

# Impianto eolico nel Comune di Fiumicino (RM)

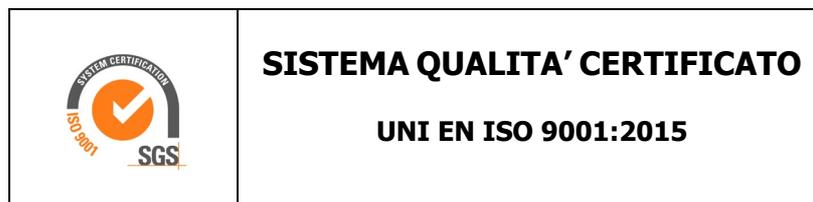
## Regione Lazio

### Analisi dati anemometrici e Valutazione della Produzione Eolica preliminare

CLIENTE	REVISIONE				REDAZIONE
	N°	MESE	ANNO	LUOGO	C. Gaioni
	00	Aprile	2024	GARDONE VAL TROMPIA	<i>Carlo Gaioni</i>
					<b>APPROVAZIONE</b> C. Mazzarella
<b>ORDINE RIF.</b>	Accettazione ns. Offerta 274_BS_2023_Rev1 del 26/11/2023 e successivi accordi				<i>C. Mazzarella</i>

**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>7</b>
<b>4</b>	<b>VALUTAZIONE DELLA VENTOSITA' DI LUNGO PERIODO</b> .....	<b>8</b>
<b>4.1</b>	<b>Correlazione tra i dati di velocità media mensile</b> .....	<b>9</b>
<b>4.2</b>	<b>Verifica del posizionamento storico della serie di dati di RIF1</b> .....	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>MATERIALE RESO DISPONIBILE DAL COMMITTENTE</b> .....	<b>11</b>
<b>5.1</b>	<b>Aerogeneratore</b> .....	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>MODELLO DI CALCOLO</b> .....	<b>13</b>
<b>7</b>	<b>AREA DI APPLICAZIONE DEL MODELLO</b> .....	<b>13</b>
<b>8</b>	<b>VERIFICHE SUL MODELLO</b> .....	<b>13</b>
<b>8.1</b>	<b>Verifica dell'approssimazione della curva di Weibull</b> .....	<b>14</b>
<b>8.2</b>	<b>Verifica del gradiente al suolo della velocità del vento</b> .....	<b>15</b>
<b>8.3</b>	<b>Anemometro virtuale</b> .....	<b>16</b>
<b>9</b>	<b>RISULTATI DI WASP</b> .....	<b>18</b>
<b>9.1</b>	<b>Producibilità lorda dell'impianto</b> .....	<b>18</b>
<b>10</b>	<b>PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO AL NETTO DELLE PERDITE</b> .....	<b>19</b>
<b>11</b>	<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>21</b>

- ✓ *Allegato 1: Tavole*
- ✓ *Allegato 2: Tabelle e grafici analisi dati serie anemometrica*

## 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 **SKI W A4**, è la caratterizzazione anemologica di un sito e la conseguente valutazione di producibilità (o della produzione attesa) di un impianto eolico in progetto nel Comune di Fiumicino, in Provincia di Roma, nella Regione Lazio. 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 stazione storica posta nella più ampia area considerata, a conferma che tale serie di dati 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 a quella 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 in prossimità del confine settentrionale del Comune di Fiumicino, in Provincia di Roma, nella parte centrale della Regione Lazio.

L'area geografica che lo ospita, nel suo contesto più ampio, è caratterizzata da un'orografia poco complessa e da una rugosità media. Nel particolare, il sito destinato ad ospitare l'impianto si colloca in un'ampia zona pianeggiante, senza alcun rilievo importante e/o altro ostacolo influente per molti chilometri. La ventosità predominante proviene soprattutto dai settori Nord e Sud-SudOvest.

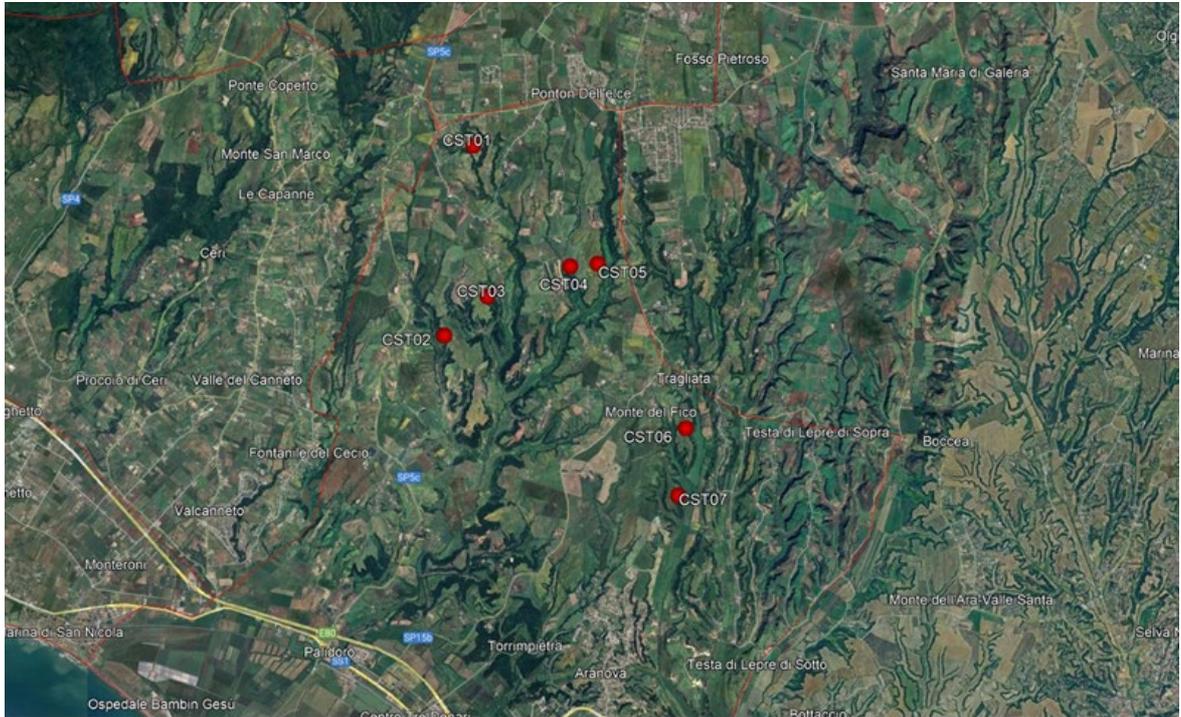
Per quanto riguarda le caratteristiche orografiche del territorio, le principali informazioni sono:

- Altitudine media: **100 m slm**
- Orografia del sito: **poco complessa**
- Orografia circostante il sito: **poco complessa**
- Utilizzo del terreno: **pascolo**

Per il sito in oggetto sono state ipotizzate sette 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, 2 e 3** 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	
CST01	Fiumicino	133	269.011	4.654.842	269.011	4.654.842	32
CST02	Fiumicino	102	268.366	4.651.401	268.446	4.651.596	
CST03	Fiumicino	108	269.174	4.652.088	269.255	4.652.283	
CST04	Fiumicino	112	270.696	4.652.591	270.777	4.652.786	
CST05	Fiumicino	111	271.195	4.652.621	271.276	4.652.816	
CST06	Fiumicino	91	272.701	4.649.571	272.782	4.649.766	
CST07	Fiumicino	78	272.526	4.648.348	272.607	4.648.543	

### 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 meteo anemometrica denominata Riferimento 1, codice RIF1, ricadente nel comune di Bracciano.

Di seguito si riportano in sintesi alcuni dati sull'ubicazione della stazione meteo anemometrica:

Codice	Denominazione	Coordinate WGS84		Quota (s.l.m.)	Altezza
		Latitudine	Longitudine	(m)	(m)
<b>RIF1</b>	Riferimento 1	42° 04'	12° 13'	257	10

La disponibilità dei dati validi risulta essere:

Codice	Denominazione	Durata misura	Periodo di misura		Disponibilità
		(mesi)	Inizio	Fine	%
<b>RIF1</b>	Riferimento 1	12.0	01/01/2013	31/12/2013	99.8

I processi di analisi dei dati anemometrici disponibili della stazione Riferimento 1, di validazione e di loro successiva elaborazione, sono ampiamente illustrati nell'**Allegato Tabelle e Grafici**, cui bisogna riferirsi per approfondimenti e verifiche.

