

REGIONE PUGLIA  
CITTA' METROPOLITANA DI BARI  
COMUNI DI GRAVINA IN PUGLIA E ALTAMURA



# AUTORIZZAZIONE UNICA EX D.LGS. 387/2003

## Progetto Definitivo Parco eolico "Silvium" e opere connesse

TITOLO ELABORATO

**Studio anemologico**

CODICE ELABORATO

COMMESSA	FASE	ELABORATO	REV.
F0477	A	R13	A

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione

SCALA

—

DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
febbraio 2022	prima emissione	WPD Italia Srl	GMA	GDS

PROPONENTE



**wpd Silvium s.r.l.**

Corso d'Italia 83  
00198 Roma (RM)  
Tel: +39 06 960 353 01  
wpdsilviumsril@legalmail.it  
P.IVA. 16496431004

PROGETTAZIONE



**F4 ingegneria srl**

via Di Giura - Centro Direzionale, 85100 Potenza  
Tel: +39 0971 1 944 797 - Fax: +39 0971 5 54 52  
www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it

Il Direttore Tecnico  
(ing. Giovanni Di Santo)



Società certificata secondo la norma UNI-EN ISO 9001:2015 per l'erogazione di servizi di ingegneria nei settori: civile, idraulica, acustica, energia, ambiente (settore IAF: 34).



## Sommario

<b>PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>2</b>
<b>2. SCELTA E DESCRIZIONE DEL SITO .....</b>	<b>3</b>
<b>3. ANALISI DEI DATI UTILIZZATI .....</b>	<b>8</b>
<b>4. I DATI A LUNGO TERMINE NELL'AREA DI GRAVINA IN PUGLIA .....</b>	<b>9</b>
<b>5. MODELLO DI TURBINA E LA CURVA DI POTENZA.....</b>	<b>10</b>
<b>6. RISULTATO DEI MODELLI PER IL CALCOLO DEI PARAMETRI DEL VENTO SUL LUNGO TERMINE .....</b>	<b>12</b>
<b>7. I MODELLI MATEMATICI PER LE RAPPRESENTAZIONE SPAZIALE DEL VENTO .....</b>	<b>14</b>
<b>8. STIMA DELLA PRODUZIONE DI ENERGIA DEL PARCO EOLICO .....</b>	<b>15</b>
<b>9. CONCLUSIONI.....</b>	<b>18</b>

## **PREMESSA**

La società wpd Silvium S.r.l., parte del gruppo **WPD**, che opera da anni nel settore delle energie rinnovabili con particolare focus sull'eolico, ha predisposto uno studio sulle caratteristiche anemologiche e stima di producibilità per un impianto eolico situato nel comune di Gravina in Puglia in provincia di Bari, ai fini del procedimento autorizzativo.

La finalità di questo studio è quella di caratterizzare le condizioni anemologiche e determinare la stima del rendimento energetico dell'impianto, su base annuale.

Poiché wpd Silvium S.r.l. ha in programma di installare in futuro una torre anemometrica nel sito di Gravina in Puglia, ha valutato di usare come prima ipotesi per i calcoli per il rendimento dell'energia eolica, la producibilità e la media del vento in situ, il data set di dati "Global Wind Atlas 3.0 (WRF 3-km)\_E16.528, N40.750".

Inoltre, tale valutazione viene completata con l'uso di dati satellitari tipo EMD-WRF Europe+ (ERA5) che opportunamente inseriti nel modello di calcolo WINDPRO, sono in grado di analizzare in dettaglio l'area in cui ricade il parco.

### **1. INTRODUZIONE**

Lo studio ha lo scopo di verificare la bontà della scelta del layout in base alle caratteristiche di ventosità del sito. L'analisi parte dallo studio delle informazioni fornite dall'atlante eolico, che mostra una stima di massima della risorsa eolica nell'area individuata. Questa successivamente viene analizzata con modelli complessi che permettono di analizzare la ventosità sulla micro-scala, al fine di identificare la posizione ottimale delle macchine.

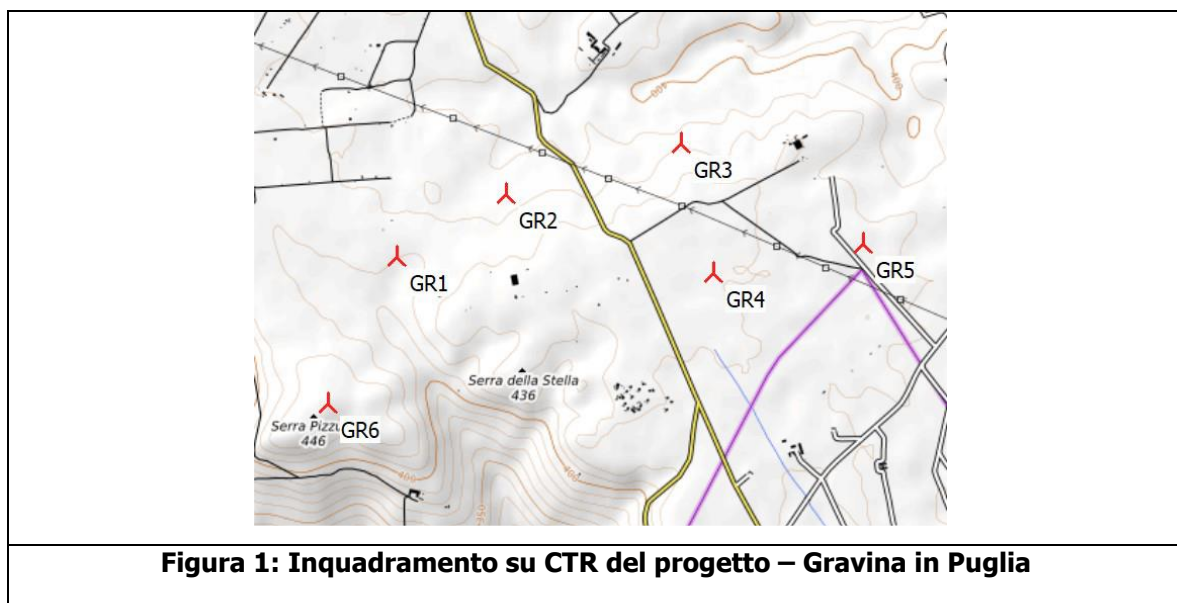
L'obiettivo finale è di verificare la producibilità del sito con le turbine indicate dalla società. I dati del vento processati diventano file di ingresso nei modelli matematici specifici per l'analisi della produttività di un parco eolico. Inoltre, varie configurazioni di layout e tipologie di macchine sono verificate, fino al raggiungimento del massimo rendimento dal punto di vista di sfruttamento della risorsa eolica.

La struttura della documentazione si divide in cinque sezioni principali.

1. La prima (cap 2) descrive la zona oggetto dello studio attraverso le proprie specificità: l'orografia, la rugosità e la disposizione degli aerogeneratori sul territorio.
2. La seconda (cap 3 e 4) descrive la tipologia dei dati anemometrici analizzati.
3. La terza (cap 5) descrive il tipo di macchina utilizzato e la sua curva di potenza.
4. La quarta sezione (cap 6 e 7) mostra come i dati del vento si trasformano in curve di Weibull, dalle quali si ricavano i parametri necessari ai modelli di calcolo. La previsione si effettua con software specifico WINDPRO del quale viene illustrata brevemente le metodologie di calcolo e le caratteristiche peculiari.
5. L'ultima parte (cap 8 e 9) è dedicata alle conclusioni in cui la stima di ventosità si trasforma in una stima di produzione energetica, arrivando al risultato finale in cui vi è l'eliminazione delle perdite e il calcolo dell'incertezza.

## **2. SCELTA E DESCRIZIONE DEL SITO**

Il sito oggetto dello studio è situato nel territorio comunale di Gravina in Puglia (BA), come riportato in Figura 1. La proposta progettuale è finalizzata alla realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile di tipo eolico, costituito da n. 6 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 6,6 MW per una potenza complessiva di 39,6 MW, da realizzarsi nel comune di Gravina in Puglia (BA), in cui ricadono gli aerogeneratori e l'elettrodotto di collegamento interno.



Di seguito si riporta la tabella riepilogativa, in cui sono indicate per ciascun aerogeneratore le relative coordinate (UTM fuso 33).

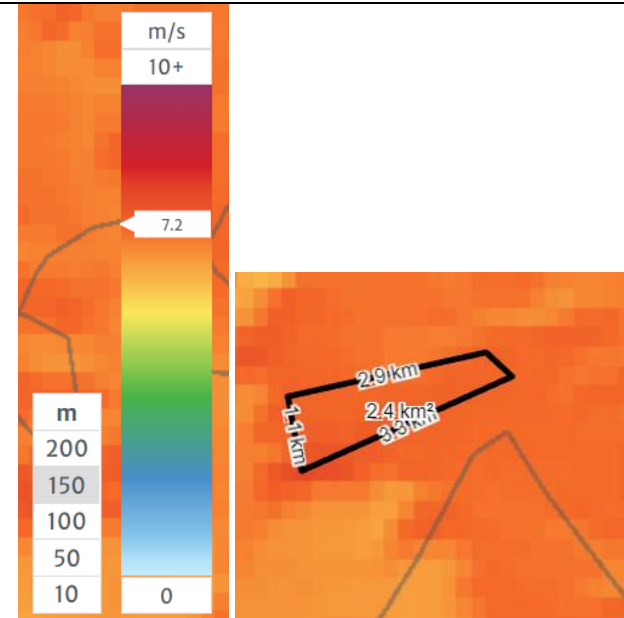
*Tabella dati fisici e geografici degli aerogeneratori:*

WTG	Comune	D rotore	H tot	H hub	Coordinate UTM WGS84 T33	
		m	m	m	E	N
GR1	Gravina in Puglia	170	250	165	624416.00	4513587.00
GR2	Gravina in Puglia	170	250	165	624958.00	4513915.00
GR3	Gravina in Puglia	170	250	165	625844.00	4514179.00
GR4	Gravina in Puglia	170	250	165	626009.00	4513534.00
GR5	Gravina in Puglia	170	250	165	626763.00	4513691.00
GR6	Gravina in Puglia	170	250	165	624080.00	4512843.00

L'area scelta, si basa su una prima indicazione fornita dai modelli matematici, tra i più utilizzati ed accessibile a tutti è l'atlante eolico, disponibile sul sito <https://globalwindatlas.info/> gestito dalla World Bank Group per potenziare il settore delle energie rinnovabili.

