REGIONE LIGURIA
PROVINCIA DI SAVONA
COMUNE DI PONTINVREA

Oggetto: PROGETTO

PARCO EOLICO BRIC AUTZE'

Committente:

EOLO srl
Via Bartolomeo Prieri 4
12016 Peveragno (CN)

Progettisti:

Entec spa
Via Montegrappa, 2
12038 Savigliano (CN)
Tel. +39 0172 370 008
Fax. +39 0172 375 319
www.entec.it

Paolo Ing. **OBERTO**
Matteo Ing. **ANZALONE**
Daniele Ing. **GARNERONE**



Collaboratori:

Paolo Dott. For. **CORRENDO**
Sara Dott.ssa **VIGLIETTI**
Paola Geol. **REVERDITO**
Roberto Consulente faunistico **TOFFOLI**

Elaborato:

M.01.g

Titolo:

Studio anemologico e valutazione della produzione attesa

Revisione
ottobre 2016

Stima di producibilità considerando il nuovo layout progettuale

Scala: ---

Note Legali: proprietà esclusiva della società Entec spa, utilizzo e riproduzione vietate senza alcun accordo scritto

Rel. TG079/2016-VPE

Impianto eolico di Ferriera

Comune di Pontinvrea (SV)

Studio anemologico e valutazione della produzione attesa

CLIENTE	REVISIONE				REDAZIONE
EOLO S.r.l.	N°	MESE	ANNO	LUOGO	N. Franchi
	00	GIUGNO	2016	MILANO	APPROVAZIONE C. Mazzarella
ORDINE RIF.	Accettazione ns. Offerta 89_BS_2016_Rev.1 del 15/06/2016				

IL PRESENTE DOCUMENTO È DESTINATO ESCLUSIVAMENTE AL COMMITTENTE.

TECNOGAIA NON PUÒ IN NESSUN CASO ESSERE RITENUTA RESPONSABILE DELLA SUA DIFFUSIONE NON AUTORIZZATA.

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

	SISTEMA QUALITA' CERTIFICATO **UNI EN ISO 9001:2008**

Sedi operative:
- Via S. Francesco d'Assisi, 3/B - 23855 **Pescate (LC)**
  Tel. 0341 365045 – Fax 0341 365091
- Via Matteotti, 311 – SCALA P – Int.10 – 25063 **Gardone V.T. (BS)**
  Tel. 030 2056980 – Fax 030 831100

E-mail: info@tecnogaia.it
E-mail PEC info@pec.tecnogaia.com

Sede Legale:
Via Maestri Campionesi, 27 – 20135 **Milano**
Tel. 02 24417058 – Fax 02 24303700

N° Iscriz. Registro Imprese Milano
Cod. Fisc. & P. IVA 13029730150
N° REA 1619077
Cap. Soc. € 119.000,00 interamente versato

SOMMARIO

1 PREMESSA 4
2 MATERIALE DISPONIBILE 4
2.1 Dati anemometrici 5
2.2 Sistema Mini-SODAR 5
2.3 Layout d'impianto 6
2.4 Aerogeneratori 6
3 ELABORAZIONE DATI DI VENTO 8
3.1 Valutazione della ventosità di lungo periodo 8
4 ANALISI DEL GRADIENTE AL SUOLO 12
4.1 Stima della ventosità a 90 e 120 m dal suolo 12
5 MODELLO DI CALCOLO 15
6 AREA DI APPLICAZIONE DEL MODELLO 15
7 VERIFICHE SUL MODELLO 16
7.1 Verifica dell'approssimazione della curva di Weibull 16
8 PRODUZIONE LORDA ATTESA 19
9 PRODUZIONE ATTESA AL NETTO DELLE PERDITE D'IMPIANTO 21
10 CONCLUSIONI 22

ALLEGATO A

Sedi operative:
- Via S. Francesco d'Assisi, 3/B - 23855 **Pescate (LC)**
Tel. 0341 365045 – Fax 0341 365091
- Via Matteotti, 311 – SCALA P – Int.10 – 25063 **Gardone V.T. (BS)**
Tel. 030 2056980 – Fax 030 831100

E-mail: info@tecnogaia.it
E-mail PEC info@pec.tecnogaia.com

Sede Legale:
Via Maestri Campionesi, 27 – 20135 **Milano**
Tel. 02 24417058 – Fax 02 24303700

N° Iscriz. Registro Imprese Milano
Cod. Fisc. & P. IVA 13029730150
N° REA 1619077
Cap. Soc. € 119.000,00 interamente versato

1 PREMESSA

Oggetto del presente studio, realizzato da Tecnogaia per conto della Società Eolo S.r.l., è la revisione della valutazione di produzione attesa dell'impianto eolico di "Ferriera", costituito da n. 2 aerogeneratori di grande taglia per una potenza complessiva di 6 MW, in progetto nel territorio del Comune di Pontinvrea (SV) in Liguria.

La stima si basa sui dai dati anemometrici raccolti in sito da una stazione di monitoraggio di altezza pari a 40m dal suolo, installata nel 2011 e ancora attiva, e su una campagna di misura con sistema sonico svolta nel 2015 allo scopo di determinare il gradiente al suolo in sito per l'estrapolazione della velocità del vento ad altezza mozzo.

Per quanto non esplicitamente riportato nella presente revisione, si prega di far riferimento alle precedenti relazioni predisposte per l'Impianto eolico di Ferriera – Comune di Pontinvrea (SV):

- TG015/2011-IST - Resoconto sull'installazione della stazione anemometrica
- TG232/2014-VPE – Studio Anemologico e Valutazione di Producibilità
- TG173/2015-ELD - Elaborazione dati e determinazione del gradiente al suolo con Mini-SODAR

Tutta l'attività è stata svolta con approccio e strumenti professionali, secondo quanto previsto dalla metodologia definita all'interno del sistema di certificazione UNI EN ISO 9001:2008 con cui è accreditata la nostra società.

La modellazione del campo di vento in sito è stata effettuata tramite il modello matematico del flusso del vento WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) da personale esperto, certificato dal Risoe National Laboratory di Danimarca produttore del modello stesso.

2 MATERIALE DISPONIBILE

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

- Dati grezzi rilevati in sito con la stazione anemometrica, equipaggiata con anemometri per la rilevazione della velocità del vento a 40, 30 e 20 metri dal suolo e con due banderuole per la rilevazione della direzione del vento a 40 e 20 metri dal suolo.
- Dati grezzi rilevati con sistema Mini-SODAR
- Coordinate dei n. 2 aerogeneratori d'impianto.
- Modello di aerogeneratore e configurazione da adottare per l'impianto.

Sedi operative:
- Via S. Francesco d'Assisi, 3/B - 23855 **Pescate (LC)**
Tel. 0341 365045 – Fax 0341 365091
- Via Matteotti, 311 – SCALA P – Int.10 – 25063 **Gardone V.T. (BS)**
Tel. 030 2056980 – Fax 030 831100

E-mail: info@tecnogaia.it
E-mail PEC info@pec.tecnogaia.com

Sede Legale:
Via Maestri Campionesi, 27 – 20135 **Milano**
Tel. 02 24417058 – Fax 02 24303700

N° Iscriz. Registro Imprese Milano
Cod. Fisc. & P. IVA 13029730150
N° REA 1619077
Cap. Soc. € 119.000,00 interamente versato

2.1 Dati anemometrici

Le due tabelle sottostanti riassumono l'ubicazione e la consistenza temporale del monitoraggio anemometrico:

Nome Stazione	Codice Stazione	H Torre	Coordinate UTM-ED50 - Fuso 32		Altitudine
		s.l.s.	Longitudine E	Latitudine N	m s.l.m.
Ferriera	T0721	40	455.014	4.919.367	737

Nome Stazione	Codice Stazione	Periodo di rilevazione		**N°**
		Data inizio	Data fine	**mesi**
Ferriera	T0721	23/02/2011	31/05/2016	63

I risultati di sintesi sono riportati nel successivo Capitolo 3 e in modo più approfondito nelle tabelle e grafici disponibili nell'**Allegato A**.

Per approfondimenti sulla composizione e struttura della stazione anemometrica, si prega di far riferimento alla relazione **TG015/2011-IST** "**Resoconto sull'installazione della stazione anemometrica**".

2.2 Sistema Mini-SODAR

Data l'altezza di mozzo prevista per le turbine d'impianto, si è ritenuto necessario svolgere una campagna di misura con un sistema Mini-SODAR, che rileva le velocità del vento sino all'altezza di 150 m dal suolo.