I risultati sintetici dell'elaborazione statistica dei dati della stazione considerata, 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</b>	Riferimento 1	12.0	10	3.26	61	4.02	1.88

Non risultando tale serie di durata sufficiente per le stime, si è provveduto ad integrare i dati misurati con una serie di dati storici d'area (Codice STO1), contemporanea al periodo acquisito da RIF1.

La stazione anemometrica Riferimento 1 si trovava a meno di 8 km in direzione Nord dalla posizione della turbina CST01, ad una quota superiore, rispetto a quest'ultima, di circa 120 m.

Relativamente all'impianto, il quale si sviluppa per circa 7 km, il posizionamento della stazione non è ottimale per le stime successive con modello ma grazie alla sostanziale assenza di rilievi e/o ostacoli al flusso del vento che investe la stazione ed il layout, ad una morfologia del territorio intercorrente poco complessa, oltre che al processo di micrositing con altri dati anemometrici a Sud dell'impianto, le elaborazioni fluidodinamiche permetteranno comunque, un inquadramento coerente del comportamento della risorsa in sito.

#### **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 RIF1 sono messi a disposizione dati riferibili ad una campagna di misura di 12 mesi. Tale durata non viene ritenuta sufficiente per poter considerare la velocità media registrata come quella di lungo periodo e, quindi, disponendo di serie di dati temporalmente ampie e relative all'area considerata, si ritiene opportuno verificare il posizionamento storico del valore di ventosità elaborato.

La stima della ventosità di lungo periodo (o storicizzazione) può esser effettuata utilizzando i dati di ventosità rilevati per diversi anni da una o più serie di dati storiche 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 da confrontare devono essere possibilmente nelle medesime condizioni orografiche di esposizioni ai venti ed abbastanza vicini in modo che si possa ipotizzare siano soggette agli stessi regimi di vento; è comunque possibile, mediante confronti e correlazioni, verificare la validità di queste condizioni.

Nel caso specifico si dispone di una serie di dati, considerata storica grazie alla disponibilità di oltre 20 anni, ricadente nel medesimo comune dell'impianto, i cui dettagli sono visibili nella tabella sottostante.

Fonte	Posizione	Periodo	Velocità media	Disponibilità
Storica 1	Lat. 41° 48' N – Long. 12° 16' E	01/2000 – * attiva *	3.41 m/s	97.2%

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

1. Confronto degli andamenti dei dati contemporanei di velocità media giornaliera delle due serie
2. Correlazione tra le coppie di dati contemporanei di velocità media giornaliera delle due serie
3. Valutazione della ventosità storica della stazione RIF1 sulla base dei parametri scaturiti dalle correlazioni e dai valori di ventosità storica della serie di lungo periodo (STO1)

#### 4.1 Correlazione tra i dati di velocità media mensile

I parametri caratteristici delle correlazioni tra le serie storiche e quella di breve periodo mettono in evidenza il coefficiente ( $R_0$ ) che, abbinato alla consistenza del numero di valori correlati, esprime la bontà/validità del procedimento e quindi in quale misura siano coinvolti gli stessi regimi di vento.

Serie Storica (Cod. ST01) - Variabile X							
Stazione di Riferimento Variabile Y	Tipo di correlazione	Numero di punti validi	Coeff. Di correlazione <b>R<sub>0</sub></b>	Parametro <b>A</b>	Parametro <b>B</b>	Parametro <b>C</b>	Parametro <b>R</b>
<b>RIF1</b>	Giornaliero	365	0.759	0.795	0.397	0.889	0.905

Dove:

- **ro** = Coefficiente di correlazione
- **A, B** = parametri della retta di regressione senza la condizione del passaggio per lo zero
- **C** = coefficiente angolare della retta di regressione passante per lo zero
- **R** = rapporto tra le medie (dei soli valori elementari contemporanei)

Come è possibile evincere osservando il coefficiente di correlazione, il confronto non appare ottimale ma è comunque ragionevolmente corretto ritenerlo coerente ed utilizzabile, anche alla luce delle decurtazioni che tale processo imporrà al valore usato per le valutazioni di produzione, come meglio chiarito nel paragrafo successivo.

Nella elaborazione eseguita, che riporta i punti che rappresentano la coppia di valori di velocità media giornaliera, si sono evidenziate due serie, ottenute dalla regressione lineare: la prima senza il vincolo di passaggio per il punto di origine e la seconda con tale vincolo. Per la stima della ventosità di lungo periodo viene solitamente utilizzata la serie definita dai due parametri a e b perché è quella che induce uno scarto quadratico medio dei residui inferiore e nel caso specifico, trattandosi di medie con base temporale sufficientemente ampia, non è necessaria la condizione di passaggio dall'origine. Inoltre, è stato anche considerato, con R, il rapporto tra le medie dei dati contemporanei, utilizzando per il calcolo l'insieme dei singoli valori di media mensile.

## 4.2 Verifica del posizionamento storico della serie di dati di RIF1

Come noto, i parametri delle rette di regressione ottenute come indicato nel capitolo precedente possono essere utilizzati come fattori di trasformazione della distribuzione del vento da un punto all'altro dell'area. Infatti, tali fattori spiegano, seppur in modo molto esemplificativo, i fenomeni di accelerazione o decelerazione della vena fluida del vento che scorre su un'area interessata dagli stessi venti.

Pertanto, tali serie, intese come funzioni di trasformazione della intensità del vento da un punto all'altro dell'area, possono essere considerate valide anche nel tempo e quindi utilizzate per valutare la ventosità di lungo periodo del sito che ospita la stazione di cui si dispongono meno dati rispetto alla sequenza di dati ritenuta storica.

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 della correlazione sopra descritta, che minimizza lo scarto quadratico dei residui, si ottiene:

Serie Storica (Cod. ST01) - Variabile X									
Stazione di Riferimento Variabile Y	Tipo di correlazione	n° punti correlazione	Coeff. di correlazione <b>Ro</b>	Parametro <b>A</b>	Parametro <b>B</b>	Misura di LP di X	Stima di LP in Y	Velocità in sito Y	<b>Ks</b>
<b>RIF1</b>	Giornaliera	365	0.759	0.795	0.397	3.408	3.106	3.264	<b>0.952</b>

Dove:

- **ro** = Coefficiente di correlazione
- **A, B** = parametri della retta di regressione
- **Misura LP in X** = Velocità media di lungo periodo della serie storica
- **Stima LP in Y** = Stima della velocità media di lungo periodo nella stazione RIF1
- **Velocità in sito Y** = Velocità media misurata dalla stazione RIF1
- **k storicizzazione** = Coefficiente di storicizzazione (rapporto tra la stima di velocità di lungo periodo e quella misurata)

Come si può evincere dai risultati della storicizzazione, utilizzando i parametri a e b frutto della correlazione con RIF1 dei dati di media giornaliera, la velocità media stimata di lungo periodo della stazione stessa è inferiore di quasi 5 punti percentuali rispetto al valore misurato durante la campagna anemometrica di 12 mesi. Per cui si decide di adottare l'indicazione suggerita. Al codice della stazione verrà aggiunto il suffisso "\_S", ad indicare l'avvenuta storicizzazione.

Per cui, per le valutazioni di produzione attesa da un impianto eolico nel sito, si consideri la velocità media annua di **RIF1\_S (a 10 m dal suolo) uguale a 3.11 m/s**.

Il suffisso "\_S", come detto, sta ad indicare che i risultati tengono conto della storicizzazione, che nel caso specifico ha indicato un decremento di velocità di quasi 5 punti percentuali.