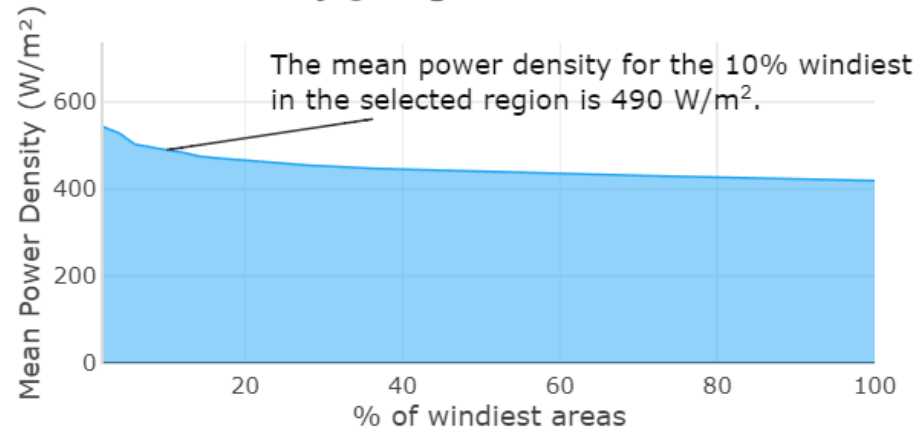
E' stato scelto come rappresentazione delle velocità media quella a livello 165m, ovvero il livello più rappresentativo del vento all'altezza del mozzo del rotore della turbina eolica scelta. La turbina selezionata in termini della miglior efficienza di macchina è una Siemens Gamesa 170 da 165m di altezza mozzo, per cui **165m**

sul livello del suolo è l'altezza di riferimento dei nostri studi. La massima altezza di studio è impostata a quota 165m, si può osservare una certa omogeneità dell'area che riporta una ventosità tra gli 5,9 m/s - 7,72 m/s, per questo il sito è stato considerato idoneo per portare avanti un'analisi approfondita della risorsa eolica.

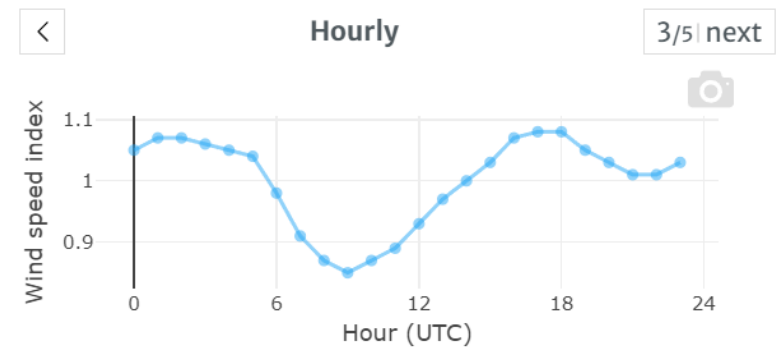


**Figura 2: Dati del vento nell'area parco ad una quota di 150m. La media per l'area è pari a 7,2m/s. Fonte Global Wind Atlas.**

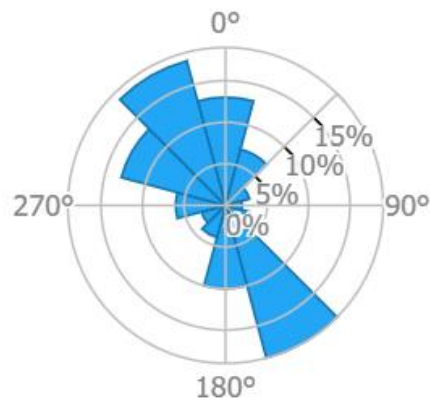
### Mean Power Density @Height 150m



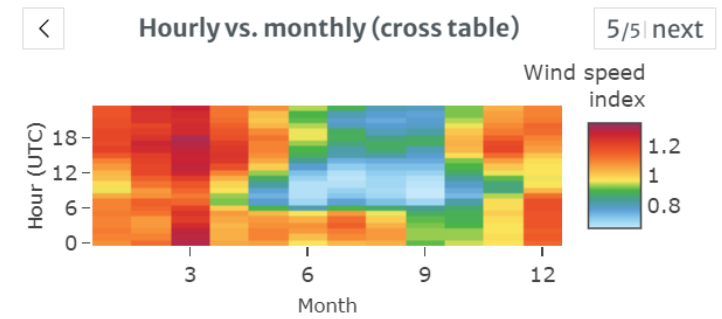
### Wind Speed Variability



### Wind Frequency Rose



### Wind Speed Variability



**Figura 3: Elaborazioni dei dati del vento simulati nell'area. Fonte Global Wind Atlas.**



L'area di posizionamento degli aerogeneratori è caratterizzata da una area con dei rilievi orografici, con una differenza di circa 200 metri dal suolo a valle dove passa la Strada Provinciale SP 201. Topograficamente ha una altezza compresa tra 418 e 423 metri. Si è considerata una densità media dell'aria all'altezza del mozzo pari a:  $\rho=1,225 \text{ Kg/m}^3$ .

Il suolo occupato dal Progetto in esame interessa principalmente "seminativi in aree non irrigue", ed in minima parte "prati stabili"; l'uso principale del suolo in questa area è legato quindi all'agricoltura. Questo significa che la copertura vegetazionale è quasi del tutto assente e perciò l'area in studio si caratterizza per una rugosità medio-bassa.

Gli aerogeneratori sono localizzati in modo da sfruttare al massimo il vento che ha una direzione prevalente da Nord, Nord-Ovest. Il posizionamento è stato deciso in base a diversi fattori: prima di tutto il miglior sfruttamento della risorsa eolica posizionando le macchine sulle alture dove non vi siano coperture come rilievi vicini o vegetazione, la lontananza dai recettori sensibili, la mancanza di colture speciali e l'assenza di vincoli.

Nella Figura 1 è mostrato il layout che si sviluppa su una un'area di circa 374 ettari. L'area di progetto è ampia per consentire il distanziamento necessario con lo scopo di ottimizzare la producibilità del parco eolico stesso.

Un'indagine metereologica puntuale è quindi sufficiente a descrivere l'area e per fare questo sono stati usati dei diversi strumenti di simulazione e previsione dell'andamento del vento, per avere una chiara e dettagliata informazione della produttività del parco e della sua configurazione ideale.

### **3. ANALISI DEI DATI UTILIZZATI**

Il set di dati necessari al calcolo della producibilità del parco eolico, sono stati determinati dai dati satellitari tipo *EMD-WRF Europe+ (ERA5)*.

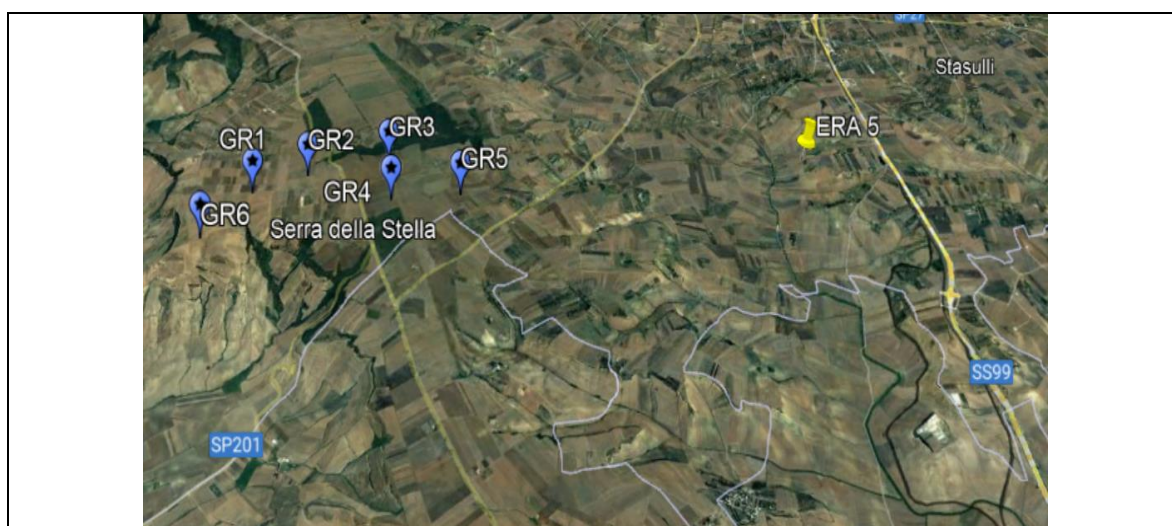
I dati sono forniti dal European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF) sono generati da un modello a mesoscala in grado di avere una

risoluzione spaziale di 3km e una temporale di 1 h, il risultato sono i dati tipo EMD-WRF Europe+ (ERA5) forniti dalla società EMD.

I dati sono stati forniti nel punto indicato ("ERA5", coordinate Nord 40.77309\_Est 016.548462) e in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** è riportata la localizzazione su mappa, rispetto al layout di parco.

Dopo aver trovato la fonte più attendibile da cui prendere i dati del vento, vengono elaborate serie temporali di 20 anni, al fine di trovare parametri rappresentativi e consistenti del vento.

Successivamente il software di calcolo WINDpro è in grado di ridurre la scala spaziale su cui viene elaborato il dato satellitare, grazie ad uno sistema di infittimento dei dati su una scala dettagliata al metro, tipo SRTM (SRTM topographic data set). Il procedimento è chiamato "downscaling".



**Figura 4: Inquadramento 3D di Google Earth del parco eolico di Gravina in Puglia con il punto di inserimento di ERA5 in giallo**

#### **4. I DATI A LUNGO TERMINE NELL'AREA DI GRAVINA IN PUGLIA**

Per poter verificare che i dati simulati di lungo termine fossero rappresentativi dell'area di Gravina in Puglia, è stata fatta girare una rianalisi di una serie temporale di 20 anni provenienti dal Global Wind Atlas (<https://globalwindatlas.info/>). I valori di velocità sono stati calcolati su diverse altezze da 10m fino a 200m.

I valori di velocità sono stati calcolati su diverse altezze da 50m fino a 100m. Grazie a questi valori a diverse quote è stato calcolato  $\alpha$ , un parametro da inserire nella legge logaritmica del vento, che lega la velocità con la quota, come mostrato in Figura 5.

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{z}{z_0}\right)^\alpha$$

Dove:

- $v_0$  è la velocità del vento misurata alla quota  $z_0$ ;
- $v$  è la velocità che vuole essere identificata alla quota  $z$  ( ad esempio all'altezza del mozzo);
- $\alpha$  è un coefficiente che correla la differenza di quota alla differenza di velocità del vento.

**Figura 5 : Legge logaritmica del vento.**

Una volta determinato  $\alpha$ , anche noto come *wind shear* o gradiente verticale di velocità, è possibile stimare la velocità a diverse quote. Il calcolo della velocità all'altezza del mozzo della macchina eolica è stato quindi determinato a partire da una misura di velocità ad una quota conosciuta, grazie al valore del wind shear sull'area considerata.