L'ubicazione e la consistenza temporale della campagna di misura con il Sistema Mini-SODAR sono riportate nelle seguenti tabelle:

Nome Mini-SODAR	Modello Mini-SODAR	Codice Mini-SODAR	Coordinate UTM-ED50 - Fuso 32		Altitudine
			Longitudine E	Latitudine N	m s.l.m.
SODAR FERRIERA	AQ500	S0721	455.039	4.919.407	737

Nome Mini-SODAR	Codice Mini-SODAR	Periodo di rilevazione		N°
		Data inizio - Data fine	Data inizio - Data fine	giorni
SODAR FERRIERA	S0721	08/04/2015 - 12/04/2015	11/05/2015 - 06/07/2015	55

Per approfondimenti sul sistema Mini-Sodar e sulla campagna di misura, si prega di far riferimento alla relazione **TG173/2015-ELD** "**Elaborazione dati e determinazione del gradiente al suolo con Mini-SODAR**".

2.3 Layout d'impianto

L'impianto eolico di Ferriera è costituito da n. 2 aerogeneratori di grande taglia le cui coordinate sono riportate nella seguente tabella:

Coordinate UTM-ED50 – Fuso 32			Coordinate UTM-WGS84 – Fuso 32		
AG	Longitudine X	Latitudine Y	AG	Longitudine X	Latitudine Y
AG1	454.901	4.919.280	AG1	454.820	4.919.080
AG2	455.096	4.919.601	AG2	455.015	4.919.402

L'inter-distanza tra i due aerogeneratori è di 376 m, pari a 3 diametri di un rotore da 122 m.

2.4 Aerogeneratori

Per la valutazione della produzione attesa è stato indicato dal Committente il seguente modello di aerogeneratore:

Costruttore	Modello	Potenza (MW)	Diametro Rotore (m)	H Mozzo (m)	Classe IEC
SENVION	3.0M-122	2,970	122	89	S
				119	IIIA

La turbina 3.0M-122 è dotata di un sistema DFIG (Double Fed Induction Generator) e la curva di potenza è garantita in MT, ovvero al netto delle perdite del trasformatore di macchina, e pertanto nel seguito si considererà la potenza nominale pari a 2970 kW, come riportato in tabella.

Il Committente ha richiesto di adottare tre configurazioni per le altezze di mozzo dell'impianto:

A. AG1 e AG2 a 89 m
B. AG1 a 119 m e AG2 a 89 m
C. AG1 e AG2 a 119 m

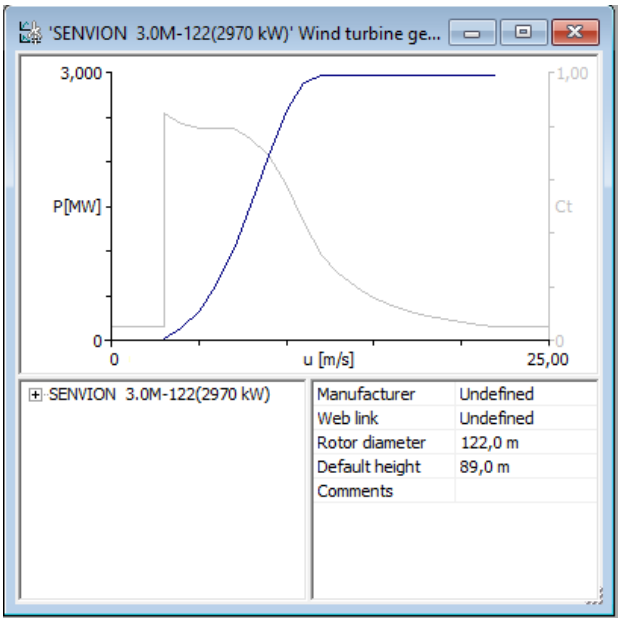
Sedi operative:
- Via S. Francesco d'Assisi, 3/B - 23855 **Pescate (LC)**
Tel. 0341 365045 – Fax 0341 365091
- Via Matteotti, 311 – SCALA P – Int.10 – 25063 **Gardone V.T. (BS)**
Tel. 030 2056980 – Fax 030 831100

E-mail: info@tecnogaia.it
E-mail PEC info@pec.tecnogaia.com

Sede Legale:
Via Maestri Campionesi, 27 – 20135 **Milano**
Tel. 02 24417058 – Fax 02 24303700

N° Iscriz. Registro Imprese Milano
Cod. Fisc. & P. IVA 13029730150
N° REA 1619077
Cap. Soc. € 119.000,00 interamente versato

Di seguito sono rappresentate nel loro sviluppo sia la curva di potenza (P) che la curva di spinta (Ct) per la determinazione delle perdite per effetto scia. La curva di potenza utilizzata è stata estrapolata alla densità dell'aria alla quota del sito di circa 1,13 kg/m^3.



Modello di aerogeneratore:
SENVION 3.0M-122 (2,970 MW)

Speed [m/s]	Power [MW]	Thrust coefficient
3,00	0,022	0,85
4,00	0,141	0,81
5,00	0,330	0,79
6,00	0,615	0,79
7,00	1,021	0,79
8,00	1,514	0,75
9,00	2,063	0,69
10,00	2,583	0,58
11,00	2,878	0,44
12,00	2,970	0,32
13,00	2,970	0,25
14,00	2,970	0,2
15,00	2,970	0,16
16,00	2,970	0,13
17,00	2,970	0,11
18,00	2,970	0,09
19,00	2,970	0,08
20,00	2,970	0,07
21,00	2,970	0,06
22,00	2,970	0,05

Sedi operative:
- Via S. Francesco d'Assisi, 3/B - 23855 **Pescate (LC)**
  Tel. 0341 365045 – Fax 0341 365091
- Via Matteotti, 311 – SCALA P – Int.10 – 25063 **Gardone V.T. (BS)**
  Tel. 030 2056980 – Fax 030 831100

E-mail: info@tecnogaia.it
E-mail PEC info@pec.tecnogaia.com

Sede Legale:
Via Maestri Campionesi, 27 – 20135 **Milano**
Tel. 02 24417058 – Fax 02 24303700

N° Iscriz. Registro Imprese Milano
Cod. Fisc. & P. IVA 13029730150
N° REA 1619077
Cap. Soc. € 119.000,00 interamente versato

3 ELABORAZIONE DATI DI VENTO

I risultati conseguiti dalla lettura, validazione ed elaborazione dei dati del sensore di velocità a 40 m dal suolo, che verrà utilizzato per le simulazioni, sono sintetizzati nella tabella sottostante:

Stazione anemometrica	H torre	Periodo rilevazione	Disponibilità dati validati	Velocità media	Energia	Parametri distribuzione di Weibull	
codice	m	mesi	%	m/s	W/m^2	Vc (m/s)	K
T0721	40	63,2	92,8	5,38	207	6,01	1,70

Nell'**Allegato A** sono riportate informazioni di maggior dettaglio sull'analisi statistica dei dati rilevati dalla stazione in sito, in particolare l'Allegato si compone di:

- **Allegato A1** - Disponibilità dati dei sensori installati
- **Allegato A2** - Risultati delle elaborazioni effettuate con i dati della stazione
  - Sintesi dei parametri statistici dei rilevamenti a tutte le altezze dal suolo
  - Tabelle e grafici di dettaglio relativi al rilevamento a 40 m dal suolo

I dati validati della stazione sono stati quindi sottoposti a una valutazione della ventosità di lungo periodo allo scopo di verificare l'allineamento della ventosità rilevata a quella attesa in sito nel lungo periodo.