## 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 e relativa curva di potenza e di spinta

### 5.1 Aerogeneratore

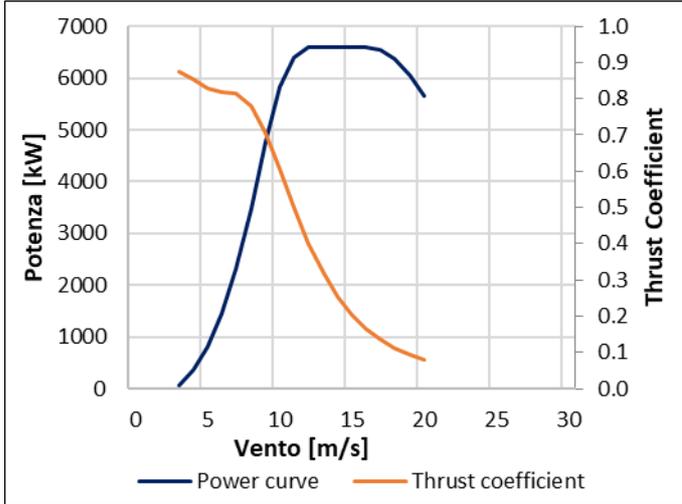
Per le valutazioni di producibilità è stato indicato un modello di turbina di grande taglia. Nella tabella sottostante sono riportate alcune sue caratteristiche essenziali:

COSTRUTTORE	MODELLO	MODE	Potenza nominale	Diametro Rotore	H Mozzo	Sorgente curva
NORDEX	N175 6.X	OM 0 – OM 1 s	6.6 MW (*)	175 m	132,5 m	Cliente

(\*) Potenza interpolata a cura del Committente, partendo dai valori nominali di 6.8 MW e 6.22 MW

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>) interpolata, a cura del committente, a partire dai valori nominali di 6.8MW e 6.22MW indicati dal costruttore.

Turbina		NORDEX N175 6.X		Diametro	175.0
Altezza di mozzo		132.5 m		Classe IEC	S
Vento (m/s)	Potenza (kW)	Thrust Coefficient			
0	-	-			
1	-	-			
2	-	-			
3	72	0.874			
4	356	0.852			
5	806	0.830			
6	1444	0.820			
7	2322	0.816			
8	3478	0.779			
9	4770	0.705			
10	5835	0.605			
11	6392	0.500			
12	6584	0.401			
13	6600	0.319			
14	6600	0.253			
15	6600	0.202			
16	6595	0.165			
17	6538	0.136			
18	6373	0.113			
19	6045	0.093			
20	5644	0.079			
21	-	-			
22	-	-			
23	-	-			
24	-	-			
25	-	-			
26	-	-			



## 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 1015 km<sup>2</sup>, precisamente un quadrato di 29x35 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. Inoltre, grazie alla presenza di ulteriori serie di dati nella più ampia area analizzata, le stime sono state verificate attraverso confronti e analisi di micrositing, i cui esiti sono stati accettabili.

## 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 relativa alla prima verifica, sia il raffronto tra le ventosità che quello tra i valori di energia specifica fanno emergere scostamenti non contenuti ma comunque accettabili.

Codice stazione	H	-	Unit	Measured	Emergent	Discrepancy (%)
RIF1_S	10 m	Mean wind speed	m/s	3.26	3.18	-2.45
		Mean power density	W/m <sup>2</sup>	61	62	+1.64

Riguardo la seconda verifica, la sovrastima dell'energia è identica alla precedente, mentre la sottostima della ventosità, risulta meno accentuata e sempre all'interno di parametri accettabili e, soprattutto, le discrepanze si possono ritenere compatibili coi limiti relativi alle incertezze insite nel processo posto in atto.

Codice stazione	H	-	Unit	Measured	Self Prediction	Discrepancy (%)
RIF1_S	10 m	Mean wind speed	m/s	3.26	3.19	-2.15
		Mean power density	W/m <sup>2</sup>	61	62	+1.64

Alla luce di quanto emerso e in considerazione di quanto espresso sopra, si può ritenere la verifica 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 le stazioni RIF1, il confronto può essere svolto unicamente confrontando i valori di gradiente atteso, sulla base del punto di installazione delle torri di misura, e quanto stimato dal modello di calcolo nelle stesse posizioni.

Per soddisfare l'esigenza descritta, è stata effettuata una simulazione sulla verticale della stazione, utilizzando in ingresso al modello i dati della stessa, confrontando i valori di alfa stimati tra le altezze di misura e quella del mozzo utilizzato.

Relativamente a RIF1, ci si può attendere un valore di gradiente al suolo superiore a 0.25 (orografia sostanzialmente pianeggiante nel punto di installazione ed addirittura antistante al lago). Il gradiente stimato dal modello di calcolo tra l'altezza di misura di RIF1 (10 m) e quella del mozzo previsto (132.5 m) risulta pari a 0.21, inferiore a quanto atteso. Al fine di evitare significative sottostime, pur mantenendo comunque, un approccio ragionevolmente cautelativo, si ritiene opportuno, anche alla luce di elaborazioni svolte con altre serie di dati, tarare nel modello di calcolo un gradiente di circa 0.27 per stimare la ventosità all'altezza di mozzo ipotizzata.

### 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 125 m in corrispondenza della posizione dell'aerogeneratore d'impianto **CST03** che, come ventosità e altitudine, 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.

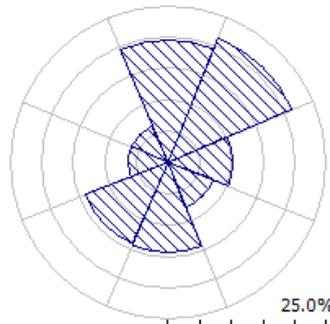
**Nella prima parte della tabella** sono riportati, per ciascuno dei 8 settori di direzione in cui è stato suddiviso l'angolo giro di 360° i seguenti parametri:

- 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 dei 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: **CST03** – Anemometer height: 125 m a.g.l.



	0	45	90	135	180	225	270	315
A	5.6	4.5	5.3	7.5	7.6	8.6	6.9	5.2
K	1.17	1.70	1.72	1.33	1.49	1.71	1.47	1.34
U	5.31	4.02	4.74	6.90	6.87	7.67	6.25	4.80
P	384	91	148	662	545	629	419	221
f	19.5	21.4	10.2	7.7	14.5	14.2	6.3	6.4

U	0	45	90	135	180	225	270	315	All
1.0	125	74	56	66	48	25	57	106	71
2.0	134	148	116	92	80	54	93	139	111
3.0	123	172	143	98	94	73	105	137	122
4.0	108	165	146	96	98	84	107	124	119
5.0	93	140	135	90	96	90	102	107	108
6.0	78	107	114	83	90	91	93	89	94
7.0	65	76	90	74	82	88	83	72	78
8.0	54	50	68	65	73	82	72	57	63
9.0	44	31	48	57	64	74	60	44	51
10.0	36	18	33	49	54	65	50	34	40
11.0	29	10	21	41	46	56	41	25	32
12.0	23	5	13	35	38	47	33	19	25
13.0	19	3	8	29	31	39	26	14	20
14.0	15	1	5	24	25	32	20	10	15
15.0	12	1	3	20	20	25	15	7	12
16.0	9	0	1	16	15	20	12	5	9
17.0	7	0	1	13	12	15	9	4	7
18.0	6	0	0	11	9	11	7	3	6
19.0	4	0	0	9	7	8	5	2	4
20.0	3	0	0	7	5	6	3	1	3
21.0	3	0	0	5	4	4	3	1	2
22.0	2	0	0	4	3	3	2	1	2
23.0	2	0	0	3	2	2	1	0	1
24.0	1	0	0	3	2	2	1	0	1
25.0	1	0	0	2	1	1	1	0	1
26.0	1	0	0	2	1	1	0	0	1
27.0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
28.0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
29.0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
30.0	0	0	0	1	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 NEL COMUNE DI FIUMICINO (RM)</b>									
<b>Stazione di riferimento</b>			<b>RIF1_S (4.56 m/s)</b>						
<b>Aerogeneratore (modello)</b>			<b>Nordex N175/6.X</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>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>
	<b>Longit.</b>	<b>Latitud.</b>							
<b>CST01</b>	269,011	4,654,842	133	132.5	5.48	14,905	0.96	14,762	2237
<b>CST02</b>	268,366	4,651,401	102	132.5	5.66	15,660	2.25	15,308	2319
<b>CST03</b>	269,174	4,652,088	108	132.5	5.66	15,666	2.68	15,245	2310
<b>CST04</b>	270,696	4,652,591	112	132.5	5.60	15,369	3.10	14,893	2257
<b>CST05</b>	271,195	4,652,621	111	132.5	5.65	15,676	2.23	15,326	2322
<b>CST06</b>	272,701	4,649,571	91	132.5	5.71	15,891	1.34	15,679	2376
<b>CST07</b>	272,526	4,648,348	78	132.5	5.69	15,799	1.37	15,583	2361
<b>MEDIE</b>			<b>105</b>	<b>132.5</b>	<b>5.64</b>	<b>15,567</b>	<b>1.99</b>	<b>15,257</b>	<b>2312</b>
<b>TOTALI</b>						<b>108,966</b>		<b>106,796</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	
Densità aria alla densità di 1.197 Kg/m <sup>3</sup>	-1.2%
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>-9.0%</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 in assenza di informazioni sul progetto elettrico. Il valore dovrà eventualmente essere rivisto una volta disponibile il progetto esecutivo del Progetto.