## 5. MODELLO DI TURBINA E LA CURVA DI POTENZA

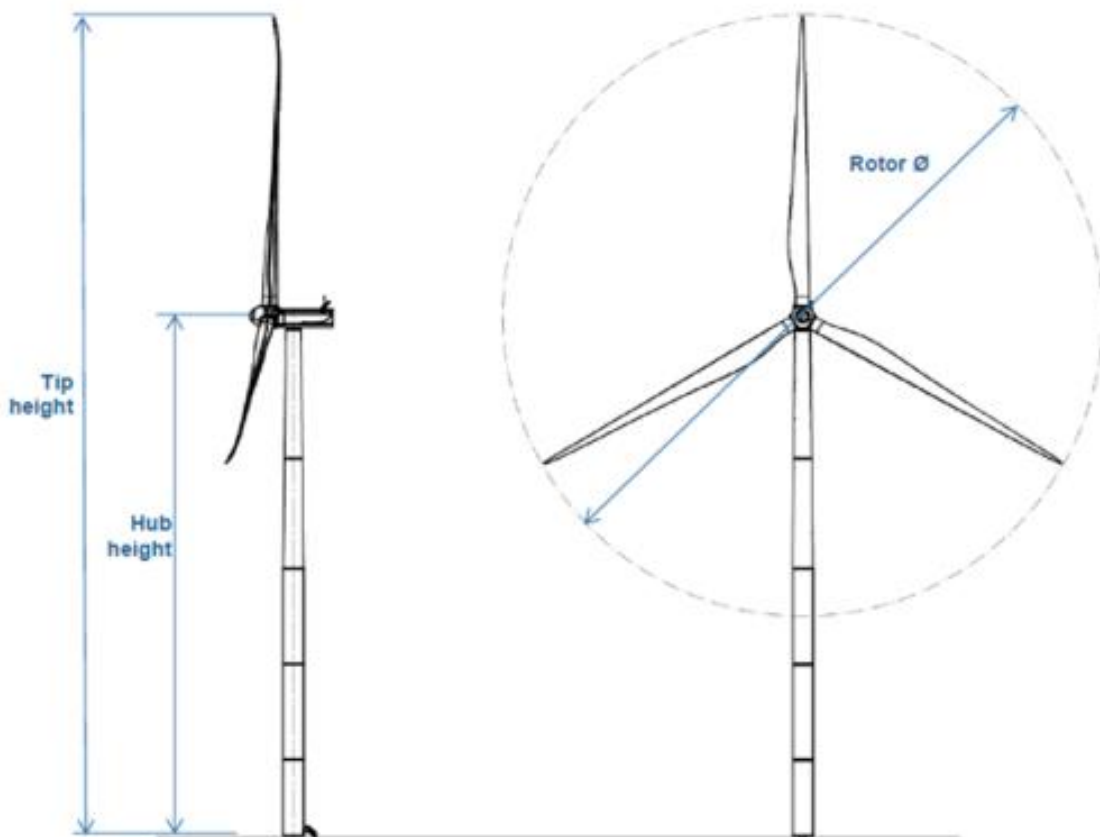
Gli aerogeneratori installati nel progetto di Gravina in Puglia sono modello SIEMENS-GAMESA con:

rotore = 170m,

hub height = 165m,

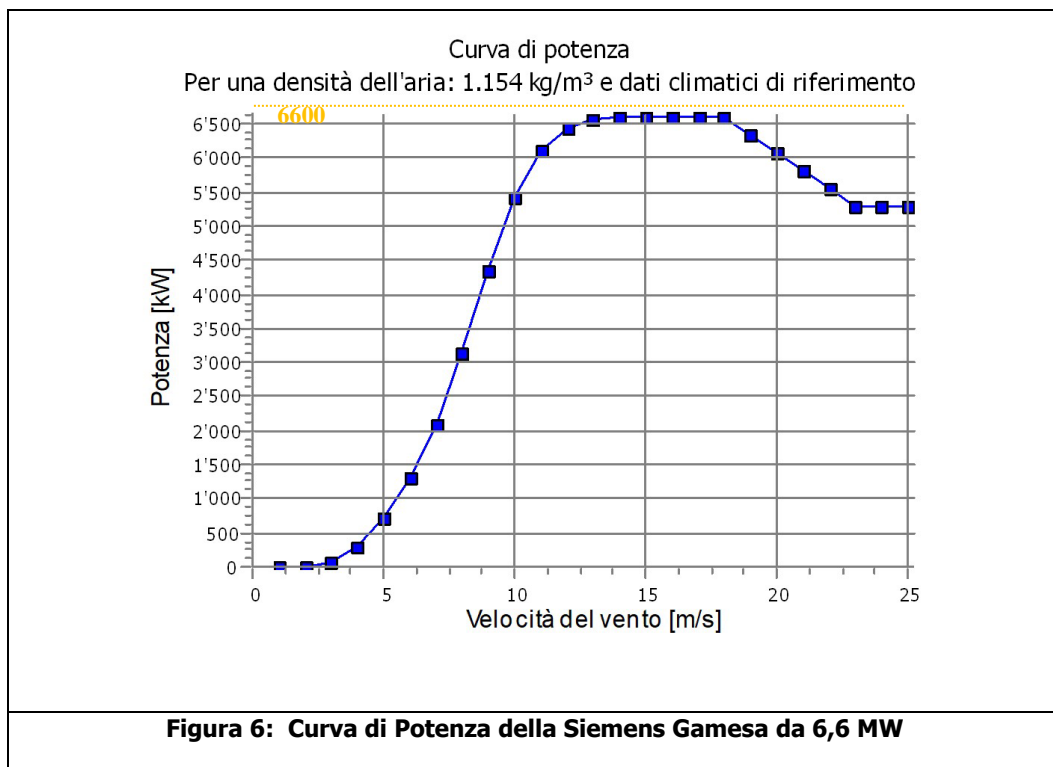
tip height = 250m





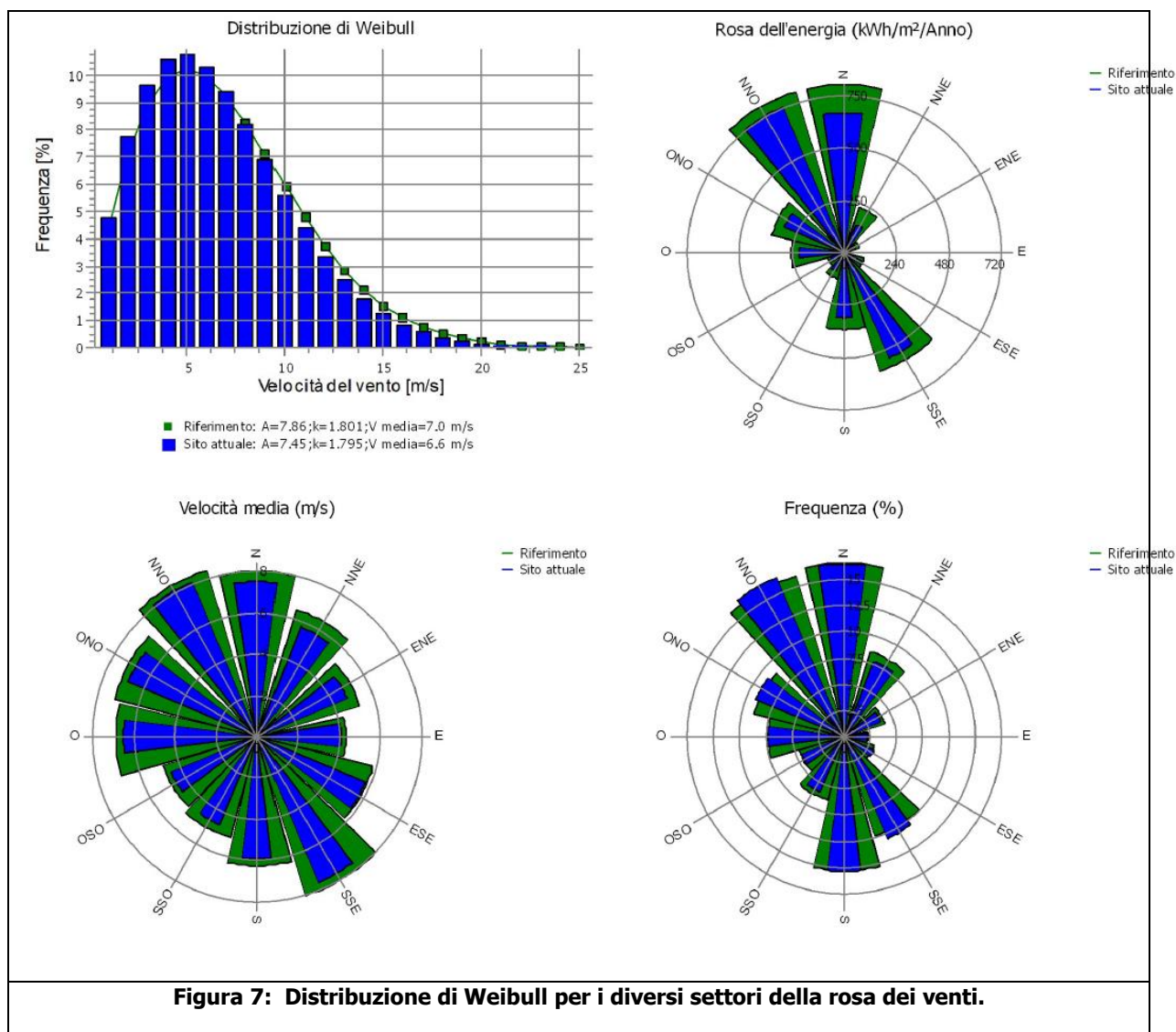
La potenza della macchina è di 6,6 MW.

La curva di potenza tipica della macchina è riportata in Figura 6 (S-G da 6,6MW).



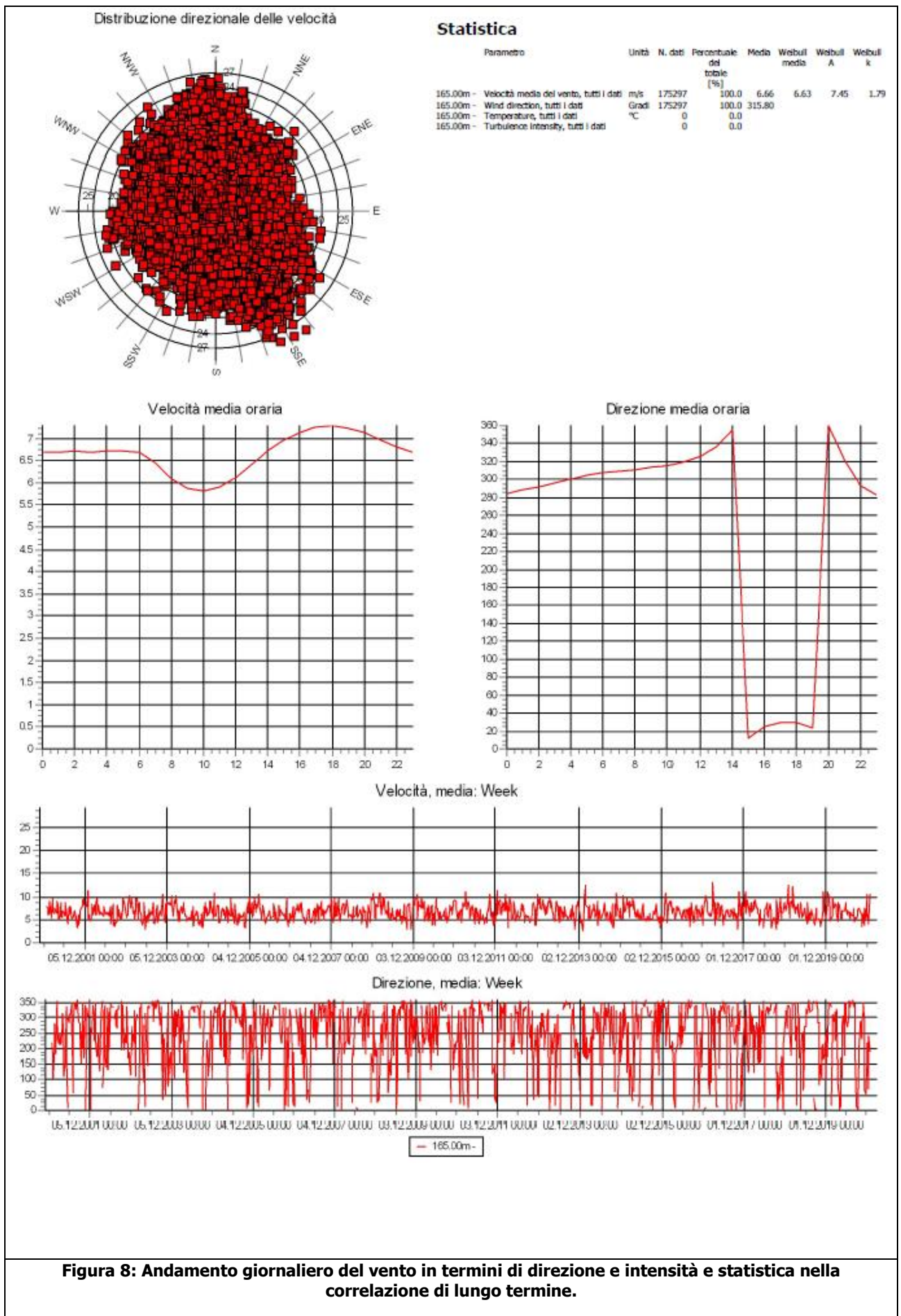
## 6. RISULTATO DEI MODELLI PER IL CALCOLO DEI PARAMETRI DEL VENTO SUL LUNGO TERMINE

In questo paragrafo sono riportati i risultati dei dati meteo a lungo termine. La Figura 7 mostra le distribuzioni di Weibull per i diversi settori della rosa dei venti a 165m. La distribuzione di Weibull è la componente statistica della nostra analisi e grazie ad essa abbiamo una stima realistica della produttiva del parco.



