6-155 and SG 6.6-170: Siemens Gamesa next-generation solutions conceived to deliver an outstanding value proposition for our customers

Imagine how the future becomes present to take wind energy to the next level

At Siemens Gamesa, we strive to anticipate opportunities in an increasingly discerning market. Our wind technology expertise, backed by more than 40 years of experience and over 114 GW installed throughout the world, equips us with the right tools for imagining the future, making it present and taking wind energy to the next level.

We know what this means: technological leadership, solid track record, commitment to excellence, passion for what we do. And we deliver it now to our customers. This is how the new Siemens Gamesa 5.X onshore platform is born.

Siemens Gamesa 5.X is a new generation of

turbines that takes Siemens Gamesa to new heights:

- In performance, cost-efficiency and reliability.
- In power output and rotor size to offer the most competitive LCoE.
- In technology, built upon Siemens Gamesa know-how and expertise.
- In versatility, with a modular, flexible design that facilitates logistics, construction and service.
- In site adaptability, to configure the optimal solution for each project.
- In value for our customers.



### Proven technology

The new Siemens Gamesa 5.X onshore platform has its roots in Siemens Gamesa technology, synonymous with innovation, know-how and reliability accredited through experience. Siemens Gamesa 5.X incorporates proven technologies, minimizing risk and guaranteeing reliability for its two new product models: SG 6.6-155 and SG 6.6-170 wind turbines. These include a doubly-fed generator and partial converter combination, a compact drive train design with a three-stage gearbox, and the use of components widely validated on the other Siemens Gamesa platforms. The result is a wind turbine design that gives optimum performance and LCoE.

### Benchmark in power output and rotor size

Siemens Gamesa 5.X goes one step further to become the new generation platform that combines a flexible power rating from 5.6 MW to 6.6 MW with two of the largest rotor diameters in the market, 155 and 170 meters, resulting in maximum performance in high-, medium- and low-wind conditions.

SG 6.6-155 and SG 6.6-170 turbines mean greater AEP per wind turbine and optimized CAPEX for the project. This is also due to their versatility, with a modular, flexible design for maximum ease of logistics, construction and O&M, as well as reducing the OPEX, which results in a lower Cost of Energy for projects.

### Unique, tailored solutions

Siemens Gamesa 5.X considers profitability to be a key factor in generating value for our customers. Contributing factors to profitability include:

- Configuring flexible, personalized power modes fully tailored to the needs of each site.
- An extensive catalog of towers with multiple available

technologies and the additional capability to create specific project designs.

- The use of advanced control strategies that enable intelligent load reduction and a greater applicability for the Siemens Gamesa 5.X platform in different wind conditions.
- A modular, optimized structure for local transport and construction conditions.
- A maintainability-oriented design with advanced diagnostics and remote operation solutions, as well as the possibility of replacing large turbine components without requiring a main crane.
- Optional product solutions to cover all types of market requirements.

## Technical specifications



	SG 6.6-155	SG 6.6-170
<b>General details</b>		
Rated power	6.6 MW	
Wind class	Medium and high	Low and medium
Flexible power rating	From 5.6 MW to 6.6 MW	
Control	Pitch and variable speed	
<b>Rotor</b>		
Diameter	155 m	170 m
Swept area	18,869 m <sup>2</sup>	22,697 m <sup>2</sup>
<b>Tower</b>		
Height	90, 102.5, 122.5, 165 m and site-specific	100, 115, 135, 165 m and site-specific
<b>Technology</b>		
Type	Geared	
<b>First prototype</b>		
Date	2021	

**Spain**

P. Tecnológico de Bizkaia, edif. 222  
48170 Zamudio, Vizcaya

Calle Ramírez de Arellano, 37  
28043 Madrid

Avda. Ciudad de la Innovación, 9-11  
31621 Sarriguren, Navarra

onshoresales@siemensgamesa.com

**Australia**

Herring Road 160, Macquarie Park  
Sydney, NSW 2113

885 Mountain Highway  
Melbourne, VIC 3153

**Austria**

Siemensstrasse 90, Vienna 1210

**Brazil**

Avenida Rebouças, 3970 - 5º andar  
Pinheiros 05.402-918, São Paulo

**Canada**

1577 North Service Road East  
Oakville, Ontario L6H 0H6

**Chile**

Edificio Territoria El Bosque  
Avenida Apoquindo 2827, Piso 19  
Las Condes, Santiago de Chile