3.1 Valutazione della ventosità di lungo periodo

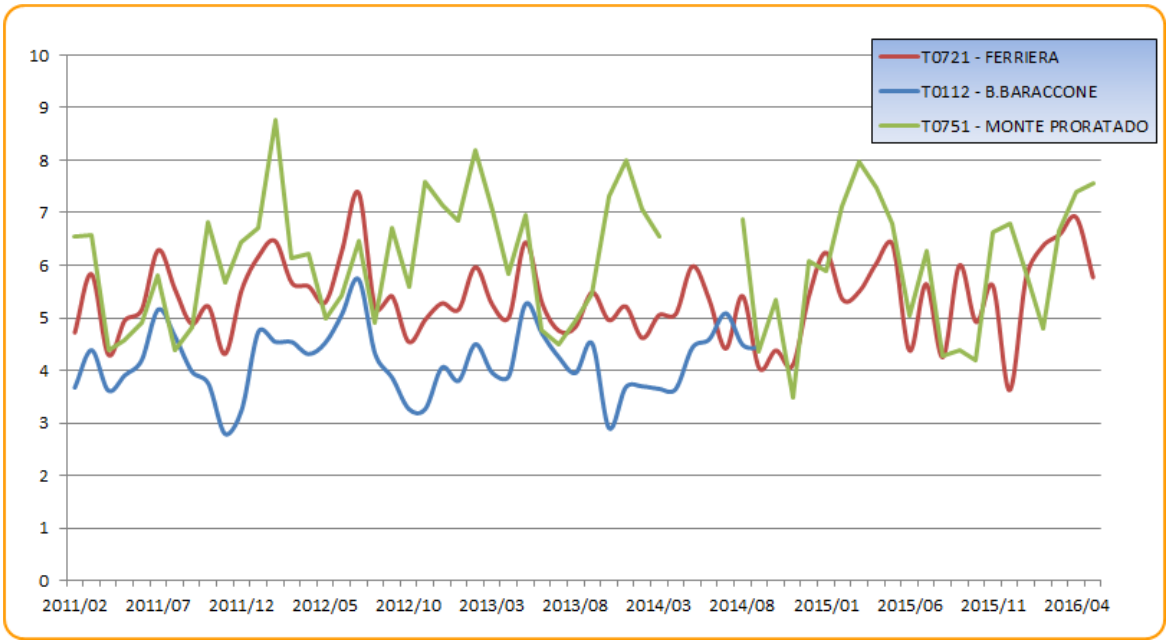
La stima della ventosità di lungo periodo (o storicizzazione) può esser effettuata utilizzando i dati di ventosità rilevati per diversi anni da una stazione anemometrica storica e mettendo in correlazione i dati rilevati contemporaneamente dalla stessa stazione storica con quelli rilevati nel sito in cui si vuole valutare la velocità media di lungo periodo. Le stazioni da confrontare devono essere possibilmente nelle medesime condizioni orografiche di esposizioni ai venti ed abbastanza vicine in modo che si possa ipotizzare che siano soggette agli stessi regimi di vento; è comunque possibile, mediante confronti e correlazioni, verificare la validità di queste condizioni.

Per tale verifica si dispone delle serie di dati di due stazioni storiche d'area, appartenenti alla rete anemometrica di Tecnogaia, con le quali si potranno effettuare confronti e correlazioni e quindi valutare la ventosità di lungo periodo della stazione in sito.

Codice Stazione	Nome Stazione	Altezza di rilevazione (m)	Data inizio rilevazione	Data fine rilevazione	Periodo di rilevazione (mesi)	Disponibilità (%)
T0112	Bric Baraccone	30	Sett-2007	Lug-2014	81,5	98,1
T0751	Monte Proratado	15	Giu-2004	Apr-2016	142,5	90,6

A seguito di verifiche interne con stazioni di maggior durata di rilevazioni la ventosità media rilevata è da considerarsi stabile nel tempo (oscillazioni di pochi decimi di punto percentuale).

Nella Figura seguente vengono riportati, per il periodo di contemporaneità dei dati, gli andamenti delle velocità medie mensili della stazione installata in sito confrontati con le stazioni storiche prese a riferimento.



Sono state quindi calcolate le correlazioni tra le velocità medie giornaliere e mensili rilevate contemporaneamente dalla stazione in sito "Ferriera" cod. **T0721**, con quelli delle stazioni storiche, cod. **T0112** e **T0751**.

Nelle tabelle seguenti sono riassunti i dati utili di dette correlazioni, ovvero i parametri ***a*** e ***b*** della retta di regressione senza la condizione del passaggio per lo zero: per la stima della ventosità di lungo periodo solitamente si utilizzano le rette definite dai due parametri ***a*** e ***b*** perché sono quelle che hanno uno scarto quadratico medio dei residui inferiore e per correlazioni di medie di intervalli di tempo prolungati, come le medie giornaliere o quelle mensili, non è necessaria la condizione di passaggio dall'origine. Pertanto tali rette, 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 le stime di ventosità del sito nel lungo periodo.

Utilizzando i parametri ***a*** e ***b*** della retta di regressione ottenuta dalle correlazioni effettuate, si può affermare che:

$$\overline{V}_{(SITO\ ,\ dati\ contemporanei)} = a \bullet \overline{V}_{(STORICA\ ,\ dati\ contemporanei)} + b$$

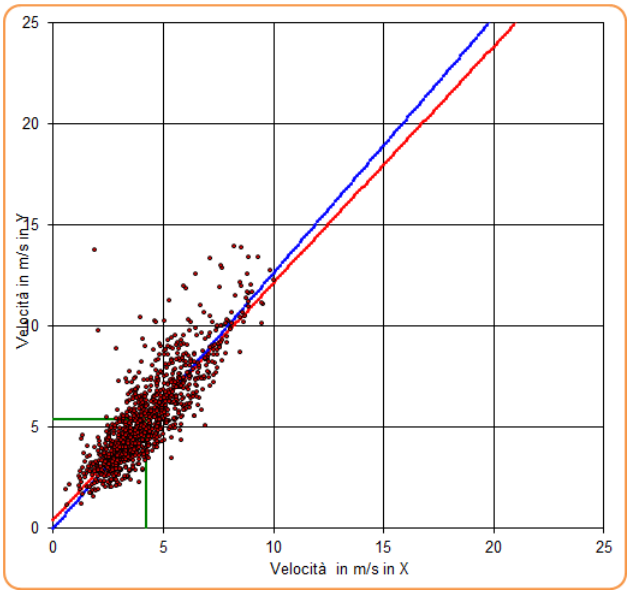
E per analogia che :

$$\overline{V}_{(SITO\ ,\ dati\ storici)} = a \bullet \overline{V}_{(STORICA\ ,\ dati\ storici)} + b$$

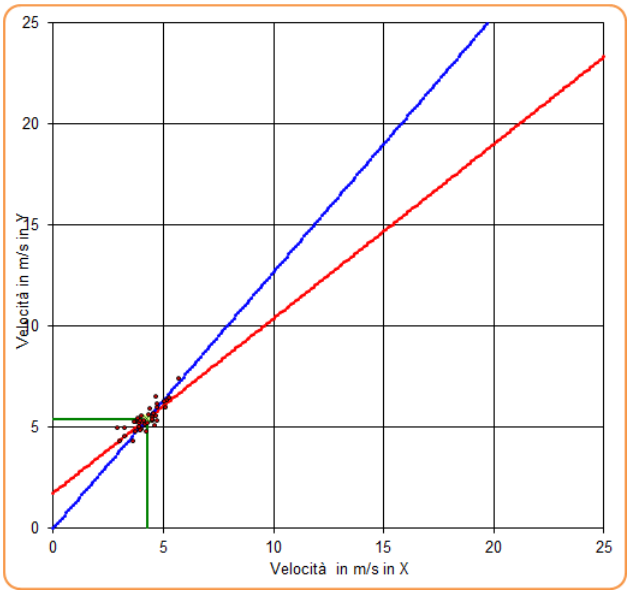
Nelle tabelle che seguono sono messi in evidenza anche il coefficiente di correlazione **Ro** che, abbinato alla consistenza del numero di valori correlati, esprime la bontà/validità del procedimento e il coefficiente di storicizzazione risultante **Ks**.

Nelle figure successive sono riportati i grafici dei punti oggetto delle correlazioni, ed in rosso la retta di regressione senza la condizione del passaggio per lo zero.

Stazione di **B.BARACCONE - T0112 (Storica)** - variabile **X**								
Codice Stazione Variabile **Y**	Tipo di Correlazione	N° punti di correlazione	Coeff. di correlazione **Ro**	Para-metro **A**	Para-metro **B**	Velocità Media in sito in **Y** (m/s)	Vel. Media lungo periodo di **(Y)**	**Ks**
Ferriera T0721	Giorni	1131	**0,839**	1,169	0,454	5,376	**5,289**	**0,984**
	Mesi	37	**0,838**	0,863	1,750		**5,316**	**0,989**