**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 97,164 MWh/anno pari a 2103 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 Fiumicino, nella Provincia di Roma, Regione Lazio.

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 caratterizzano un ampio territorio circostante. La serie di dati è stata ampiamente analizzata ai fini del presente studio. La sua ragionevole validità è stata confermata grazie a idonee verifiche e a confronti con una stazione storica appartenente all'area del sito considerato, utilizzata sia per il processo di micrositing e sia per quello di storicizzazione posto in atto, il cui esito è stato accettabile.

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 verifiche sul modello hanno consentito di trovare le soluzioni per diminuire il grado di incertezza introdotto dal modello stesso nel calcolo in ogni fase del processo.

In questo senso va interpretata la scelta di adeguare nel modello di calcolo l'extrapolazione della ventosità all'altezza di mozzo ipotizzata, piuttosto che utilizzare il gradiente risultante, apparso ridotto rispetto a quanto atteso.

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 buona ventosità e, grazie anche ad un territorio di appartenenza con un'orografia poco complessa, le verifiche effettuate hanno dato risultati recepbili.

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.

---

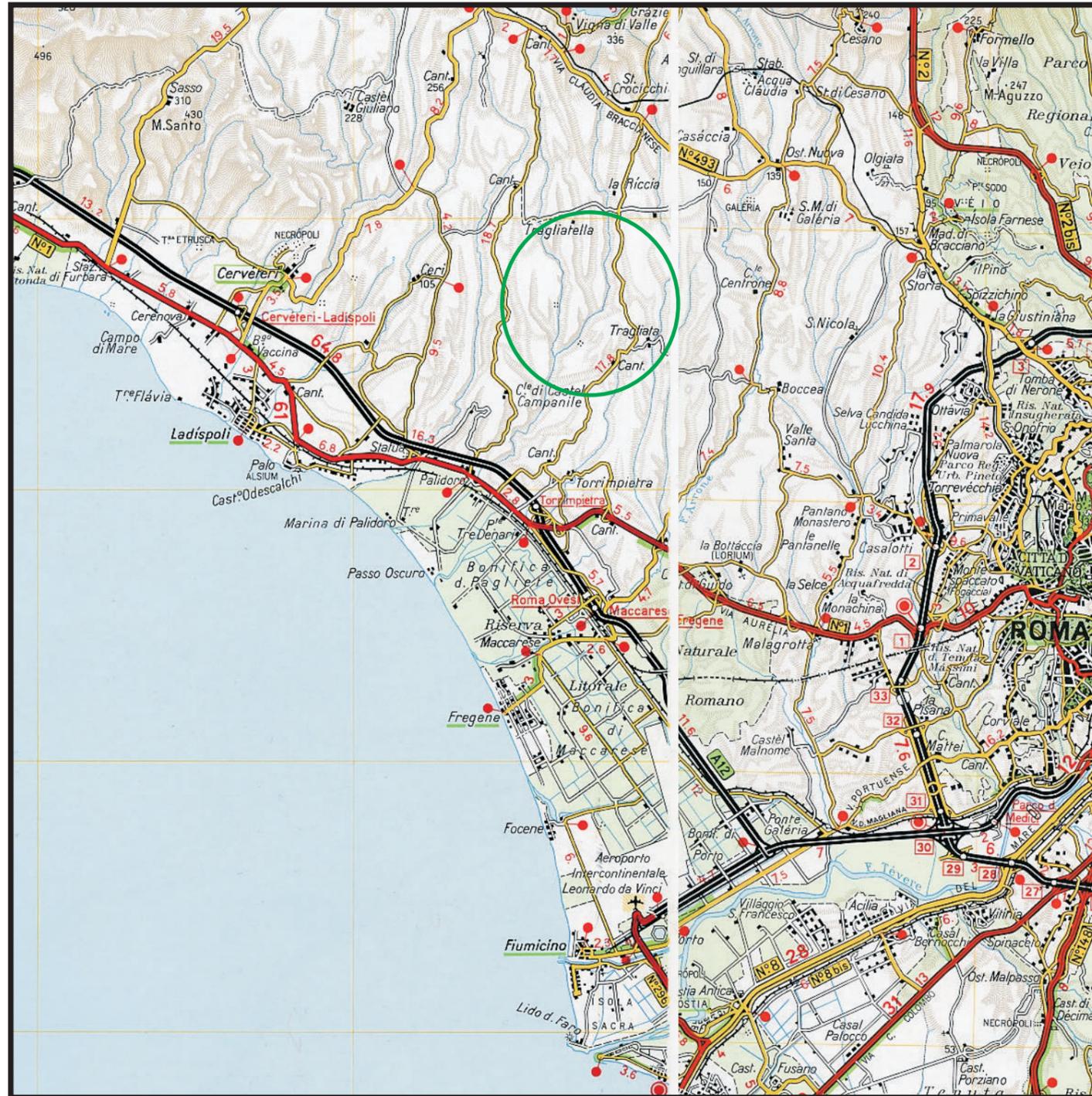
*ALLEGATO 1*

---

# SITO EOLICO

Comune di Fiumicino (RM)