**China**

Siemens Center Beijing, 12th Floor  
No.7 South Wangjing Zhonghuan  
Road, Chaoyang District  
Beijing 100102

500, Da Lian Road, Yangpu District  
200082 Shanghai

**Croatia**

Heinzlova 70 A  
10000 Zagreb

**Denmark**

Borupvej 16  
7330 Brande

Fiskergade 1  
7100 Vejle

**Egypt**

6th Floor, Bureau 175  
2nd Business Sector, Al-Horreya axis  
90 South Road, 5th Settlement  
PO Box: 245/11835 New Cairo

**Finland**

Tarvonsalmenkatu 19  
FI-02600 Espoo

**France**

Immeuble le Colisée  
Bâtiment A - 2 ème étage  
10 avenue de l'Arche  
92419 Courbevoie

97 allée Alexandre Borodine  
Cedre 3, 69800 Saint Priest

**Germany**

Beim Strohhaus 17-31  
20097 Hamburg

BCB business center in Kiel  
Hopfenstr. 1 D  
24114 Kiel

Mary-Somerville-Straße 14  
28359 Bremen

**Greece**

44 - 46 Riga Fereou Str. &  
Messogion Ave  
Neo Psychiko  
Athens, 15451

**India**

#334, Block-B, 8th floor  
Futura Tech Park  
Rajiv Gandhi Salai  
Sholinganallur  
Chennai 600119

**Indonesia**

Menara Karya, 28th floor  
JL. HR. Rasuna Said Blok X-5  
Kav. 1-2  
Jakarta

**Ireland**

Innovation House, DCU Alpha  
Old Finglas Road 11  
Glasnevin  
Dublin 11

**Italy**

Centro Direzionale Argonauta  
Via Ostiense 131/L, Corpo C1  
9° piano, 00154 Roma

Via Vipiteno 4, 20128 Milan

**Japan**

Otemachi First Square Tower  
1-5-1 Otemachi, Chiyada-ku  
100-0004 Tokyo

**Korea**

Seoul Square 5th Floor 416  
Hangang-daero, Jung-gu  
Seoul 04637

**Mexico**

Paseo de la Reforma 505  
Torre Mayor, 37th Floor  
Col. Cuauhtémoc, Del. Cuauhtémoc  
06500 Mexico City

Carretera Juchitán, Espinal, km 4  
El Espinal, Oaxaca

**Morocco**

Anfa Place Blvd. de la Corniche  
Centre d'Affaires "Est", RDC  
20200 Casablanca

**Netherlands**

Prinses Beatrixlaan 800  
2595 BN Den Haag

**Norway**

Østre Aker vei 88, 0596 Oslo

**Philippines**

10F, 8767 Paseo de Roxas  
Makati

**Poland**

Zupnicza street 11, 3rd Floor  
03-821 Warsaw

UL. Galaktyczna 30A  
80-299 Gdansk

**Singapore**

Siemens Center  
60 MacPherson Road  
Singapore 348615

**South Africa**

Siemens Park  
Halfway House  
300 Janadel Avenue  
Midrand 1685

**Sweden**

Evenemangsgatan 21  
169 79 Solna

**Taiwan**

8F-1,/6F N° 126  
Songjiang Road  
Taipei City

**Turkey**

Esentepe mahallesi Kartal  
Yakacik Yolu No 111  
34870 Kartal  
Istanbul

**United Kingdom**

Solais House  
19 Phoenix Cres  
Bellshill ML4 3BF

**USA**

11950 Corporate Boulevard  
Orlando, FL 32826

1150 Northbrook Drive  
Suite 350  
Trevose, PA 19053

1050 Walnut  
Suite 303  
Boulder, CO 80302

**Vietnam**

14th Floor, Saigon Centre  
65 Le Loi street  
Ben Nghe ward District 1  
Ho Chi Minh City

The present document, its content, its annexes and/or amendments has been drawn up by Siemens Gamesa Renewable Energy, S.A. for information purposes only and could be modified without prior notice. The information given only contains general descriptions and/or performance features which may not always specifically reflect those described, or which may undergo modification in the course of further development of the products. The requested performance features are binding only when they are expressly agreed upon in the concluded contract. All the content of the document is protected by intellectual and industrial property rights owned by Siemens Gamesa Renewable Energy, S.A. The addressee shall not reproduce any of the information, neither totally nor partially.

07/2021

www.siemensgamesa.com