Correlazioni medie giornaliere tra T0112 e T0721



Correlazioni medie mensili tra T0112 e T0721

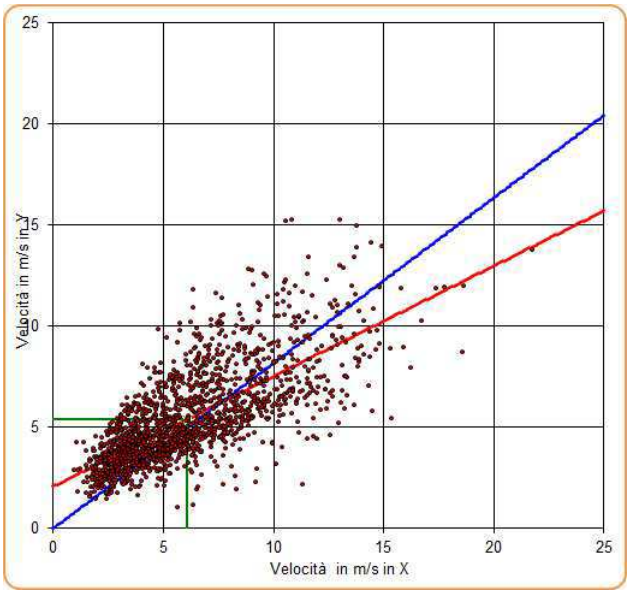
Sedi operative:
- Via S. Francesco d'Assisi, 3/B - 23855 **Pescate (LC)**
Tel. 0341 365045 – Fax 0341 365091
- Via Matteotti, 311 – SCALA P – Int.10 – 25063 **Gardone V.T. (BS)**
Tel. 030 2056980 – Fax 030 831100

E-mail: info@tecnogaia.it
E-mail PEC info@pec.tecnogaia.com

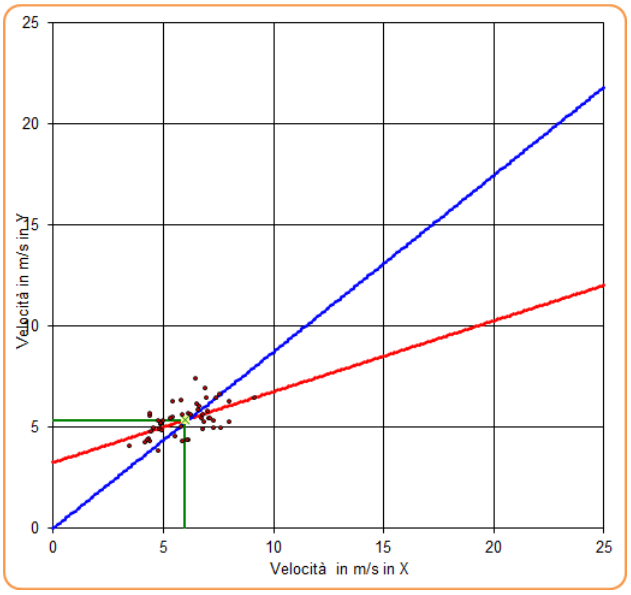
Sede Legale:
Via Maestri Campionesi, 27 – 20135 **Milano**
Tel. 02 24417058 – Fax 02 24303700

N° Iscriz. Registro Imprese Milano
Cod. Fisc. & P. IVA 13029730150
N° REA 1619077
Cap. Soc. € 119.000,00 interamente versato

Stazione di **MONTE PRORATADO - T0751 (Storica)** - variabile **X**								
Codice Stazione Variabile **Y**	Tipo di Correlazione	N° punti di correlazione	Coeff. di correlazione **Ro**	Para-metro **A**	Para-metro **B**	Velocità Media in sito in **Y** (m/s)	Vel. Media lungo periodo di **(Y)**	**Ks**
Ferriera T0721	Giorni	1680	**0,723**	0,546	2,071	5,376	**5,350**	**0,995**
	Mesi	49	**0,555**	0,350	3,259		**5,366**	**0,998**



Correlazioni medie giornaliere tra T0751 e T0721



Correlazioni medie mensili tra T0751 e T0721

Come si può evincere dai risultati della verifica, la stazione T0751 non presenta una buona correlazione con la stazione in sito. Utilizzando, invece, i parametri ***a*** e ***b*** frutto delle correlazioni dei dati di velocità media mensile e di media giornaliera con la stazione **T0112**, la velocità media rilevata dalla stazione in sito **T0721** andrebbe diminuita dell'**1,37%** per allinearla alla velocità media attesa sul lungo periodo. Ritenendo detto correttivo inferiore all'incertezza insita nella verifica di storicizzazione svolta, si valuta di assumere il valor medio di ventosità rilevata come valore di lungo periodo. Pertanto, pari a:

T0721 a 40 m dal suolo = 5,38 m/s

Sedi operative:
- Via S. Francesco d'Assisi, 3/B - 23855 **Pescate (LC)**
  Tel. 0341 365045 – Fax 0341 365091
- Via Matteotti, 311 – SCALA P – Int.10 – 25063 **Gardone V.T. (BS)**
  Tel. 030 2056980 – Fax 030 831100

E-mail: info@tecnogaia.it
E-mail PEC info@pec.tecnogaia.com

Sede Legale:
Via Maestri Campionesi, 27 – 20135 **Milano**
Tel. 02 24417058 – Fax 02 24303700

N° Iscriz. Registro Imprese Milano
Cod. Fisc. & P. IVA 13029730150
N° REA 1619077
Cap. Soc. € 119.000,00 interamente versato

4 ANALISI DEL GRADIENTE AL SUOLO

Lo scopo del monitoraggio con un sistema sonico (di seguito: Mini-SODAR) è dunque quello di integrare, per le diverse altezze dal suolo (sino ad un massimo di 150 m), le informazioni anemometriche precedentemente raccolte in sito con una misura tradizionale, tipicamente una torre anemometrica equipaggiata con anemometri posti ad almeno due livelli dal suolo.

In particolare, disponendo già di misure anemometriche fino ad una certa altezza dal suolo, come nel caso in esame a 40 m, è sufficiente conoscere l'andamento della variazione della velocità del vento in funzione della sua altezza dal suolo in modo relativo, cioè poter determinare una regola per la quale, data la misura del vento a detta quota, sia possibile estrapolarla alle altezze del mozzo, nel nostro caso di 89 e 119 m, con buona approssimazione.

Per verificare le condizioni di cui sopra, nel sito di "Ferriera" è stato installato, nel mese di Aprile 2015, per un periodo di circa due mesi, un mini-sodar modello AQ500, prodotto dalla società AQSystem.

Nel report **TG173/2015-ELD** "**Elaborazione dati e determinazione del gradiente al suolo con Mini-SODAR**" sono già state relazionate le attività di Gestione, Lettura, Transcodifica e Validazione dei dati rilevati dalla campagna di misura con il sistema Mini-Sodar, nonché la verifica di funzionamento della misura tramite correlazione con la stazione anemometrica e la verifica dell'errore commesso nella stima della ventosità calcolata con il gradiente al suolo del mini-sodar, rispetto alla velocità del vento misurata in sommità della torre.

Di seguito, pertanto, si riporta unicamente l'analisi svolta per la determinazione della ventosità alle altezze al mozzo delle turbine, 89 e 119 m, ovvero la stima del gradiente al suolo misurato dal sistema Mini-SODAR tra le altezze dal suolo di 40-90 m e 40-120 m (altezze del Mini-SODAR più prossime al mozzo delle macchine)**.**

4.1 Stima della ventosità a 89 e 119 m dal suolo

Con i dati elementari della velocità e direzione del vento del Mini-SODAR validati a 120, 90 e 40 metri dal suolo, relativi ad intervalli di tempo di 10 minuti, vengono effettuate le elaborazioni statistiche utili alle considerazioni di seguito descritte.

Nella tabella e nei grafici seguenti sono riportati i risultati delle correlazioni dei dati raccolti dal mini-sodar tra 40 e 90 metri e tra 40 e 120 metri, per venti superiori a 4 m/s.