In Figura 8 è riportato l'andamento sul lungo termine del dato meteorologico come direzione e intensità del vento.

Il risultato della correlazione a lungo termine, nei pressi della posizione di ERA5, è **6,9m/s** ad altezza mozzo.



**Figura 8: Andamento giornaliero del vento in termini di direzione e intensità e statistica nella correlazione di lungo termine.**

## **7. I MODELLI MATEMATICI PER LE RAPPRESENTAZIONE SPAZIALE DEL VENTO**

Per calcolare la mappa del vento lungo tutta la ampiezza del sito è necessario usare prima di tutto modelli che permettano di estrapolare dai dati di vento stimato, i valori nell'area del sito a differenti altezze. Lo studio richiede quindi una modellizzazione spaziale del campo di vento. Questa modellizzazione permette l'estrapolazione, sia spaziale dell'area considerata, sia verticale fino all'altezza della navicella del rotore, delle misure di vento disponibili, per il posizionamento più corretto degli aerogeneratori.

Oltre allo studio dei dati di vento e della orografia, risulta molto importante analizzare altri aspetti come la rugosità, che influenza la valorizzazione energetica del sito modificando il gradiente verticale di velocità (wind shear). La stima della rugosità ("roughness"), viene effettuata da un utente esperto sulla base dei sopralluoghi in cui si definisce il tipo di copertura superficiale del luogo. Nel nostro sito si è stimato un livello di rugosità media stabilendo una rugosità  $z_0=0,1$  m (Sistemi colturali e particellari complessi) per tutto il sito, e poi andando a dettagliare con classi diverse, particolari aree (aree agricole, boschi, area industriale etc) che risultavano avere una rugosità più o meno elevata rispetto a quella di riferimento.

Così, con l'obiettivo di valutare l'effetto che tutti questi fattori hanno sul comportamento del vento, si è prodotta una modellizzazione del vento utilizzando i software Wind Pro e WASP.

Il software Wind Pro, interfacciandosi con il modulo di calcolo del WASP, riesce a prevedere un campo di ventosità nell'area del parco, partendo dai seguenti dati di input:

- misura effettuata con ERA 5 in downscaling per un periodo di 20 anni, dal 1 Gennaio 2001 al 12 Dicembre 2021
- mappa di curve di livello (5 metri di risoluzione)
- mappa di rugosità del sito, proveniente da immagini satellitari

I dati meteo di ERA 5, sono stati poi correlati con il Global Wind Atlas, per la consistenza dei dati di lungo periodo calcolati tramite la re-analisi di dati meteo. La serie di dati correlata a lungo termine è stata poi utilizzata per il calcolo di produzione.

## 8. STIMA DELLA PRODUZIONE DI ENERGIA DEL PARCO EOLICO

Dalla applicazione del campo di ventosità calcolato per ogni settore e dalla modellizzazione dell'orografia e della rugosità si può stabilire l'intensità del vento in ogni punto della zona. Dopodiché, per calcolare la produzione lorda (cioè ai morsetti del generatore, non considerando i fermi macchina e altre perdite) si deve applicare la curva di potenza della macchina per la specifica densità dell'aria e si deve calcolare la turbolenza che la presenza delle altre turbine potrebbe creare nella zona.

Per quanto riguarda la valutazione della turbolenza, detta anche effetto scia, il software WINDpro determina, secondo alcuni modelli matematici (GH, Eddy, Park), la percentuale di perdita di energia a causa della scia. Il calcolo suddetto non tiene conto delle riduzioni di produzione dovute a fermi macchina, perdite nei cavi di collegamento alla sottostazione, efficienza della sottostazione.

Per quantificare la produzione annuale netta stimata si sono adottati perciò i seguenti coefficienti di incertezza dovuti per i seguenti motivi:

Fattore di incertezza: (Riduzione %)

### INCERTEZZA

	<b>Uncertainty in wind</b>	<b>Uncertainty in production</b>
<b>Wind accuracy</b>	<b>4.5%</b>	
<b>Long term scaling</b>	<b>4.5%</b>	
<b>Vertical extrapolation</b>	<b>2.5%</b>	
<b>Horizontal extrapolation</b>	<b>0.9%</b>	
<b>Total uncertainty wind related</b>	<b>6.9%</b>	<b>11.0%</b>
<b>Wake losses</b>		<b>1.4%</b>
<b>Electrical losses</b>		<b>2.3%</b>
<b>Turbine performance</b>		<b>3.0%</b>
<b>other</b>		<b>0.1%</b>
<b>Total uncertainty energy related</b>		<b>4.0%</b>



<b>Future wind frequency distribution</b>		<b>2.0%</b>
<b>Wind speed variability</b>	<b>4.5%</b>	<b>7.2%</b>
<b>availability</b>		<b>3.0%</b>
<b>Overall uncertainty 10 years</b>		<b>12.0%</b>

L'incertezza complessiva del 12 % si riferisce allo stato attuale della stima del vento. È pratica comune del gruppo WPD installare una torre anemometrica di alta qualità che soddisfi i più recenti standard del settore. Con almeno un anno di misurazione del vento l'incertezza complessiva sarà ridotta.

#### PERDITE

<b>Availability and maintenance losses</b>	<b>3.3%</b>
<b>Grid and interconnection station losses</b>	<b>2.3%</b>
<b>Rotor blade degeneration</b>	<b>0.5%</b>
<b>Icing</b>	<b>0.1%</b>
<b>Total losses (without wake)</b>	<b>6.1%</b>

Questi sono i valori che si indicano come “coefficienti di perdita” della produzione attesa e che contribuiscono a ridurre il valore di produzione stimato dai modelli matematici.

Di seguito è quindi riportata una tabella con i valori di produzione dei singoli aerogeneratori per il sito eolico considerato.

<b>Energia annuale calcolata per ciascuna delle 6 nuove WTG, per un totale di 39.6 MW nominali installati</b>													
<b>Tipo di WTG</b>		Valida	Produttore	Tipo generatore	Potenza nominale	Diametro rotore	Altezza mozzo	<b>Curva di potenza</b>		<b>Produzione annuale</b>		<b>Velocità del vento</b>	
								Creata da	Nome	Risultato	Perdite di scia [%]	lorda [m/s]	ridotta [m/s]
					[kW]	[m]	[m]			[MWh/anno]			
GR1	Si		Siemens Gamesa	SG 6.6-170-6'600	6'600	170.0	165.0	USER	SG 6.6-170 Rev. 0, AM 0 - 6.6 MW	21'271.6	1.8	6.88	6.79
GR2	Si		Siemens Gamesa	SG 6.6-170-6'600	6'600	170.0	165.0	USER	SG 6.6-170 Rev. 0, AM 0 - 6.6 MW	20'728.5	1.6	6.76	6.68
GR3	Si		Siemens Gamesa	SG 6.6-170-6'600	6'600	170.0	165.0	USER	SG 6.6-170 Rev. 0, AM 0 - 6.6 MW	19'689.5	5.5	6.72	6.50
GR4	Si		Siemens Gamesa	SG 6.6-170-6'600	6'600	170.0	165.0	USER	SG 6.6-170 Rev. 0, AM 0 - 6.6 MW	19'921.7	7.6	6.86	6.57
GR5	Si		Siemens Gamesa	SG 6.6-170-6'600	6'600	170.0	165.0	USER	SG 6.6-170 Rev. 0, AM 0 - 6.6 MW	20'716.9	3.1	6.83	6.70
GR6	Si		Siemens Gamesa	SG 6.6-170-6'600	6'600	170.0	165.0	USER	SG 6.6-170 Rev. 0, AM 0 - 6.6 MW	23'024.1	2.8	7.33	7.21

I risultati di produzione annuale includono le perdite indicate. In fase decisionale, andranno considerate ulteriori perdite e incertezze.

**Figura 9 : Stima della produzione per il parco eolico di Gravina in Puglia**

In Figura 10 sono riportati valori calcolati per l'intero parco.

### Produzione annuale stimata del parco eolico TOTALE

Risultato Park [MWh/anno]	Lordo (senza perdite) [MWh/anno]	Wake loss (%)	Fattore di Capacità (%)	Media per WTG [MWh/anno]	Ore equivalenti [Ore/anno]	Velocità media al mozzo [m/s]
<b>125'352.4</b>	<b>130'184.3</b>	<b>3.7</b>	<b>36.1</b>	<b>20'892.1</b>	<b>3'165</b>	<b>6.7</b>

Figura 10: risultati della simulazione di WINDpro sul calcolo della producibilità del parco eolico

Infine, in Figura 11 è riportata una mappa che stima la risorsa eolica in termini di produzione annuale, calcolata tenendo conto della orografia e rugosità del terreno; da questa mappa si può vedere quindi la differente produzione annua sull'area, e quindi stimare in funzione delle posizioni delle turbine la loro relativa produzione.

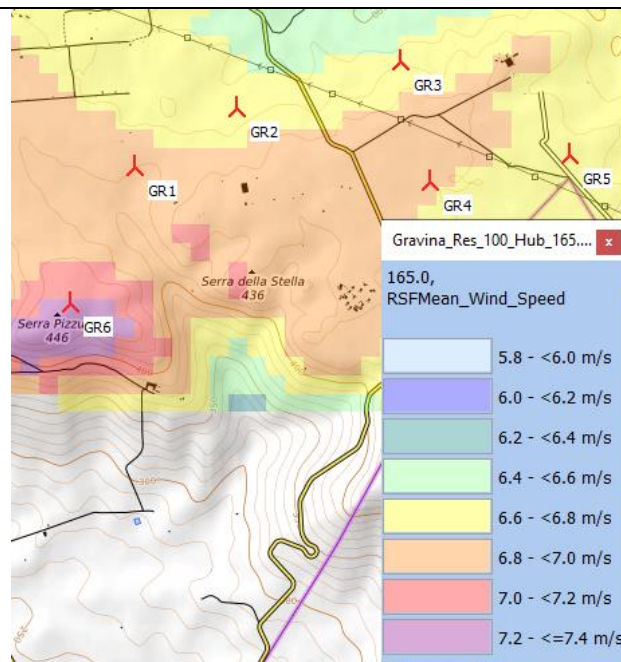


Figura 11: Mappe di ventosità elaborate con Windpro, riportate su Google Earth

## **9. CONCLUSIONI**

Il layout del futuro parco eolico analizzato in questo studio, presenta un livello di risorsa del vento, perfettamente vocata allo sfruttamento eolico. Il parco si trova localizzato nel comune di Gravina in Puglia in provincia di Bari.