Ubicazione geografica del sito



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

Scala 1:200.000



 Sito eolico



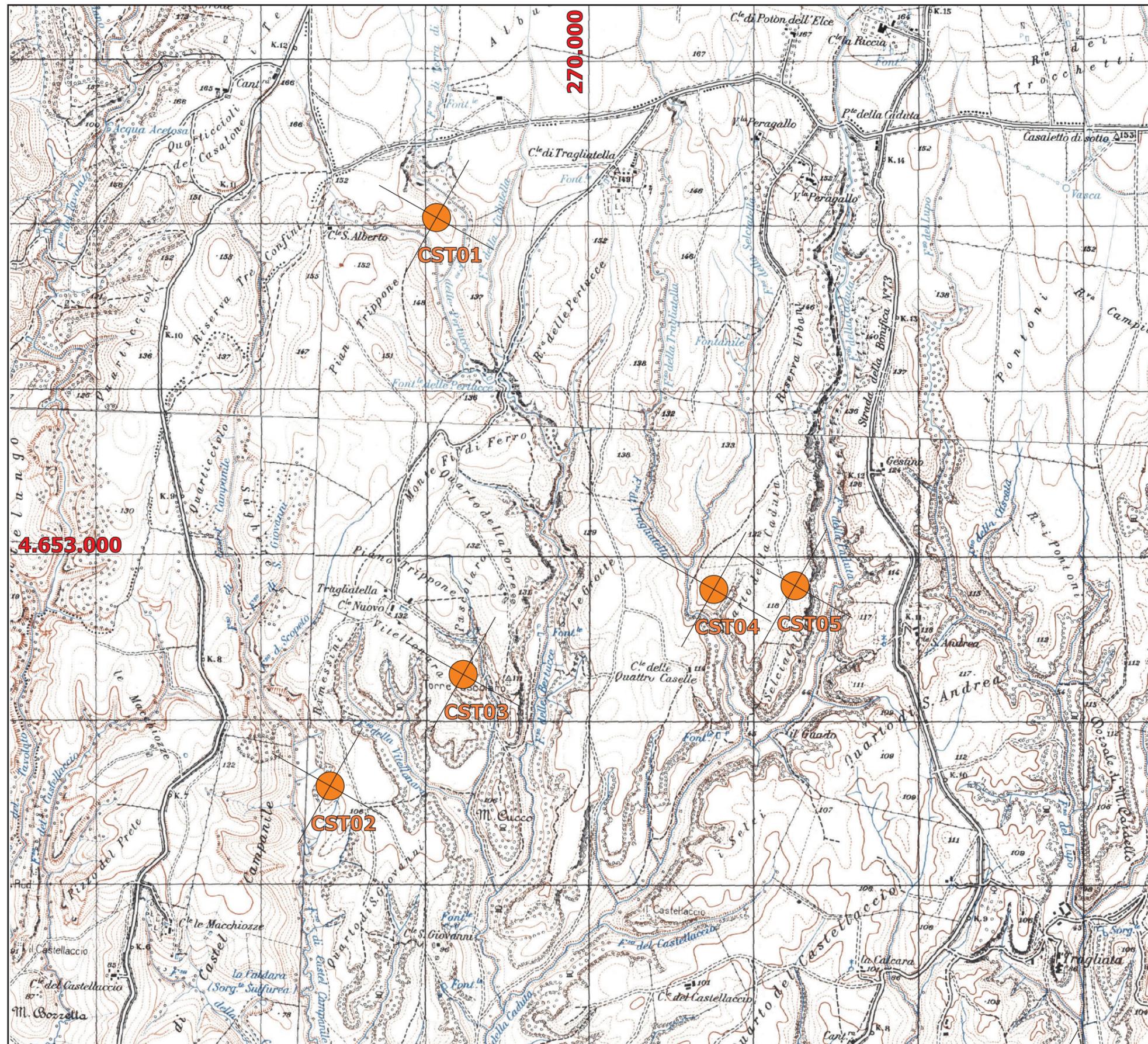
Regione: LAZIO



# IMPIANTO EOLICO

Comune di Fiumicino (RM)

Ubicazione degli Aerogeneratori



## LEGENDA

- Confini regionali
- Confini provinciali
- Confini comunali
- Sito Eolico
- Aerogeneratori

Cartina di base IGMI, serie 25V:  
TUSCANA 136 II NE

Scala 1:25.000



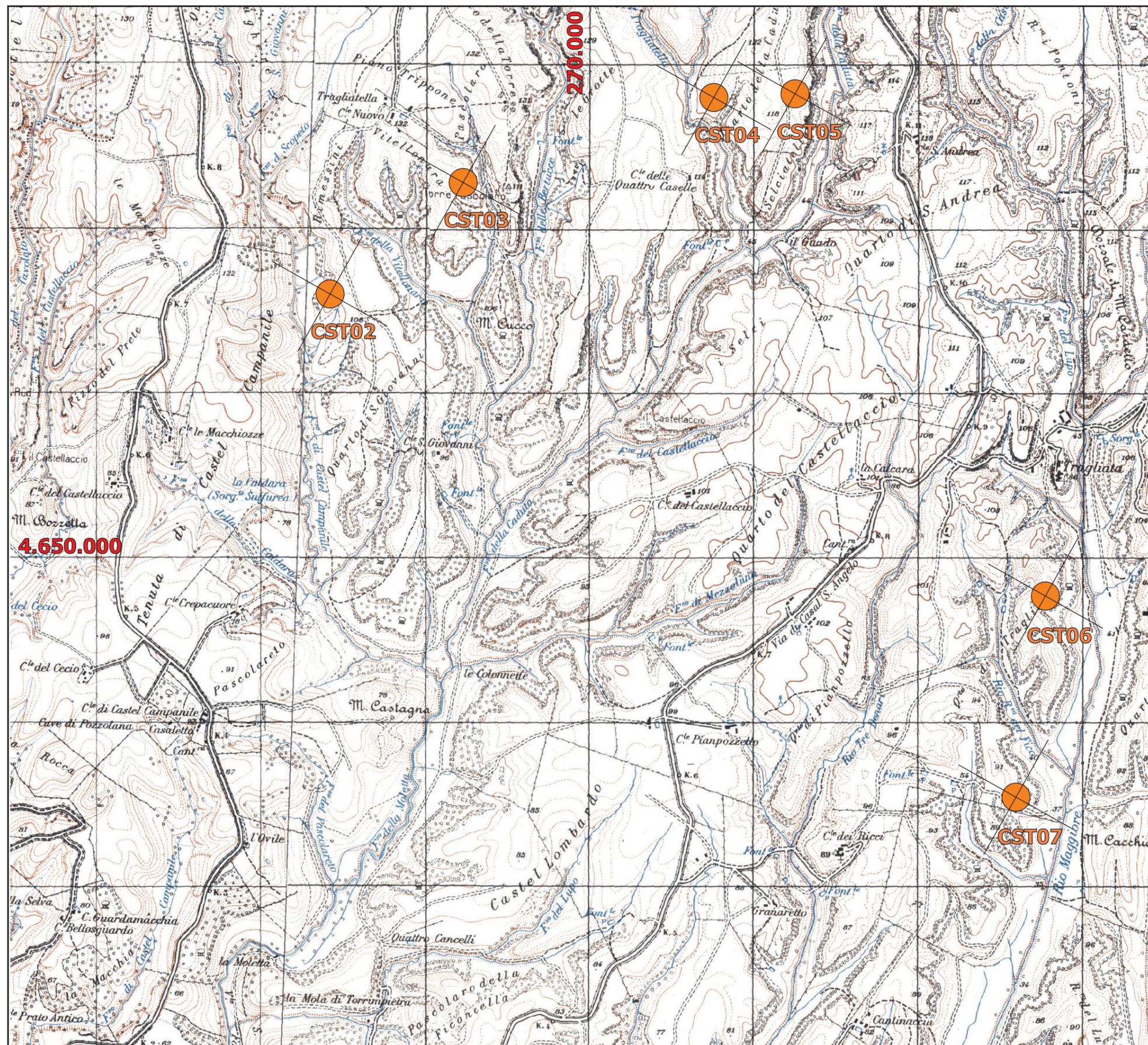
Regione: Lazio



# IMPIANTO EOLICO

Comune di Fiumicino (RM)