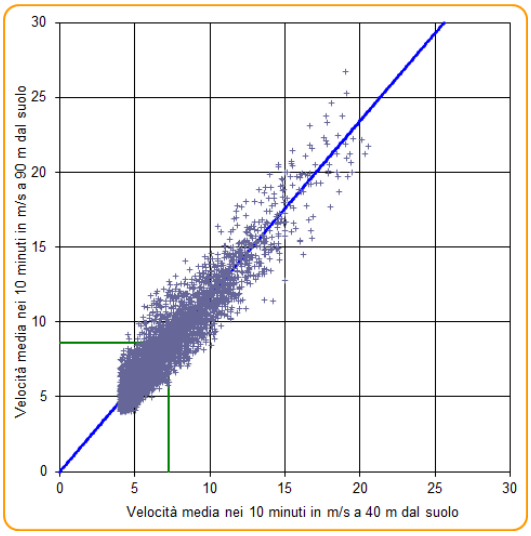
Sedi operative:
- Via S. Francesco d'Assisi, 3/B - 23855 **Pescate (LC)**
Tel. 0341 365045 – Fax 0341 365091
- Via Matteotti, 311 – SCALA P – Int.10 – 25063 **Gardone V.T. (BS)**
Tel. 030 2056980 – Fax 030 831100

E-mail: info@tecnogaia.it
E-mail PEC info@pec.tecnogaia.com

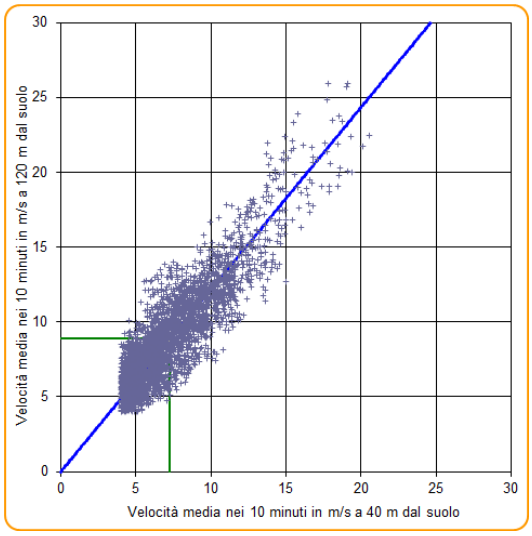
Sede Legale:
Via Maestri Campionesi, 27 – 20135 **Milano**
Tel. 02 24417058 – Fax 02 24303700

N° Iscriz. Registro Imprese Milano
Cod. Fisc. & P. IVA 13029730150
N° REA 1619077
Cap. Soc. € 119.000,00 interamente versato

Altezze	N° 10 minuti	Coefficiente Correlazione	**R** Rapporto tra le velocità medie	**Parametro C** della retta di regressione	**Alfa (10min)** calcolato 10min x 10 min	**Alfa (medie)** calcolato in base al rapporto delle velocità medie
40 m / 90 m	3722	0,935	1,184	1,172	0,208	0,208
40 m / 120 m	3500	0,882	1,236	1,217	0,191	0,193



Correlazione tra le velocità medie misurate nei 10 minuti a 40 m e 90 m



Correlazione tra le velocità medie misurate nei 10 minuti a 40 m e 120 m

Nelle due tabelle successive, viene calcolata la ventosità alle altezze di mozzo di 89 e 90 metri applicando i diversi parametri risultanti dalle correlazioni:

- **R**: rapporto tra le medie a diverse altezze;
- **C**: inclinazione delle rette di regressione della nube di punti delle coppie di valori contemporanei di due altezze di misura;
- **alfa** (10min): gradiente al suolo calcolato con la legge di potenza utilizzando i dati di velocità 10min x 10min
- **alfa** (medie): gradiente al suolo calcolato con la legge di potenza utilizzando le velocità medie dell'intero periodo considerato di raccolta dati.

In particolare, il parametro alfa è calcolato con la seguente legge:

$$alfa = \log\left\{ \overline{V}_{HHm} / \overline{V}_{40m)} \right\} / \log\left\{ HH / 40 \right\}$$

Sedi operative:
- Via S. Francesco d'Assisi, 3/B - 23855 **Pescate (LC)**
Tel. 0341 365045 – Fax 0341 365091
- Via Matteotti, 311 – SCALA P – Int.10 – 25063 **Gardone V.T. (BS)**
Tel. 030 2056980 – Fax 030 831100

E-mail: info@tecnogaia.it
E-mail PEC info@pec.tecnogaia.com

Sede Legale:
Via Maestri Campionesi, 27 – 20135 **Milano**
Tel. 02 24417058 – Fax 02 24303700

N° Iscriz. Registro Imprese Milano
Cod. Fisc. & P. IVA 13029730150
N° REA 1619077
Cap. Soc. € 119.000,00 interamente versato

Stima della velocità del vento a 89m dal suolo					
V Misurata 40 m (m/s)	Periodo di Rilevazione Stazione (mesi)	Periodo di Rilevazione Mini-sodar (mesi)	Parametro utilizzato		V stimata a 89 m (m/s)
5.376	63.2	2.92	R	1,184	6,36
			C	1,172	6,30
			Alfa (10 min)	0,208	6,35
			Alfa (medie)	0,208	6,35
				Media	**6,34**

Stima della velocità del vento a 119m dal suolo					
V Misurata 40 m (m/s)	Periodo di Rilevazione Stazione (mesi)	Periodo di Rilevazione Mini-sodar (mesi)	Parametro utilizzato		V stimata a 119 m (m/s)
5.376	63.2	2.92	R	1,236	6,64
			C	1,217	6,54
			Alfa (10 min)	0,191	6,62
			Alfa (medie)	0,193	6,63
				Media	**6,61**

Le velocità del vento stimate alle altezze del mozzo con i quattro diversi metodi sono coerenti tra di loro: per l'estrapolazione della velocità media del vento all'altezza del mozzo delle macchine nella stima di produzione attesa dell'impianto si terrà conto della media dei risultati ottenuti dai quattro metodi.

Sedi operative:
- Via S. Francesco d'Assisi, 3/B - 23855 **Pescate (LC)**
Tel. 0341 365045 – Fax 0341 365091
- Via Matteotti, 311 – SCALA P – Int.10 – 25063 **Gardone V.T. (BS)**
Tel. 030 2056980 – Fax 030 831100

E-mail: info@tecnogaia.it
E-mail PEC info@pec.tecnogaia.com

Sede Legale:
Via Maestri Campionesi, 27 – 20135 **Milano**
Tel. 02 24417058 – Fax 02 24303700

N° Iscriz. Registro Imprese Milano
Cod. Fisc. & P. IVA 13029730150
N° REA 1619077
Cap. Soc. € 119.000,00 interamente versato

5 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.

6 AREA DI APPLICAZIONE DEL MODELLO

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

In questo caso si è utilizzata una mappa di circa 400 km2, precisamente un quadrato di 20x20 km, con curve di livello con passo di quota di 10 metri nella zona di interesse del sito (5x5km tratti dalla CTR - Carta Tecnica Regionale). Per la restante parte dell'area, la risoluzione di quota è pari a 20m. Per l'intera area, in particolare nell'intorno del sito, si è provveduto a digitalizzare la rugosità del terreno assumendo come classe di rugosità 0.00 per la linea del mare, come classe 0.05 per i pascoli ed i prati senza ostacoli, come classe 0.1 per le aree adibite ad aree cespugliose, come 0.2 per le aree boschive e come 0.5 per i centri abitati.

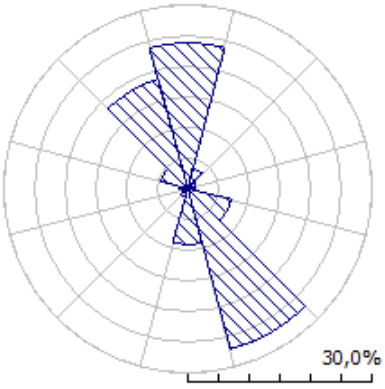
7 VERIFICHE SUL MODELLO

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.

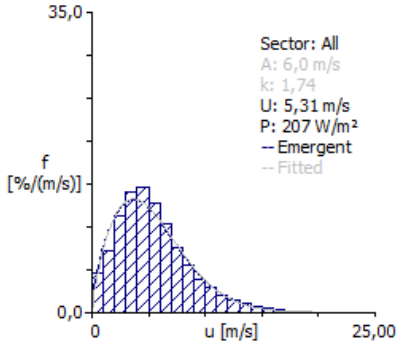
Se in questa fase di messa a punto del modello non si riscontreranno incongruenze tali da inficiare l'intero calcolo o da costringere a riconsiderare alcuni processi precedenti, si potrà procedere alla sua applicazione per la determinazione della produzione attesa dall'impianto.

7.1 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.



T0721 – Rosa dei venti



T0721 – Distribuzione velocità vento

Per la stazione **T0721**, la distribuzione di Weibull dedotta dal modello di calcolo dai dati di input è riportata graficamente nelle figure precedenti e in formato numerico nella tabella seguente, dove:

(A) velocità caratteristica Vc della distribuzione di Weibull calcolata dal modello WAsP nel settore;

(k) fattore di forma k di tale distribuzione di Weibull;

(U) valore medio della velocità del vento in m/s per ciascun settore di direzione;

(P) potenza specifica in W/m2 della vena fluida nel settore di direzione;

(f) frequenza percentuale di occorrenze nel settore.

Site description: 'FERRIERA (SV) : Feb.2011 - May.2016 , (Code : T0721)';

Position: 44,43°N 8,44°E; Anemometer height: 40,00 m a.g.l.