Il parco eolico proposto è costituito da 6 aerogeneratori Siemens Gamesa 170 con una potenza nominale di 6,6 MW, ad una altezza al mozzo di 165m, la progettazione del parco sul territorio è avvenuta tenendo conto dei vincoli, degli aspetti morfologici del territorio e rispettando le distanze che permettano di sfruttare al massimo il vento disponibile.

Sono stati utilizzati i dati a lungo termine provenienti da modello ERA5 insieme al modello Atlas UL Windnavigator, per creare un dato meteorologico affidabile e consistente sul lungo termine.

Infine, mediante il programma Wind Pro e WASP si è calcolata la produzione di energia per aerogeneratore, questo ha tenuto conto dell'effetto scia degli aerogeneratori, della rugosità del terreno e dei rilievi topografici per l'ottimizzazione del layout.

Concludendo, i valori stimati della produzione di energia si sono ridotti per tener conto altre fonti potenziali di perdita di energia quali: disponibilità degli aerogeneratori, perdite elettriche, manutenzione, ed incertezze su misura, modelli, etc. Possiamo dire che il risultato, ottenuto grazie ai diversi modelli, per il sito di Gravina in Puglia, sia un buon risultato con una produzione di 125'352.4 MWh/anno, che equivale a circa 3165 ore annuali equivalenti per l'impianto di aerogeneratori considerato, così come riportato nella tabella riassuntiva in Figura 10.

L'area in oggetto è quindi perfettamente votata all'eolico che si configura come un impianto redditizio ed efficiente.

Allegati allo studio, i report con i risultati delle simulazioni.

## PARK - Risultato principale

Calcolo: Gravina\_6x SG170-6.6MW 165m\_2022-02-14

### Impostazioni

AEP scalata ad un anno esatto, in base al numero di campioni disponibili nella serie temporale  
Fattore di scala da 20.0 a 1 anno: 0.050

Calcolo delle scie eseguito in UTM (north)-WGS84 Zona: 33  
Al centro del sito, la differenza tra Nord del sistema di riferimento e Nord Vero è: 1.0°

### Scia

Modello di scia: N.O. Jensen (RIS0/EMD)  
Costante di decadimento scia  
Tipo terreno Costante di decadimento scia  
Definito dall'utente 0.040  
WTG di riferimento: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 !O! hub: 165.0 m (TOT: 250.0 m) (15)

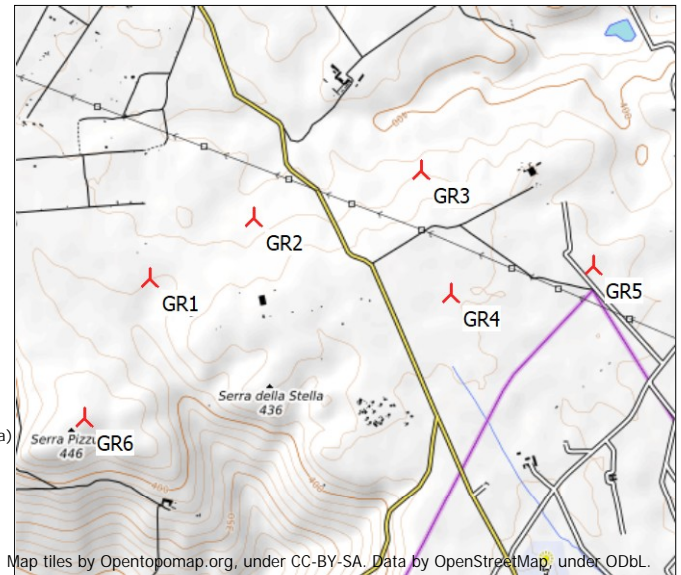
### Scaler/dati di vento

Nome EMD Default Measurement Mast Scaler  
Scaling terreno Measured Data Scaling (Neutral stability / Raw flow)  
Terreno alla microscaletta WASP IBZ from Site Data  
Periodo usato 2001-01-01 - 2020-12-31  
Oggetto/i Meteo EMD-WRF Europe+ (ERAS)\_N40.77309\_E016.548462\_shifted\_165m, 165.00m -  
Altezza di dislocamento Omnidirezionale, da Oggetti  
Versione WASP WASP 12 Version 12.00.0128

### Correzione della potenza

Correzione curva di potenza (metodo IEC modificato per corrispondere al controllo turbina)

	Min	Max	Med	Corr.	Corr.	Corr.
				[%]	Neg. [%]	Pos. [%]
Densità dell'aria						
Dalle impostazioni della densità dell'aria [°C]	12.1	12.3	12.2			
Pressione atmosferica [hPa]	942.9	945.7	944.7			
Densità dell'aria risultante [kg/m³]	1.151	1.154	1.153			
Rispetto al livello del mare a 15°C [%]	94.0	94.2	94.1	-3.5	-3.5	0.0



## Produzione annuale stimata del parco eolico

Combinazione di WTG	Risultato PARK [MWh/anno]	Lordo (senza perdite) [MWh/anno]	Perdite di scia [%]	Risultati <sup>a)</sup>		Velocità del vento		
				Fattore di capacità [%]	Media per WTG [MWh/anno]	Ore equivalenti [Ore/anno]	lorda [m/s]	ridotta dalla scia [m/s]
Parco eolico	125'352.4	130'184.3	3.7	36.1	20'892.1	3'165	6.9	6.7

<sup>a)</sup> Basati su perdite in scia e decurtazioni.

## Energia annuale calcolata per ciascuna delle 6 nuove WTG, per un totale di 39.6 MW nominali installati

Tipo di WTG	Valida	Produttore	Tipo generatore	Potenza nominale [kW]	Diametro rotore [m]	Altezza mozzo [m]	Curva di potenza		Produzione annuale		Velocità del vento	
							Creata da	Nome	Risultato [MWh/anno]	Perdite di scia [%]	lorda [m/s]	ridotta [m/s]
GR1	Si	Siemens Gamesa	SG 6.6-170-6'600	6'600	170.0	165.0	USER	SG 6.6-170 Rev. 0, AM 0 - 6.6 MW	21'271.6	1.8	6.88	6.79
GR2	Si	Siemens Gamesa	SG 6.6-170-6'600	6'600	170.0	165.0	USER	SG 6.6-170 Rev. 0, AM 0 - 6.6 MW	20'728.5	1.6	6.76	6.68
GR3	Si	Siemens Gamesa	SG 6.6-170-6'600	6'600	170.0	165.0	USER	SG 6.6-170 Rev. 0, AM 0 - 6.6 MW	19'689.5	5.5	6.72	6.50
GR4	Si	Siemens Gamesa	SG 6.6-170-6'600	6'600	170.0	165.0	USER	SG 6.6-170 Rev. 0, AM 0 - 6.6 MW	19'921.7	7.6	6.86	6.57
GR5	Si	Siemens Gamesa	SG 6.6-170-6'600	6'600	170.0	165.0	USER	SG 6.6-170 Rev. 0, AM 0 - 6.6 MW	20'716.9	3.1	6.83	6.70
GR6	Si	Siemens Gamesa	SG 6.6-170-6'600	6'600	170.0	165.0	USER	SG 6.6-170 Rev. 0, AM 0 - 6.6 MW	23'024.1	2.8	7.33	7.21

I risultati di produzione annuale includono le perdite indicate. In fase decisionale, andranno considerate ulteriori perdite e incertezze.

## Posizione delle WTG

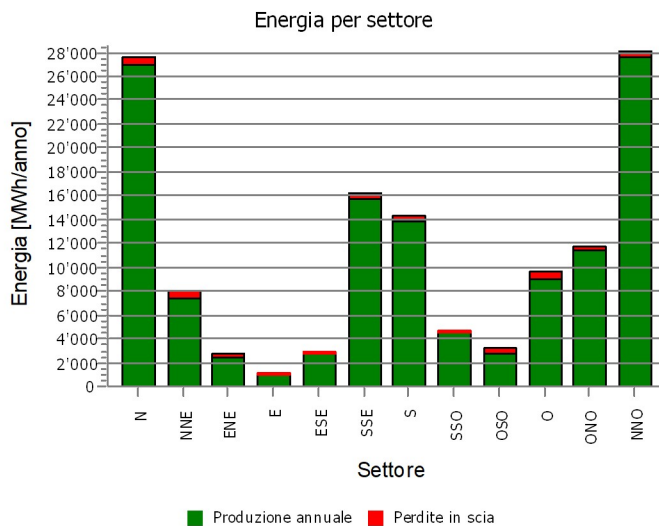
	UTM (north)-WGS84 Zona: 33				Dati/Descrizione	Periodo calcolato	
	Easting	Northing	Z			Inizio	Fine
					[m]		
GR1	Nuova	624'416	4'513'587	420.0	Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 !O! hub: 165.0 m (TOT: 250.0 m) (19)	2001-01-01	2020-12-31
GR2	Nuova	624'958	4'513'915	415.7	Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 !O! hub: 165.0 m (TOT: 250.0 m) (18)	2001-01-01	2020-12-31
GR3	Nuova	625'844	4'514'179	416.6	Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 !O! hub: 165.0 m (TOT: 250.0 m) (15)	2001-01-01	2020-12-31
GR4	Nuova	626'009	4'513'534	430.9	Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 !O! hub: 165.0 m (TOT: 250.0 m) (17)	2001-01-01	2020-12-31
GR5	Nuova	626'763	4'513'691	424.1	Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 !O! hub: 165.0 m (TOT: 250.0 m) (16)	2001-01-01	2020-12-31
GR6	Nuova	624'080	4'512'843	439.8	Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 !O! hub: 165.0 m (TOT: 250.0 m) (20)	2001-01-01	2020-12-31

## PARK - Analisi della produzione

Calcolo: Gravina\_6x SG170-6.6MW 165m\_2022-02-14WTG: Tutte le WTG nuove, densità dell'aria variabile con la posizione della WTG: 1.151 kg/m<sup>3</sup> - 1.154 kg/m<sup>3</sup>

### Analisi direzionale

Settore		0 N	1 NNE	2 ENE	3 E	4 ESE	5 SSE	6 S	7 SSO	8 OSO	9 O	10 ONO	11 NNO	Totale
Model based energy	[MWh]	27'661.2	8'006.5	2'674.7	1'083.2	2'876.3	16'190.9	14'337.0	4'656.3	3'219.3	9'662.4	11'723.0	28'093.5	130'184.3
-Perdite dovute alle scie	[MWh]	696.7	553.1	302.1	100.9	89.5	393.2	480.1	237.6	416.1	646.5	400.9	515.3	4'831.9
Energia risultante	[MWh]	26'964.5	7'453.4	2'372.6	982.3	2'786.8	15'797.7	13'856.9	4'418.7	2'803.2	9'015.9	11'322.2	27'578.1	125'352.4
Energia specifica	[kWh/m <sup>2</sup> ]													920
Energia specifica	[kWh/kW]													3'165
Perdite dovute alle scie	[%]	2.5	6.9	11.3	9.3	3.1	2.4	3.3	5.1	12.9	6.7	3.4	1.8	3.71
Ore equivalenti	[Ore/anno]	681	188	60	25	70	399	350	112	71	228	286	696	3'165