Ubicazione degli Aerogeneratori



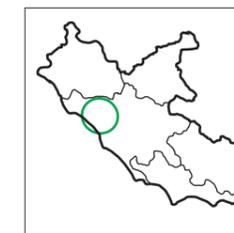
## LEGENDA

- Confini regionali
- Confini provinciali
- Confini comunali

- Sito Eolico
- Aerogeneratori

Cartina di base IGMI, serie 25V:  
TUSCANA 136 II NE

Scala 1:25.000



Regione: Lazio



*ALLEGATO 2*

---

## GUIDA ALL' INTERPRETAZIONE DELLE TABELLE E DEI GRAFICI

- TABELLA A :** Tabulazione della curva di durata della velocità del vento ottenuta dai dati sperimentali.
- Al variare della velocità (valore medio nei 10 minuti) con passo di 0.5 m/s, sono riportati il numero di ore in cui tale velocità è superata e la relativa percentuale del tempo totale riferito ad un anno.
- Sono inoltre stimati i parametri della distribuzione di Weibull, velocità caratteristica  $V_c$  e fattore di forma  $k$ , e sulla base di tale distribuzione sono riportati i valori calcolati della velocità media  $V_{med}$ , dello scarto quadratico medio  $sqmV$ , della velocità media cubica  $V_{cub}$  e della potenza specifica  $P_v$ .
- GRAFICO 1 :** Riporta quattro curve:
- curva di durata sperimentale (curva con contrassegno -□-) i cui valori in ordinata riportano la percentuale del tempo totale (dell'anno) in cui la velocità del vento è superata;
  - curva di durata di Weibull (curva nera continua) ottenuta da quella sperimentale linearizzata applicando il metodo di interpolazione coi minimi quadrati, essa è definita dai due parametri  $V_c$  e  $k$  indicati;
  - istogramma che riporta in ordinata, in unità arbitrarie, un valore proporzionale alla frequenza della velocità del vento compresa tra i diversi intervalli di velocità di ampiezza 0.5 m/s;
  - distribuzione di frequenza della corrispondente distribuzione di Weibull (curva nera continua che interpola l'istogramma).
- GRAFICO 2 :** Riporta la distribuzione polare delle frequenze delle direzioni del vento (rosa dei venti).
- TABELLA B :** Sono riportati i parametri della velocità del vento per ciascun settore di direzione e per quelle non definite (indicate in tabella con NoDir quando mancano i dati di direzione), la percentuale dei valori di calma (con velocità del vento minore od uguale a 0.5 m/s) e gli stessi parametri calcolati indipendentemente dalla direzione (riga Totale).
- Più precisamente in tabella sono riportate le seguenti informazioni, avendo indicato con  $V_i$  l'i-esimo valor medio nei 10 minuti della velocità del vento nella sequenza totale di  $n$  valori:
- colonna 1 : numero d'ordine del settore di direzione secondo frequenze crescenti;
  - colonna 2 : nome del settore da Nord a NNO in senso orario;
  - colonna 3 : frequenza percentuale della direzione del vento nei diversi settori;
  - colonna 4 : numero di rilievi registrati  $n$ ;

- colonna 5 : media aritmetica delle velocità :  $V_{med} = \sum_i \frac{1}{n} \cdot V_i$
- colonna 6 : scarto quadratico medio delle velocità :  $sigV = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_i (V_i - V_{med})^2}$
- colonna 7 : media cubica delle velocità :  $V_{cub} = \sqrt[3]{\frac{1}{n} \cdot \sum_i V_i^3}$
- colonna 8 : valore massimo della velocità :  $V_{max} = \max_i \{V_i\}$
- colonna 9 : potenza specifica media  $P_V$

**TABELLA C :** Sono riportati i parametri caratteristici della velocità del vento rilevati in ciascun mese dell'anno; con i dati medi mensili sono poi ottenuti i parametri stagionali (in realtà riferiti a trimestri praticamente coincidenti con le stagioni) e quelli annuali. Più precisamente in tabella sono riportate per ogni mese le seguenti informazioni:

- colonna 1 : nome del mese;
- colonna 2 : numero di mesi equivalenti di acquisizione, pari al rapporto tra il numero totale di dati acquisiti entro quel mese (anche in anni diversi), ed il numero totale di dati attesi nel periodo di quel dato mese dell'anno;
- colonna 3 : velocità media nel mese (in m/s);
- colonna 4 : scarto quadratico medio della velocità nel mese (in m/s);
- colonna 5 : velocità media cubica nel mese (in m/s);
- colonna 6 : velocità massima nel mese (in m/s);
- colonna 7 : potenza specifica media della vena fluida nel mese (in W/m<sup>2</sup>);
- colonna 8 : energia specifica media del vento nel mese (in kWh/m<sup>2</sup>).

Dai dati medi mensili sono poi calcolati i valori medi stagionali delle stesse grandezze in colonna e quindi i valori medi totali annuali. Questi ultimi valori stimano i parametri della velocità del vento medio annuale dando lo stesso peso alle componenti stagionali indipendentemente dalla numerosità dei dati acquisiti nei diversi mesi dell'anno.

Il calcolo assume significato solo se per ogni mese dell'anno è disponibile un minimo di dati acquisiti Meq maggiore di almeno il 20%.

**GRAFICO 3 :** Riporta gli andamenti della velocità massima, della velocità media (-□-) e dello scarto quadratico medio della velocità del vento nelle diverse direzioni. L'angolo giro è stato suddiviso in 72 settori di 5° ciascuno. All'angolo 0° corrisponde il Nord e si deve considerare positivo il senso di rotazione orario (all'angolo 90° corrisponde l'Est, ecc.).

**GRAFICO 4 :** Indica la distribuzione dell'energia specifica della vena fluida in kWh/m<sup>2</sup> nelle diverse direzioni. L'angolo giro è stato suddiviso in 72 settori di 5° ciascuno. All'angolo 0° corrisponde il Nord e si deve considerare positivo il senso di rotazione orario (all'angolo 90° corrisponde l'Est, ecc.).

Il grafico tiene conto per ciascuna direzione sia della frequenza del vento che della sua intensità, esso infatti evidenzia i settori di direzione del vento con maggior contenuto energetico.

**GRAFICO 5 :** Riporta l'istogramma delle velocità massime, medie e dello scarto quadratico medio della velocità nei 12 mesi dell'anno.

**GRAFICO 6 :** Riporta mese per mese l'andamento dell'energia specifica intrinseca alla vena fluida in kWh/m<sup>2</sup>. Il grafico mette in evidenza le componenti stagionali della risorsa eolica.

**STAZIONE ANEMOMETRICA : RIFERIMENTO1 - Regione: Lazio (Cod.RIF1)**

Periodo di elaborazione: 01/01/2013 - 31/12/2013 (numero giorni: 365)

Percentuale dati disponibili = 99.76 % ( 52434 dati su 52560 )

**Velocita' del vento V in m/s rilevata a 10 m dal suolo**
**Tabella A : CURVA DI DURATA DELLA VELOCITA' DEL VENTO**

m/s	ore/anno	%	m/s	ore/anno	%
0.0	8760.0	100.00	0.5	8671.8	98.99
1.0	8097.4	92.44	1.5	7195.2	82.14
2.0	6287.1	71.77	2.5	4904.8	55.99
3.0	3829.2	43.71	3.5	2977.1	33.99
4.0	2359.7	26.94	4.5	1820.4	20.78
5.0	1437.4	16.41	5.5	1096.6	12.52
6.0	882.1	10.07	6.5	676.6	7.72
7.0	548.3	6.26	7.5	418.0	4.77
8.0	337.8	3.86	8.5	267.6	3.06
9.0	222.5	2.54	9.5	173.4	1.98
10.0	147.4	1.68	10.5	107.3	1.22
11.0	88.2	1.01	11.5	68.2	0.78
12.0	54.1	0.62	12.5	45.1	0.51
13.0	38.1	0.43	13.5	35.1	0.40
14.0	24.1	0.27	14.5	22.1	0.25
15.0	16.0	0.18	15.5	13.0	0.15
16.0	9.0	0.10	16.5	8.0	0.09
17.0	5.0	0.06	17.5	1.0	0.01
18.0	1.0	0.01	18.5	1.0	0.01
19.0	0.0	0.00	19.5	0.0	0.00
20.0	0.0	0.00	20.5	0.0	0.00
21.0	0.0	0.00	21.5	0.0	0.00
22.0	0.0	0.00	22.5	0.0	0.00
23.0	0.0	0.00	23.5	0.0	0.00
24.0	0.0	0.00	24.5	0.0	0.00
25.0	0.0	0.00	25.5	0.0	0.00
26.0	0.0	0.00	26.5	0.0	0.00
27.0	0.0	0.00	27.5	0.0	0.00
28.0	0.0	0.00	28.5	0.0	0.00
29.0	0.0	0.00	29.5	0.0	0.00
30.0	0.0	0.00	30.5	0.0	0.00

<b>Parametri della distribuzione di Weibull :</b>	<b>Vc = 4.02</b>	<b>k = 1.88</b>
---	------------------	-----------------

Parametri della velocità del vento calcolati con la distribuzione di Weibull:		
---	--	--

Vmed = 3.57 m/s	sqmV = 1.97 m/s	Vcub = 4.52 m/s
-----------------	-----------------	-----------------

Potenza specifica della vena fluida	Pv = 57 W/m2
-------------------------------------	--------------