-	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
A	5,4	4,1	2,9	2,2	7,4	8,1	6,0	2,9	2,1	3,2	3,8	5,0
k	2,05	1,86	1,44	1,28	2,20	2,20	1,76	1,28	1,13	1,20	1,47	1,83
U	4,80	3,68	2,59	2,07	6,56	7,22	5,37	2,64	2,05	2,97	3,41	4,40
P	126	63	31	19	301	402	208	40	24	64	68	110
f	23,8	3,7	1,4	1,1	7,2	27,1	9,0	1,3	0,8	1,5	4,7	18,5

U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
1,0	22	92	192	260	46	15	39	229	333	219	98	40	46
2,0	56	130	247	321	52	19	55	224	274	202	175	91	72
3,0	117	184	242	232	64	33	100	230	198	188	236	163	111
4,0	184	218	143	107	85	62	146	164	107	140	170	192	139
5,0	198	180	89	33	103	108	164	67	39	83	114	167	145
6,0	149	95	40	18	116	138	141	37	23	45	84	129	127
7,0	112	40	17	14	126	133	108	15	11	23	49	89	103
8,0	69	28	12	6	106	118	75	8	5	34	30	55	76
9,0	40	14	10	3	88	96	50	11	2	31	16	30	54
10,0	23	6	4	3	69	77	39	4	0	16	9	17	39
11,0	14	5	1	1	50	60	26	3	1	8	8	10	28
12,0	7	3	1	3	36	46	18	3	0	6	5	7	20
13,0	3	3	1	0	25	33	12	2	2	4	3	4	14
14,0	2	2	0	0	16	24	10	2	1	0	2	3	10
15,0	2	1	0	0	9	18	7	0	0	0	1	2	7
16,0	1	0	0	0	6	12	5	1	0	0	0	1	4
17,0	0	0	0	0	2	6	2	0	0	0	0	1	2
18,0	0	0	0	0	0	3	1	0	1	0	0	0	1
19,0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
20,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,0	22	92	192	260	46	15	39	229	333	219	98	40	46
2,0	56	130	247	321	52	19	55	224	274	202	175	91	72

A and U are given in m/s, E in W/m² and the frequencies of occurrence in per mille and per cent (f).

Sedi operative:
- Via S. Francesco d'Assisi, 3/B - 23855 **Pescate (LC)**
Tel. 0341 365045 – Fax 0341 365091
- Via Matteotti, 311 – SCALA P – Int.10 – 25063 **Gardone V.T. (BS)**
Tel. 030 2056980 – Fax 030 831100

E-mail: info@tecnogaia.it
E-mail PEC info@pec.tecnogaia.com

Sede Legale:
Via Maestri Campionesi, 27 – 20135 **Milano**
Tel. 02 24417058 – Fax 02 24303700

N° Iscriz. Registro Imprese Milano
Cod. Fisc. & P. IVA 13029730150
N° REA 1619077
Cap. Soc. € 119.000,00 interamente versato

Nella tabella seguente, vengono messi a confronto i parametri sperimentali (Measured) della velocità media e della potenza della vena fluida con la distribuzione di ventosità (Emergent) dedotta dal modello di calcolo.

Codice stazione	-	Unit	Measured	Emergent	Discrepancy
T0721	Mean wind speed	m/s	5,38	5,31	**-1,2**
	Mean power density	W/m²	207	207	**+0,2**

Di seguito i parametri sperimentali 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).

Codice stazione	-	Unit	Measured	Self Prediction	Discrepancy
T0721	Mean wind speed	m/s	5,38	5,38	**+0,1**
	Mean power density	W/m²	207	211	**+2,1**

Le differenze riscontrate sono contenute e pertanto si ritiene positivo l'esito delle verifiche sull'approssimazione della curva di Weibull.

In ogni caso, le approssimazioni introdotte saranno corrette tramite una riparametrazione dei risultati del modello di calcolo con i dati sperimentali della stazione. In altri termini, i valori di produzione ottenuti dai singoli aerogeneratori vengono rapportati, tramite un correttivo (Coefficiente Orografico), a quelli noti calcolati con i dati sperimentali di un aerogeneratore virtuale posizionato all'altezza di mozzo delle macchine sulla verticale della posizione dell'anemometro.

Sedi operative:
- Via S. Francesco d'Assisi, 3/B - 23855 **Pescate (LC)**
Tel. 0341 365045 – Fax 0341 365091
- Via Matteotti, 311 – SCALA P – Int.10 – 25063 **Gardone V.T. (BS)**
Tel. 030 2056980 – Fax 030 831100

E-mail: info@tecnogaia.it
E-mail PEC info@pec.tecnogaia.com

Sede Legale:
Via Maestri Campionesi, 27 – 20135 **Milano**
Tel. 02 24417058 – Fax 02 24303700

N° Iscriz. Registro Imprese Milano
Cod. Fisc. & P. IVA 13029730150
N° REA 1619077
Cap. Soc. € 119.000,00 interamente versato

8 PRODUZIONE LORDA ATTESA

I risultati di produzione lorda ottenuti sono riportati nelle seguenti tabelle per il modello di aerogeneratore e le configurazioni d'impianto considerate. I valori tengono conto delle perdite dovute alla scia tra i due aerogeneratori e alla densità dell'aria secondo quanto indicato al paragrafo 2.4.

In particolare ciascuna tabella riporta le seguenti informazioni:

- Identificativo del tipo di aerogeneratore
- Coordinate chilometriche nel sistema di riferimento **UTM ED50 Fuso 32**
- Quota della fondazione del sostegno
- Altezza del mozzo
- Velocità media annua stimata all'altezza del mozzo
- Produzione lorda attesa stimata
- Percentuale di perdita di produzione per effetto scia
- Produzione netta attesa, cioè quella al netto delle perdite per effetto scia
- Ore annue equivalenti di funzionamento espresse come rapporto tra la produzione netta attesa e la potenza della macchina

Sedi operative:
- Via S. Francesco d'Assisi, 3/B - 23855 **Pescate (LC)**
Tel. 0341 365045 – Fax 0341 365091
- Via Matteotti, 311 – SCALA P – Int.10 – 25063 **Gardone V.T. (BS)**
Tel. 030 2056980 – Fax 030 831100

E-mail: info@tecnogaia.it
E-mail PEC info@pec.tecnogaia.com

Sede Legale:
Via Maestri Campionesi, 27 – 20135 **Milano**
Tel. 02 24417058 – Fax 02 24303700

N° Iscriz. Registro Imprese Milano
Cod. Fisc. & P. IVA 13029730150
N° REA 1619077
Cap. Soc. € 119.000,00 interamente versato

A. IMPIANTO EOLICO DI FERRIERA
N. 2 AEROGENERATORE SENVION 3.0M-122
H MOZZO = 89 M

AG	Site x	Site y	Elev.	Ht	U	Gross	Net.	Loss	Net.Hours
ID	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	[GWh]	[GWh]	[%]	[MWh/MW]
AG1	454.901	4.919.280	721	89,0	6,31	8,561	8,478	0,97	2855
AG2	455.096	4.919.601	741	89,0	6,58	9,075	9,056	0,21	3049
	Medie:	**731**	**89,0**	**6,45**	**8,818**	**8,767**	**0,59**	**2952**	
				Somme:	**17,636**	**17,534**		

B. IMPIANTO EOLICO DI FERRIERA
N. 2 AEROGENERATORE SENVION 3.0M-122
H MOZZO = 119-89 M

AG	Site x	Site y	Elev.	Ht	U	Gross	Net.	Loss	Net.Hours
ID	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	[GWh]	[GWh]	[%]	[MWh/MW]
AG1	454.901	4.919.280	721	119,0	6,59	9,183	9,104	0,86	3065
AG2	455.096	4.919.601	741	89,0	6,58	9,075	9,058	0,19	3050
	Medie:	**731**	**119-89**	**6,59**	**9,129**	**9,081**	**0,53**	**3057**	
				Somme :	**18,258**	**18,161**		

C. IMPIANTO EOLICO DI FERRIERA
N. 2 AEROGENERATORE SENVION 3.0M-122
H MOZZO = 119 M

AG	Site x	Site y	Elev.	Ht	U	Gross	Net.	Loss	Net.Hours
ID	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	[GWh]	[GWh]	[%]	[MWh/MW]
AG1	454.901	4.919.280	721	119,0	6,59	9,183	9,093	0,98	3062
AG2	455.096	4.919.601	741	119,0	6,77	9,509	9,487	0,23	3194
	Medie:	**731**	**119,0**	**6,68**	**9,346**	**9,290**	**0,61**	**3128**	
				Somme :	**18,692**	**18,580**		

Sedi operative:
- Via S. Francesco d'Assisi, 3/B - 23855 **Pescate (LC)**
Tel. 0341 365045 – Fax 0341 365091
- Via Matteotti, 311 – SCALA P – Int.10 – 25063 **Gardone V.T. (BS)**
Tel. 030 2056980 – Fax 030 831100

E-mail: info@tecnogaia.it
E-mail PEC info@pec.tecnogaia.com

Sede Legale:
Via Maestri Campionesi, 27 – 20135 **Milano**
Tel. 02 24417058 – Fax 02 24303700

N° Iscriz. Registro Imprese Milano
Cod. Fisc. & P. IVA 13029730150
N° REA 1619077
Cap. Soc. € 119.000,00 interamente versato

9 PRODUZIONE ATTESA AL NETTO DELLE PERDITE D'IMPIANTO

La tabella sottostante riporta in sintesi la producibilità lorda stimata in funzione della configurazione d'impianto adottata, ovvero delle altezze di mozzo indicate. I valori di produzione lorda attesa ottenuti dal processo di calcolo tengono conto unicamente delle perdite dovute alla scia degli aerogeneratori e alla densità dell'aria alla quota del sito.