## PARK - Analisi della curva di potenza

Calcolo: Gravina\_6x SG170-6.6MW 165m\_2022-02-14WTG: GR3 - Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO!, Altezza mozzo: 165.0 m  
Nome: SG 6.6-170 Rev. 0, AM 0 - 6.6 MW  
Fonte: Developer Package D2830475/002, 2021-07-21

Data fonte	Creata da	Creato	Modificato	Soglia di blocco [m/s]	Controllo della potenza	Tipo di curva Ct	Tipo di generatore	Potenza specifica kW/m <sup>2</sup>
2021-07-21	USER	2022-02-02	2022-02-02	25.0	Pitch	Definito dall'utente	Variable	0.29

Confronto con curva HP - Nota: per densità dell'aria standard

V media	[m/s]	5	6	7	8	9	10
Valore HP Pitch, variable speed (2013)	[MWh]	11'445	17'316	22'937	27'907	32'074	35'390
Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! SG 6.6-170 Rev. 0, AM 0 - 6.6 MW	[MWh]	11'609	17'473	23'049	27'920	31'913	34'975
Valore di controllo	[%]	-1	-1	0	0	1	1

La tabella mostra il confronto con la produzione annuale di energia calcolata sulla base delle semplici "curve HP", che assumono che tutte le WTG abbiano prestazioni simili - solo la potenza specifica (kW/m<sup>2</sup>), la velocità singola/duale o stallo/pitch influenzano i valori calcolati. La produzione è intesa senza le perdite di scia.

Per ulteriori dettagli, consultare la relazione di progetto n. 51171/00-0016 dell'Agenzia Danese per l'Energia, o il manuale di windPRO.

Il metodo è descritto nel rapporto EMD "20 Detailed Case Studies comparing Project Design Calculations and actual Energy Productions for Wind Energy Projects worldwide", gennaio 2003.

Usare la tabella per valutare se la curva di potenza data è ragionevole - se il valore di controllo è inferiore a -5%, la curva di potenza è probabilmente troppo ottimistica a causa dell'incertezza sulla sua misurazione.

### Curva di potenza

Dati originali dal Catalogo WTG, Densità dell'aria: 1.225 kg/m<sup>3</sup>

Velocità del vento [m/s]	Potenza [kW]	Cp	Velocità del vento [m/s]	Curva Ct
3.0	99.0	0.24	3.0	0.95
3.5	178.0	0.30	3.5	0.88
4.0	328.0	0.37	4.0	0.85
4.5	522.0	0.41	4.5	0.83
5.0	758.0	0.44	5.0	0.82
5.5	1040.0	0.45	5.5	0.83
6.0	1376.0	0.46	6.0	0.83
6.5	1771.0	0.46	6.5	0.84
7.0	2230.0	0.47	7.0	0.84
7.5	2757.0	0.47	7.5	0.84
8.0	3346.0	0.47	8.0	0.82
8.5	3974.0	0.47	8.5	0.80
9.0	4600.0	0.45	9.0	0.77
9.5	5177.0	0.43	9.5	0.71
10.0	5660.0	0.41	10.0	0.65
10.5	6024.0	0.37	10.5	0.58
11.0	6272.0	0.34	11.0	0.51
11.5	6424.0	0.30	11.5	0.44
12.0	6510.0	0.27	12.0	0.38
12.5	6556.0	0.24	12.5	0.34
13.0	6579.0	0.22	13.0	0.29
13.5	6590.0	0.19	13.5	0.26
14.0	6596.0	0.17	14.0	0.23
14.5	6598.0	0.16	14.5	0.21
15.0	6599.0	0.14	15.0	0.19
15.5	6600.0	0.13	15.5	0.17
16.0	6600.0	0.12	16.0	0.16
16.5	6600.0	0.11	16.5	0.14
17.0	6600.0	0.10	17.0	0.13
17.5	6600.0	0.09	17.5	0.12
18.0	6600.0	0.08	18.0	0.12
18.5	6468.0	0.07	18.5	0.10
19.0	6336.0	0.07	19.0	0.09
19.5	6204.0	0.06	19.5	0.08
20.0	6072.0	0.05	20.0	0.07
20.5	5940.0	0.05	20.5	0.07
21.0	5808.0	0.05	21.0	0.06
21.5	5676.0	0.04	21.5	0.06
22.0	5544.0	0.04	22.0	0.05
22.5	5412.0	0.03	22.5	0.05
23.0	5280.0	0.03	23.0	0.04

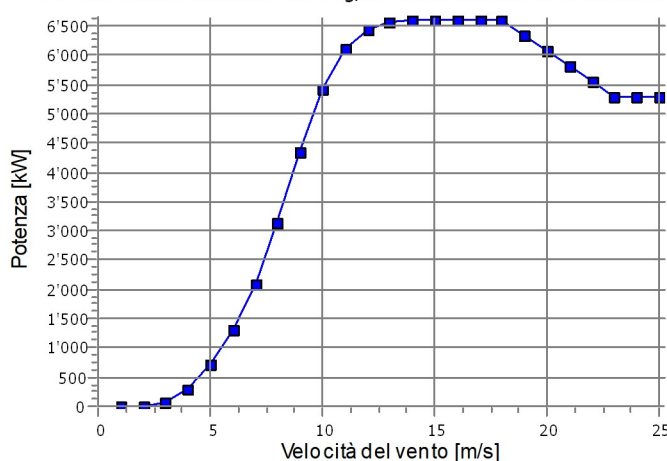
### Potenza ed efficienza vs. velocità del vento

Dati usati nel calcolo, Densità media dell'aria: 1.154 kg/m<sup>3</sup>

Velocità del vento [m/s]	Potenza [kW]	Cp
1.0	0.0	0.00
2.0	0.0	0.00
3.0	78.1	0.22
4.0	303.5	0.36
5.0	709.9	0.43
6.0	1'293.8	0.46
7.0	2'099.0	0.47
8.0	3'152.5	0.47
9.0	4'352.2	0.46
10.0	5'417.0	0.41
11.0	6'110.0	0.35
12.0	6'439.0	0.28
13.0	6'557.0	0.23
14.0	6'589.6	0.18
15.0	6'597.8	0.15
16.0	6'599.8	0.12
17.0	6'600.0	0.10
18.0	6'600.0	0.09
19.0	6'336.0	0.07
20.0	6'072.0	0.06
21.0	5'808.0	0.05
22.0	5'544.0	0.04
23.0	5'280.0	0.03
24.0	5'280.0	0.03
25.0	5'280.0	0.03

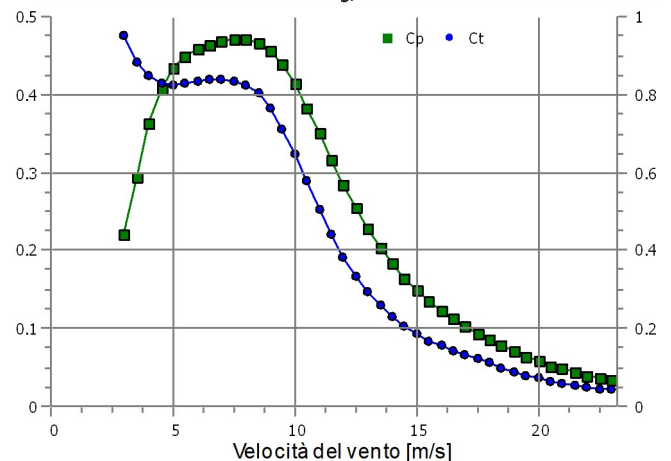
Curva di potenza

Per una densità dell'aria: 1.154 kg/m<sup>3</sup> e dati climatici di riferimento



Curve Cp e Ct

Per una densità dell'aria: 1.154 kg/m<sup>3</sup> e dati climatici di riferimento



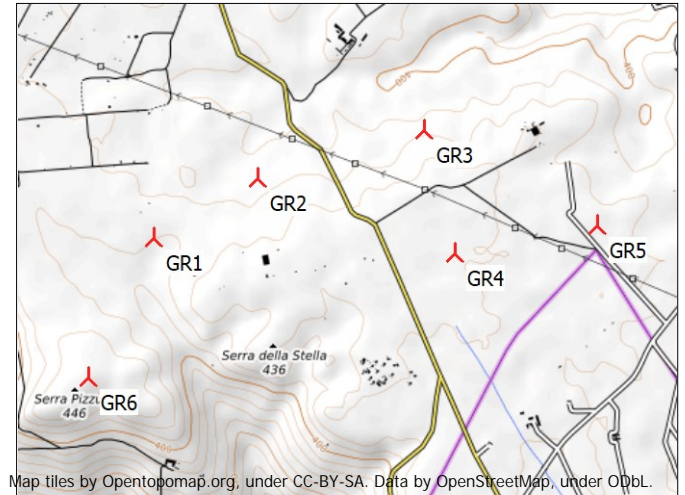


## PARK - Distanze tra le WTG


Calcolo: Gravina\_6x SG170-6.6MW 165m\_2022-02-14

### Distanze tra le WTG

Z	WTG più vicina	Z	Distanza orizzontale [m]	Distanza in Diametri Rotore	
GR1	420.0	GR2	415.7	634	3.7
GR2	415.7	GR1	420.0	634	3.7
GR3	416.6	GR4	430.9	666	3.9
GR4	430.9	GR3	416.6	666	3.9
GR5	424.1	GR4	430.9	770	4.5
GR6	439.8	GR1	420.0	816	4.8
Min	415.7		415.7	634	3.7
Max	439.8		430.9	816	4.8



Scala 1:40'000

 Nuova WTG



## PARK - Produzione annuale in funzione del tempo

Calcolo: Gravina\_6x SG170-6.6MW 165m\_2022-02-14

Parco eolico: 39.6 MW, 6 turbine di tipo Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 !O!.

Selezione: Tutte le WTG nuove

Produzione media calcolata, per mese e per ora [MWh]. Il risultato include le perdite dovute a scie e decurtazioni.

I valori sono stati scalati ad un anno completo, v. fattori di correzione nella pagina Risultato Principale.