**Tabella A**

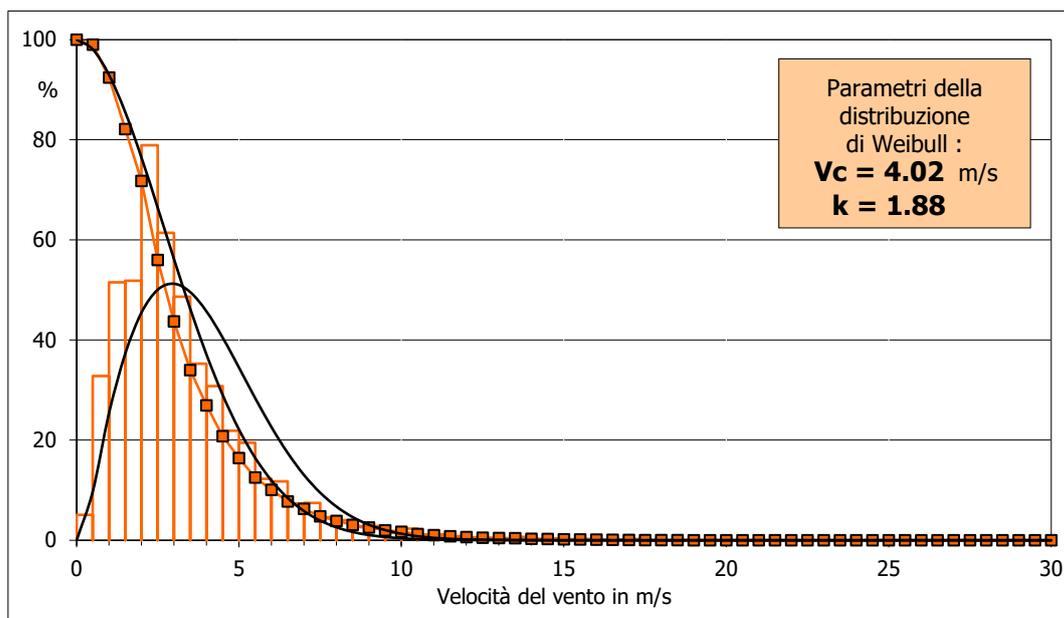
**STAZIONE ANEMOMETRICA : RIFERIMENTO1 - Regione: Lazio (Cod.RIF1)**

Periodo di elaborazione: 01/01/2013 - 31/12/2013 (numero giorni: 365)

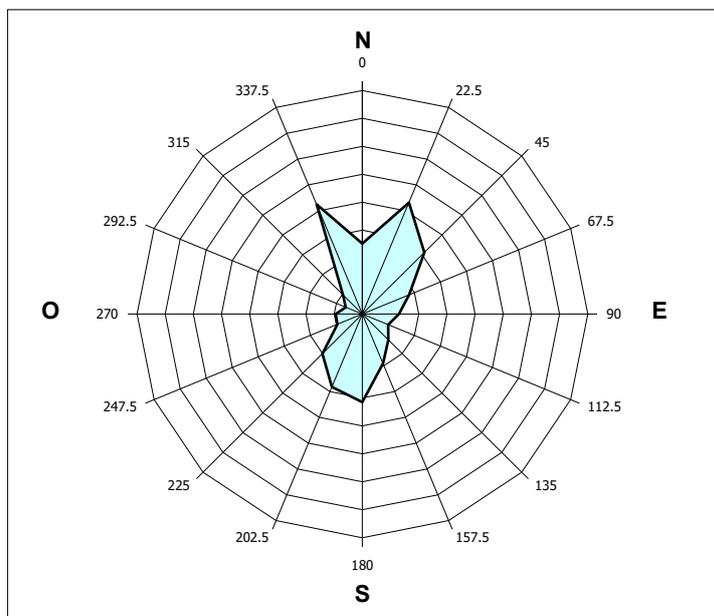
Percentuale dati disponibili = 99.76 % ( 52434 dati su 52560 )

**Velocita' del vento V in m/s rilevata a 10 m dal suolo**

**Grafico 1** : CURVE DI DURATA E DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA DELLA VELOCITA' DEL VENTO



**Grafico 2** : FREQUENZE DELLE DIREZIONI DEL VENTO (ROSA DEI VENTI)



**Grafici 1 e 2**

**STAZIONE ANEMOMETRICA : RIFERIMENTO1 - Regione: Lazio (Cod.RIF1)**

Periodo di elaborazione: 01/01/2013 - 31/12/2013 (numero giorni: 365)

Percentuale dati disponibili = 99.76 % ( 52434 dati su 52560 )

**Velocita' del vento V in m/s rilevata a 10 m dal suolo**
**Tabella B : PARAMETRI DELLA VELOCITA' DEL VENTO PER SETTORI DI DIREZIONE**

	Sett.	%	n	Vmed (m/s)	sigV (m/s)	Vcub (m/s)	Vmax (m/s)	Pv (W/m <sup>2</sup> )
2°	Nord	20.3	10644	3.44	2.57	5.21	18.8	86
1°	NE	22.3	11694	2.52	1.34	3.25	11.3	21
5°	Est	9.3	4872	2.50	1.27	3.16	9.3	19
6°	SE	6.9	3612	3.71	2.47	5.36	17.5	94
3°	Sud	15.2	7962	3.93	2.30	5.24	17.5	88
4°	SO	14.5	7602	4.24	2.15	5.24	15.4	88
7°	Ovest	5.7	2994	3.18	1.92	4.28	13.6	48
8°	NO	4.8	2526	2.47	1.44	3.30	10.3	22
	NoDir	0.0	0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	<b>Calme</b>	1.0	528	(velocità del vento minore o uguale a 0.5 m/s)				
	<b>Totale =</b>		<b>52434</b>	<b>3.26</b>	<b>2.15</b>	<b>4.62</b>	<b>18.8</b>	<b>60</b>

**Tabella C : PARAMETRI DELLA VELOCITA' DEL VENTO NEI MESI DELL'ANNO**

Mese	Meq.	Vmed (m/s)	sigV (m/s)	Vcub (m/s)	Vmax (m/s)	Pv (W/m <sup>2</sup> )	Ev (kWh/m <sup>2</sup> )
Dic	1.00	3.36	3.12	5.90	17.5	125	93
Gen	0.99	2.96	1.74	3.88	9.8	36	27
Feb	1.00	3.60	2.40	5.00	15.4	76	51
Mar	1.00	3.66	2.13	4.76	11.9	66	49
Apr	1.00	3.10	1.71	3.93	9.3	37	27
Mag	1.00	3.00	1.89	4.10	11.4	42	31
Giu	1.00	3.18	1.99	4.31	10.6	49	35
Lug	1.00	3.17	1.59	3.92	9.3	37	27
Ago	1.00	3.02	1.90	4.28	16.0	48	36
Set	1.00	3.25	1.82	4.20	10.8	45	33
Ott	1.00	2.46	1.23	3.05	8.5	17	13
Nov	1.00	4.45	2.89	6.23	18.8	148	106

Stagione	Vmed (m/s)	sigV (m/s)	Vcub (m/s)	Vmax (m/s)	Pv (W/m <sup>2</sup> )	Ev (kWh/m <sup>2</sup> )
Inverno (Dic - Feb)	3.30	2.50	5.06	17.5	79	171
Primavera (Mar - Mag)	3.26	1.94	4.30	11.9	48	107
Estate (Giu - Ago)	3.12	1.83	4.18	16.0	44	98
Autunno (Set - Nov)	3.37	2.24	4.85	18.8	70	152

<b>Anno</b>	<b>3.26</b>	<b>2.15</b>	<b>4.62</b>	<b>18.8</b>	<b>60</b>	<b>528</b>
-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-----------	------------