Producibilità lorde						
Impianto	H Mozzo [m]	Potenza nominale [MW]	N° AG	Potenza impianto [MW]	Producibilità [GWh/anno]	Ore [Ore/anno]
A. SENVION 3.0M-122	89	2,970	2	5,94	**17,534**	**2952**
B. SENVION 3.0M-122	119-89	2,970	2	5,94	**18,161**	**3057**
C. SENVION 3.0M-122	119	2,970	2	5,94	**18,580**	**3128**

A tali producibilità lorde devono essere sottratte le seguenti perdite, valutate sulla base della pratica e della letteratura del settore. Tali perdite andranno riviste una volta noti i valori progettuali e contrattuali:

Perdite considerate	**%**
Disponibilità aerogeneratori	3,0%
Disponibilità B.O.P.	0,5%
Disponibilità rete	0,2%
Perdite elettriche dell'impianto	3,0%
Degradazione superficie pale	1,0%
Altre perdite	1,0%
Totale perdite	**8,4%**

Ne risultano, pertanto, le seguenti producibilità nette:

Producibilità nette P50%						
Impianto	H Mozzo [m]	Potenza nominale [MW]	N° AG	Potenza impianto [MW]	Producibilità [GWh/anno]	Ore [Ore/anno]
A. SENVION 3.0M-122	89	2,970	2	5,94	**16,056**	**2703**
B. SENVION 3.0M-122	119-89	2,970	2	5,94	**16,631**	**2800**
C. SENVION 3.0M-122	119	2,970	2	5,94	**17,014**	**2864**

10 CONCLUSIONI

Il presente rapporto contiene i risultati della valutazione di produzione attesa dell'impianto eolico in progetto nel sito di "Ferriera", nel Comune di Pontinvrea in Provincia di Savona.

La valutazione della producibilità fa riferimento all'**Allegato A**, che contiene l'analisi statistica dei dati di vento rilevati dalla stazione anemometrica del Committente.

In aggiunta ai dati di vento forniti, è stata inoltre utilizzata la misura svolta tramite sistema Mini-SODAR per la verifica del gradiente al suolo in sito. La validazione della campagna di misura è stata eseguita per confronto con la velocità del vento misurata con la stazione anemometrica: la verifica del funzionamento del sistema Mini-Sodar ha dato buoni risultati e ha consentito di disporre di un valore della ventosità al mozzo degli aerogeneratori, caratterizzato da un grado di incertezza contenuto.

Si è proceduto quindi alla validazione del modello di calcolo WAsP per verificare e correggere le approssimazioni introdotte nella lettura dei dati di ventosità ed in particolare degli effetti dell'orografia e della rugosità del terreno.

Il calcolo della produzione attesa (P50%) è stato effettuato sulla base di tutti i dati disponibili, utilizzando al meglio il codice di calcolo numerico e, nel caso in cui il processo di calcolo offriva la possibilità di più scelte alternative, utilizzando quella maggiormente conservativa, allo scopo di ridurre il rischio di sopravvalutazione della produzione.

Non rientra nello scopo del presente studio la valutazione delle incertezze della stima.

Sedi operative:
- Via S. Francesco d'Assisi, 3/B - 23855 **Pescate (LC)**
  Tel. 0341 365045 – Fax 0341 365091
- Via Matteotti, 311 – SCALA P – Int.10 – 25063 **Gardone V.T. (BS)**
  Tel. 030 2056980 – Fax 030 831100

E-mail: info@tecnogaia.it
E-mail PEC info@pec.tecnogaia.com

Sede Legale:
Via Maestri Campionesi, 27 – 20135 **Milano**
Tel. 02 24417058 – Fax 02 24303700

N° Iscriz. Registro Imprese Milano
Cod. Fisc. & P. IVA 13029730150
N° REA 1619077
Cap. Soc. € 119.000,00 interamente versato

TecnoGaia S.r.l.

ALLEGATO A

Stazione anemometrica del sito di Ferriera

Comune di Pontinvrea (SV)

Elaborazione statistica dei dati rilevati

Stazione anemometrica di

✓ ***Ferriera T0721***

Disponibilità dei dati elementari

<u>Allegato A1</u>

STAZIONE ANEMOMETRICA DI FERRIERA
- Regione Liguria - Cod. T0721
DISPONIBILITÀ DEI DATI RELATIVA AL PERIODO: 23/02/2011 - 31/05/2016

T0721	Velocità 40m		Velocità 30m		Velocità 20m		Direzione	
mese-anno	%	Vmed	%	Vmed	%	Vmed	40m %	20m %
2 - 2011	19%	4,7	19%	4,2	19%	4,3	19%	19%
3 - 2011	99%	5,8	97%	5,2	97%	5,4	95%	95%
4 - 2011	100%	4,3	100%	3,6	100%	4,0	100%	100%
5 - 2011	100%	5,0	100%	4,5	100%	4,7	100%	100%
6 - 2011	100%	5,1	100%	4,5	100%	5,0	100%	100%
7 - 2011	100%	6,3	100%	5,9	100%	6,2	100%	100%
8 - 2011	100%	5,5	100%	5,2	100%	5,4	100%	100%
9 - 2011	100%	4,9	100%	4,3	100%	4,6	100%	100%
10 - 2011	100%	5,2	100%	4,5	100%	4,7	100%	100%
11 - 2011	88%	4,3	78%	3,5	88%	3,9	88%	88%
12 - 2011	64%	5,5	63%	4,8	64%	5,1	64%	64%
1 - 2012	97%	6,2	97%	5,5	97%	5,7	97%	97%
2 - 2012	89%	6,5	92%	6,1	92%	6,1	89%	89%
3 - 2012	99%	5,7	99%	5,2	99%	5,3	96%	96%
4 - 2012	100%	5,6	100%	5,1	100%	5,3	99%	99%
5 - 2012	100%	5,3	100%	5,0	100%	5,1	100%	100%
6 - 2012	100%	6,3	100%	5,9	100%	6,0	100%	100%
7 - 2012	100%	7,4	100%	7,1	100%	7,1	100%	100%
8 - 2012	100%	5,2	100%	4,8	100%	4,9	100%	100%
9 - 2012	100%	5,4	100%	4,9	100%	4,9	100%	100%
10 - 2012	100%	4,5	100%	3,8	100%	4,2	99%	99%
11 - 2012	100%	5,0	100%	4,2	100%	4,5	100%	100%
12 - 2012	95%	5,3	94%	4,6	97%	4,8	95%	97%
1 - 2013	84%	5,2	81%	4,4	88%	4,6	75%	66%
2 - 2013	87%	6,0	84%	5,4	87%	5,5	76%	77%
3 - 2013	97%	5,3	98%	4,7	97%	4,9	86%	88%
4 - 2013	100%	5,0	100%	4,4	100%	4,9	100%	100%
5 - 2013	100%	6,4	100%	6,1	100%	6,4	100%	100%
6 - 2013	100%	5,3	100%	5,0	100%	5,2	100%	100%
7 - 2013	100%	4,8	100%	4,5	100%	4,7	100%	100%
8 - 2013	100%	4,8	100%	4,5	100%	4,6	100%	100%
9 - 2013	100%	5,5	100%	5,1	100%	5,3	100%	100%
10 - 2013	100%	5,0	100%	4,3	100%	4,5	100%	100%
11 - 2013	100%	5,2	98%	4,7	100%	4,7	98%	98%
12 - 2013	73%	4,6	72%	4,2	73%	4,4	71%	72%
1 - 2014	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0%
2 - 2014	0%	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%	0%
3 - 2014	11%	5,1	11%	4,6	11%	4,6	11%	11%
4 - 2014	100%	5,1	100%	4,6	100%	4,7	100%	100%
5 - 2014	100%	6,0	100%	5,7	100%	5,8	100%	100%
6 - 2014	100%	5,4	100%	5,1	100%	5,1	100%	100%
7 - 2014	100%	4,4	100%	4,1	100%	4,2	100%	100%
8 - 2014	100%	5,4	100%	5,1	100%	5,3	100%	100%
9 - 2014	100%	4,0	100%	3,6	100%	3,7	100%	100%
10 - 2014	100%	4,4	100%	4,0	100%	4,0	100%	100%
11 - 2014	100%	4,1	100%	3,7	100%	3,9	100%	100%
12 - 2014	99%	5,4	99%	5,1	99%	5,0	98%	98%
1 - 2015	100%	6,2	100%	6,0	100%	5,9	99%	95%
2 - 2015	76%	5,3	76%	5,1	88%	4,9	72%	75%
3 - 2015	99%	5,5	100%	5,3	100%	5,1	98%	98%
4 - 2015	99%	6,0	99%	5,8	99%	5,7	99%	99%
5 - 2015	100%	6,4	100%	6,2	100%	6,0	100%	100%
6 - 2015	100%	4,4	100%	4,2	100%	4,1	100%	100%
7 - 2015	100%	5,6	100%	5,5	100%	5,5	100%	100%
8 - 2015	100%	4,3	100%	4,1	100%	4,0	100%	100%
9 - 2015	100%	6,0	100%	5,8	100%	5,7	100%	100%
10 - 2015	100%	4,9	100%	4,9	100%	4,6	100%	100%
11 - 2015	100%	5,6	100%	5,6	100%	5,4	100%	100%
12 - 2015	100%	3,6	100%	3,6	100%	3,6	100%	100%
1 - 2016	88%	5,8	88%	5,6	88%	5,5	88%	88%
2 - 2016	94%	6,4	95%	6,1	95%	6,1	90%	90%
3 - 2016	100%	6,6	100%	6,3	100%	6,3	96%	96%
4 - 2016	99%	6,9	99%	6,7	99%	6,7	99%	99%
5 - 2016	100%	5,8	100%	5,6	100%	5,6	100%	100%