Mese / Ora [MWh]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Totale
0	556	526	574	438	418	349	377	325	345	365	448	560	5'279
1	553	530	558	427	419	354	386	336	356	363	457	551	5'290
2	543	531	559	424	429	355	394	345	363	358	461	561	5'323
3	539	518	553	427	427	374	403	350	366	363	457	555	5'332
4	551	518	555	437	421	385	408	366	366	368	448	545	5'368
5	559	525	554	433	419	394	422	359	363	368	448	548	5'394
6	547	524	550	432	410	391	422	360	359	370	457	557	5'377
7	547	522	550	410	335	279	315	306	336	370	453	550	4'973
8	540	516	482	319	295	248	282	236	244	331	449	553	4'495
9	518	436	414	311	302	257	281	234	250	277	404	527	4'209
10	435	407	425	338	319	271	292	235	262	288	372	453	4'096
11	420	407	451	365	352	282	309	252	281	307	367	445	4'239
12	431	429	473	398	385	319	354	287	299	320	384	451	4'531
13	448	458	516	428	417	378	418	348	328	336	404	456	4'935
14	463	479	539	454	443	411	484	429	372	354	411	472	5'311
15	488	491	566	482	449	439	504	461	403	373	426	477	5'559
16	517	512	578	472	460	444	532	478	414	409	456	515	5'787
17	559	541	576	461	449	433	527	472	414	437	491	574	5'934
18	585	576	609	472	446	392	489	433	408	452	503	582	5'947
19	576	570	625	499	467	373	460	420	411	450	478	569	5'898
20	566	557	607	494	487	404	466	398	375	415	460	564	5'795
21	549	545	584	479	473	393	428	365	358	404	453	563	5'595
22	548	530	581	459	455	367	404	327	348	389	441	553	5'401
23	542	523	576	447	436	350	382	319	334	383	453	541	5'284
Totale	12'579	12'172	13'055	10'307	9'914	8'644	9'737	8'442	8'355	8'850	10'578	12'721	125'352

Mese / Ora [MW]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Totale
0	17.9	18.8	18.5	14.6	13.5	11.6	12.2	10.5	11.5	11.8	14.9	18.1	14.5
1	17.8	18.9	18.0	14.2	13.5	11.8	12.5	10.8	11.9	11.7	15.2	17.8	14.5
2	17.5	19.0	18.0	14.1	13.8	11.8	12.7	11.1	12.1	11.5	15.4	18.1	14.6
3	17.4	18.5	17.8	14.2	13.8	12.5	13.0	11.3	12.2	11.7	15.2	17.9	14.6
4	17.8	18.5	17.9	14.6	13.6	12.8	13.2	11.8	12.2	11.9	14.9	17.6	14.7
5	18.0	18.8	17.9	14.4	13.5	13.1	13.6	11.6	12.1	11.9	14.9	17.7	14.8
6	17.6	18.7	17.7	14.4	13.2	13.0	13.6	11.6	12.0	11.9	15.2	18.0	14.7
7	17.6	18.6	17.7	13.7	10.8	9.3	10.1	9.9	11.2	11.9	15.1	17.7	13.6
8	17.4	18.4	15.5	10.6	9.5	8.3	9.1	7.6	8.1	10.7	15.0	17.8	12.3
9	16.7	15.6	13.4	10.4	9.7	8.6	9.1	7.6	8.3	8.9	13.5	17.0	11.5
10	14.0	14.5	13.7	11.3	10.3	9.0	9.4	7.6	8.7	9.3	12.4	14.6	11.2
11	13.5	14.6	14.6	12.2	11.4	9.4	10.0	8.1	9.4	9.9	12.2	14.4	11.6
12	13.9	15.3	15.3	13.3	12.4	10.6	11.4	9.3	10.0	10.3	12.8	14.5	12.4
13	14.4	16.4	16.6	14.3	13.5	12.6	13.5	11.2	10.9	10.8	13.5	14.7	13.5
14	15.0	17.1	17.4	15.1	14.3	13.7	15.6	13.8	12.4	11.4	13.7	15.2	14.5
15	15.7	17.5	18.3	16.1	14.5	14.6	16.2	14.9	13.4	12.0	14.2	15.4	15.2
16	16.7	18.3	18.6	15.7	14.8	14.8	17.2	15.4	13.8	13.2	15.2	16.6	15.9
17	18.0	19.3	18.6	15.4	14.5	14.4	17.0	15.2	13.8	14.1	16.4	18.5	16.3
18	18.9	20.6	19.6	15.7	14.4	13.1	15.8	14.0	13.6	14.6	16.8	18.8	16.3
19	18.6	20.4	20.2	16.6	15.1	12.4	14.8	13.6	13.7	14.5	15.9	18.4	16.2
20	18.3	19.9	19.6	16.5	15.7	13.5	15.0	12.8	12.5	13.4	15.3	18.2	15.9
21	17.7	19.5	18.8	16.0	15.2	13.1	13.8	11.8	11.9	13.0	15.1	18.2	15.3
22	17.7	18.9	18.7	15.3	14.7	12.2	13.0	10.6	11.6	12.5	14.7	17.8	14.8
23	17.5	18.7	18.6	14.9	14.1	11.7	12.3	10.3	11.1	12.3	15.1	17.4	14.5
Totale	16.9	18.1	17.5	14.3	13.3	12.0	13.1	11.3	11.6	11.9	14.7	17.1	14.3

## PARK - Produzione annuale in funzione del tempo

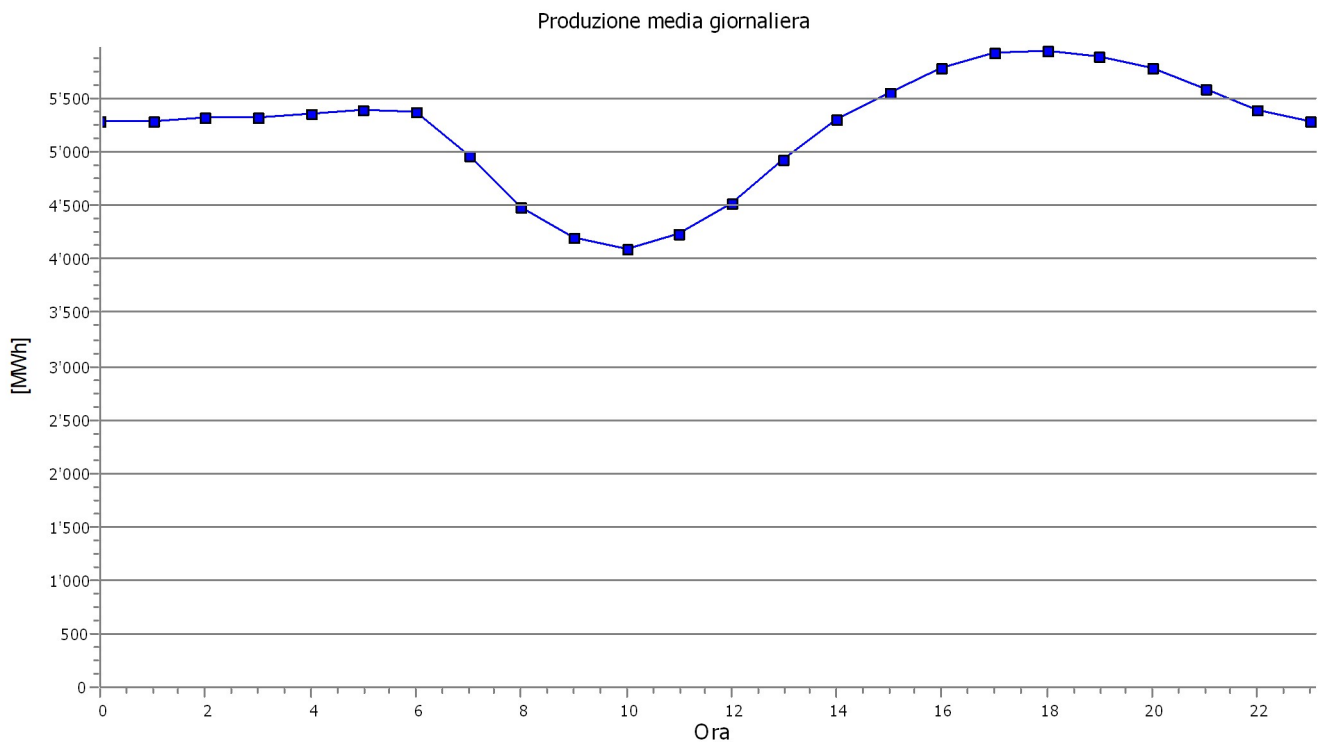
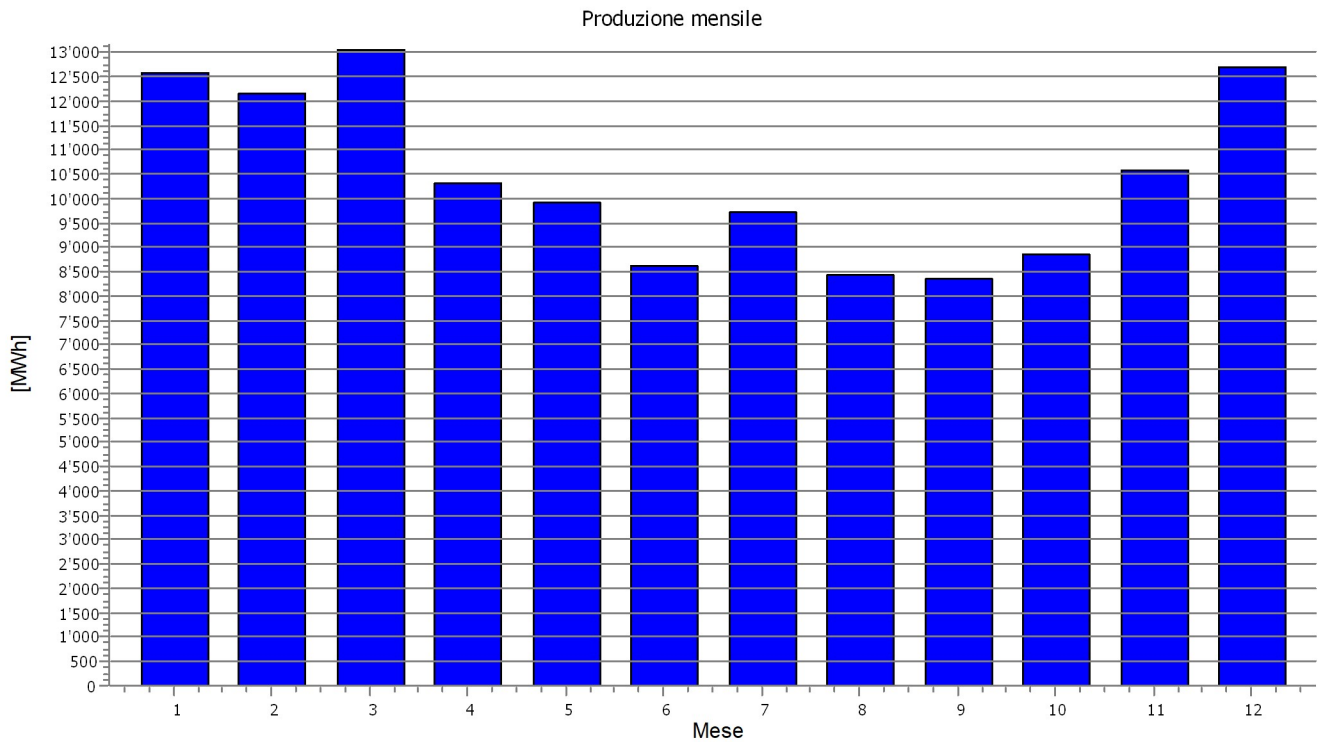
Calcolo: Gravina\_6x SG170-6.6MW 165m\_2022-02-14

Parco eolico: 39.6 MW, 6 turbine di tipo Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 !O!.

Selezione: Tutte le WTG nuove

Produzione media calcolata, per mese e per ora [MWh]. Il risultato include le perdite dovute a scie e decurtazioni.

I valori sono stati scalati ad un anno completo, v. fattori di correzione nella pagina Risultato Principale.