Nota : Meq.= Numero equivalente di mesi con rilevazione di dati

**Tabelle B e C**

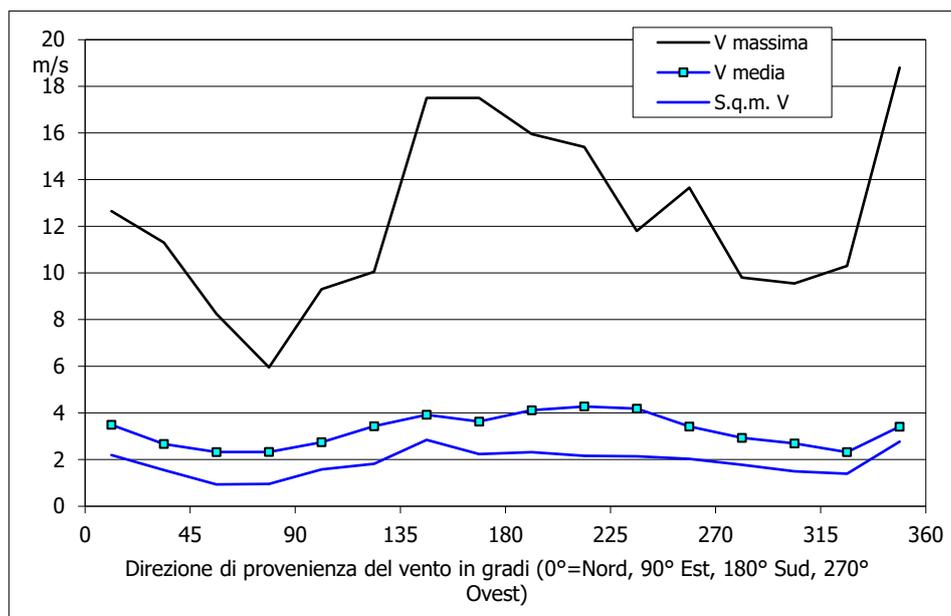
**STAZIONE ANEMOMETRICA : RIFERIMENTO1 - Regione: Lazio (Cod.RIF1)**

Periodo di elaborazione: 01/01/2013 - 31/12/2013 (numero giorni: 365)

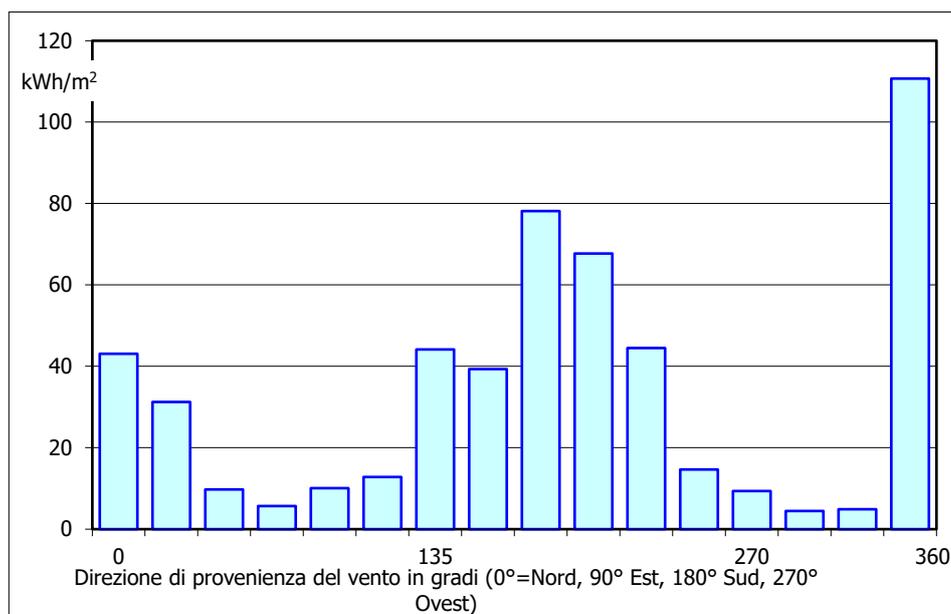
Percentuale dati disponibili = 99.76 % ( 52434 dati su 52560 )

**Velocita' del vento V in m/s rilevata a 10 m dal suolo**

**Grafico 3 : VELOCITA' MAX, MEDIA E S.Q.M. DELLE VELOCITA' PER SETTORE DI DIREZIONE**



**Grafico 4 : ENERGIA SPECIFICA DELLA VENA FLUIDA IN kWh/m<sup>2</sup> PER SETTORE DI DIREZIONE**



Grafici 3 e 4

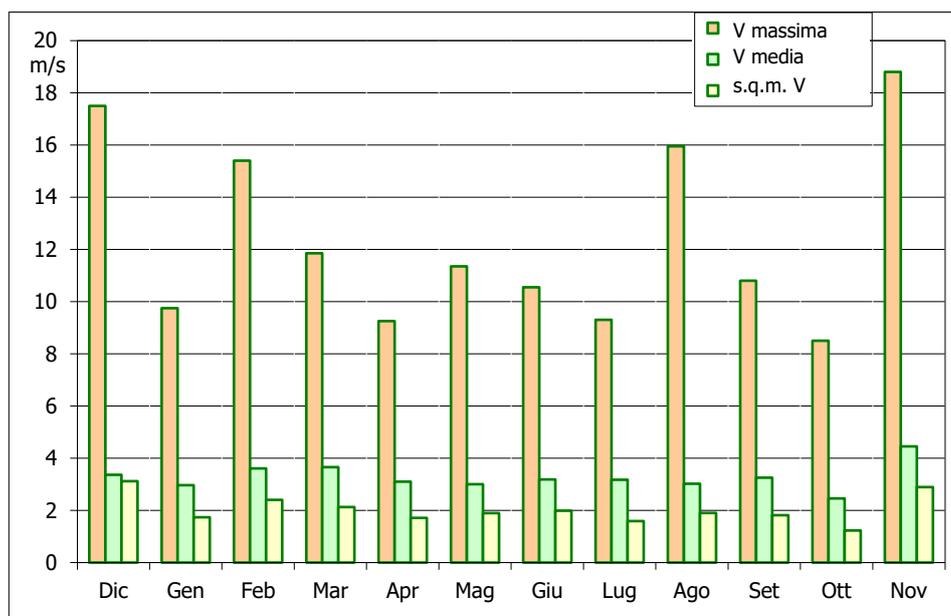
**STAZIONE ANEMOMETRICA : RIFERIMENTO1 - Regione: Lazio (Cod.RIF1)**

Periodo di elaborazione: 01/01/2013 - 31/12/2013 (numero giorni: 365)

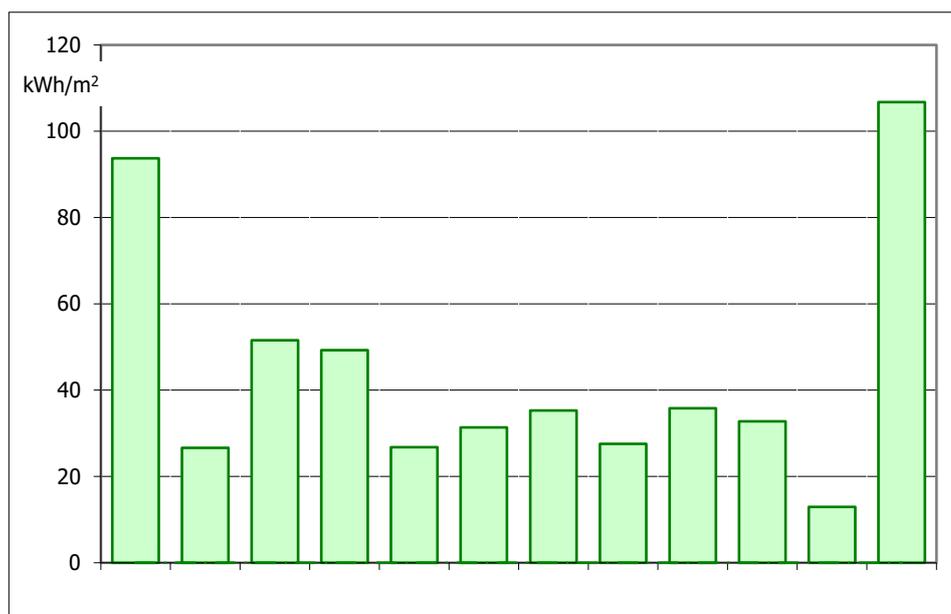
Percentuale dati disponibili = 99.76 % ( 52434 dati su 52560 )

**Velocita' del vento V in m/s rilevata a 10 m dal suolo**

**Grafico 5 : VELOCITA' MAX, MEDIA E S.Q.M. DELLE VELOCITA' NEI 12 MESI DELL'ANNO**



**Grafico 6 : ENERGIA SPECIFICA MEDIA MENSILE DELLA VENA FLUIDA IN kWh/m2**



Grafici 5 e 6