## PARK - Produzione annuale in funzione del tempo

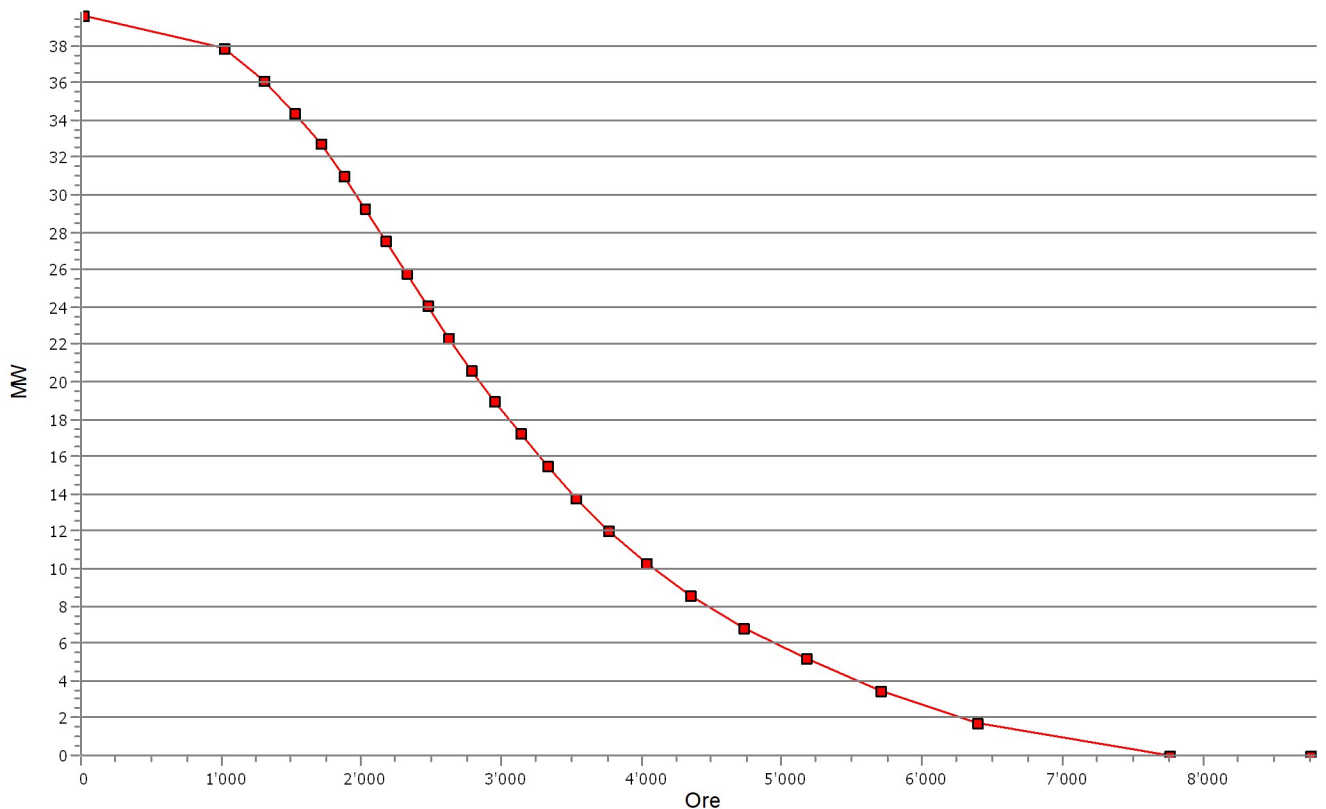
Calcolo: Gravina\_6x SG170-6.6MW 165m\_2022-02-14

Parco eolico: 39.6 MW, 6 turbine di tipo Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 !O!.

Selezione: Tutte le WTG nuove

Ore	Ore [%]	Ore cumulate	Potenza [MW]	Potenza (MW/WTG)
10	0.1	10	39.6	6.6
1010	11.5	1020	37.9 - 39.6	6.3 - 6.6
287	3.3	1308	36.2 - 37.9	6.0 - 6.3
210	2.4	1518	34.4 - 36.2	5.7 - 6.0
187	2.1	1705	32.7 - 34.4	5.5 - 5.7
165	1.9	1870	31.0 - 32.7	5.2 - 5.5
150	1.7	2020	29.3 - 31.0	4.9 - 5.2
147	1.7	2167	27.5 - 29.3	4.6 - 4.9
152	1.7	2319	25.8 - 27.5	4.3 - 4.6
150	1.7	2469	24.1 - 25.8	4.0 - 4.3
153	1.7	2622	22.4 - 24.1	3.7 - 4.0
161	1.8	2783	20.7 - 22.4	3.4 - 3.7
167	1.9	2950	18.9 - 20.7	3.2 - 3.4
182	2.1	3132	17.2 - 18.9	2.9 - 3.2
190	2.2	3322	15.5 - 17.2	2.6 - 2.9
207	2.4	3529	13.8 - 15.5	2.3 - 2.6
235	2.7	3764	12.1 - 13.8	2.0 - 2.3
269	3.1	4034	10.3 - 12.1	1.7 - 2.0
315	3.6	4348	8.6 - 10.3	1.4 - 1.7
373	4.3	4721	6.9 - 8.6	1.1 - 1.4
448	5.1	5169	5.2 - 6.9	0.9 - 1.1
533	6.1	5702	3.4 - 5.2	0.6 - 0.9
691	7.9	6392	1.7 - 3.4	0.3 - 0.6
1368	15.6	7760	0.0 - 1.7	0.0 - 0.3
1006	11.5	8766	0.0	0.0

Curva di durata, parco da 39.6 MW



Progetto:  
Altamura

Utente autorizzato:  
wpd AG  
Stephanitorsbollwerk 3 (Haus LUV)  
DE-28211 Bremen  
+49 7142 77810  
Niklas Wittkamp / n.wittkamp@wpd.de  
Redatto il:  
2022-02-14 15:23/3.5.576



## PARK - Informazioni sullo scaling

Calcolo: Gravina\_6x SG170-6.6MW 165m\_2022-02-14

### Impostazioni Scaler

Nome	EMD Default Measurement Mast Scaler
Scaling terreno	Measured Data Scaling (Neutral stability / Raw flow)
Correzione RIX	No RIX correction
Altezza di dislocamento	from objects
Terreno alla microscala	TDO statgen

Dati di Sito: TDO statgen

Ostacoli:

Tutti gli ostacoli usati

Rugosità:

Il calcolo usa i seguenti files .map:

L:\PE\Wind\02\_projects\Italy\2\_New\_projects\10\_Altamura\09\_WindPRO\ROUGHNESSLINE\_Altamura\_nachdigitalisiert.wpo  
Min X: 599'251, Max X: 659'274, Min Y: 4'482'246, Max Y: 4'544'374, Ampiezza: 60'023 m, Altezza: 62'128 m

Orografia:

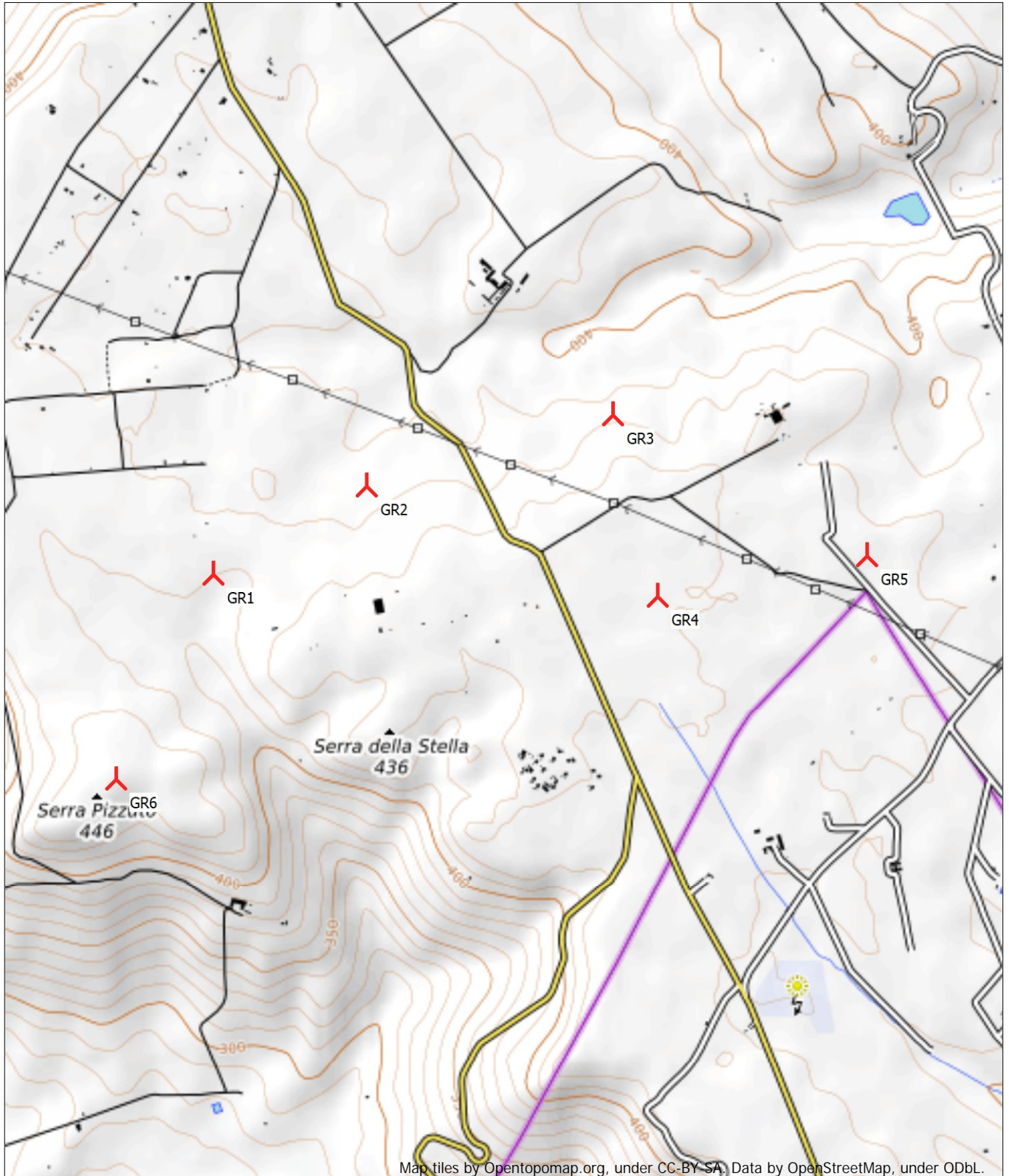
Il calcolo usa i seguenti files .map:

L:\PE\Wind\02\_projects\Italy\2\_New\_projects\10\_Altamura\09\_WindPRO\CONTOURLINE\_ONLINEDATA\_0.wpo  
Min X: 607'518, Max X: 646'897, Min Y: 4'493'928, Max Y: 4'534'550, Ampiezza: 39'379 m, Altezza: 40'622 m

Fattore moltiplicativo	1.0000
Fattore additivo	0.0000
Per settore	No
Per mese	No
Per ora	No
Per velocità del vento	No

## PARK - Mappa

Calcolo: Gravina\_6x SG170-6.6MW 165m\_2022-02-14



0 250 500 750 1000m

Mappa: OpenTopoMap, Scala di stampa 1:20'000, Centro mappa UTM (north)-WGS84 Zone: 33 Est: 625'422 Nord: 4'513'511

 Nuova WTG