Risultati delle elaborazioni effettuate
con i dati della stazione di

- ✓ ***Ferriera cod.T0721***

<u>Allegato A2</u>

GUIDA ALL' INTERPRETAZIONE DELLE TABELLE E DEI GRAFICI

TABELLA S1 – S2: Sintesi dei principali parametri statistici di tutti i sensori installati:

- Parametri statistici delle distribuzioni del rapporto di raffica
- Parametri statistici delle distribuzioni del gradiente alfa
- Parametri statistici delle distribuzioni dello scarto quadratico medio della direzione
- Periodo di rilevazione e percentuale dati disponibili
- Parametri sintetici delle distribuzioni della velocità del vento rilevata
- Velocità media annua e potenza specifica media annua destagionalizzate
- Parametri statistici delle distribuzioni della turbolenza

MISURA A 40 M DAL SUOLO

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 *Vmed*, dello scarto quadratico medio *sqmV*, della velocità media cubica *Vcub* 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 *Vc* 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 : $Vmed = \sum_i \frac{1}{n} \cdot V_i$
- colonna 6 : scarto quadratico medio delle velocità : $sigV = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_i (V_i - Vmed)^2}$
- colonna 7 : media cubica delle velocità : $Vcub = \sqrt[3]{\frac{1}{n} \cdot \sum_i V_i^3}$
- colonna 8 : valore massimo della velocità : $Vmax = max_i \{V_i\}$
- 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^2);
- colonna 8 : energia specifica media del vento nel mese (in kWh/m^2).

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^2 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^2. Il grafico mette in evidenza le componenti stagionali della risorsa eolica.

GRAFICO 7 : Riporta gli andamenti della velocità massima, media e dello scarto quadratico medio della velocità nell'arco delle 24 ore del giorno; per ogni intervallo di 10 minuti della giornata è riportata la media dei valori registrati, nei diversi giorni dell'anno, nell'intervallo corrispondente.

GRAFICO 8 : Riporta l'istogramma della potenza specifica media della vena fluida in W/m^2 nell'arco delle 24 ore del giorno; per ogni intervallo di 10 minuti della giornata è riportata la media delle potenze rilevate, nei diversi giorni dell'anno, nell'intervallo corrispondente. Il grafico mette in evidenza la componente giornaliera della risorsa eolica.

TABELLA D : Sono riportati parametri statistici relativi ai valori ottenuti per la turbolenza *T* del vento definita come rapporto percentuale tra il valore dello scarto quadratico medio della velocità del vento rilevato nei 10 minuti ed il corrispondente valore medio:

$$T = 100 \cdot sigV(10')/Vmed(10')$$

Il valore di turbolenza viene calcolato solo per velocità medie nei 10 minuti superiori a 0.5 m/s, in tabella i parametri statistici della variabile *T* sono classificati separatamente per settori di direzione e per classi di velocità. In particolare sono riportati:

- colonna 1 : settore di direzione o classe di velocità;
- colonna 2 : percentuale di occorrenze (nel settore o nella classe);
- colonna 3 : numero di occorrenze *n* (nel settore o nella classe);
- colonna 4 : turbolenza media *Tmed* (nel settore o nella classe);
- colonna 5 : scarto quadratico medio della turbolenza *sigT* (nel settore o nella classe);
- colonna 6 : valore percentile al 5%, *T_5%* (nel settore o nella classe), esso rappresenta un valore minimo di turbolenza che è superato con una probabilità del 95%;
- colonna 7 : valore percentile al 95%, *T_95%* (nel settore o nella classe), esso rappresenta un valore massimo di turbolenza che è superato con una probabilità del 5%.

La prima riga Totale rappresenta i parametri della distribuzione della turbolenza per tutte le velocità del vento superiori al valore di calma di 0.5 m/s, mentre la seconda riga Totale* (contrassegnata da *) rappresenta i parametri della distribuzione della turbolenza solo per velocità del vento superiori a 4 m/s.

In questo Totale* non vengono quindi considerate le classi di velocità minori di 4 m/s, quelle in cui l'aerogeneratore non produce, e pertanto in esso sono riportati i parametri della distribuzione della turbolenza che andrebbe ad interessare l'aerogeneratore.

GRAFICO 9 : Riporta l'istogramma della distribuzione dell'intensità di turbolenza *T* della velocità del vento nell'intervallo di dieci minuti e la corrispondente curva di durata sperimentale.

Nel grafico sono riportate altre due curve (tratto continuo blu) che rappresentano la distribuzione di frequenza e la curva di durata dei valori di turbolenza calcolati con le sole velocità del vento superiori a 4 m/s, quelle di interesse per l'aerogeneratore.

TABELLA E : Sono riportati parametri statistici relativi ai valori ottenuti per il rapporto di raffica *R* della velocità del vento definito come rapporto tra il valore massimo della velocità del vento rilevato nei 10 minuti ed il corrispondente valore medio:

$$R = maxV(10')/Vmed(10')$$

Il valore del rapporto di raffica viene calcolato solo per velocità medie nei 10 minuti superiori a 0.5 m/s, in tabella i parametri statistici della variabile *R* sono classificati separatamente per settori di direzione e per classi di velocità. In particolare sono riportati:

- colonna 1 : settore di direzione o classe di velocità;
- colonna 2 : percentuale di occorrenze (nel settore o nella classe);
- colonna 3 : numero di occorrenze *n* (nel settore o nella classe);
- colonna 4 : rapporto di raffica medio *Rmed* (nel settore o nella classe);
- colonna 5 : scarto quadratico medio del rapporto di raffica *sigR* (nel settore o nella classe);
- colonna 6 : valore percentile al 5%, *R_5%* (nel settore o nella classe), esso rappresenta un valore minimo del rapporto di raffica che è superato con una probabilità del 95%;
- colonna 7 : valore percentile al 95%, *R_95%* (nel settore o nella classe), esso rappresenta un valore massimo del rapporto di raffica che è superato con una probabilità del 5%.

La prima riga Totale rappresenta i parametri della distribuzione del rapporto di raffica per tutte le velocità del vento superiori al valore di calma di 0.5 m/s, mentre la seconda riga Totale* (contrassegnata da *) rappresenta i parametri della distribuzione del rapporto di raffica solo per velocità del vento superiori a 4 m/s.

In questo Totale* non vengono quindi considerate le classi di velocità minori di 4 m/s, quelle in cui l'aerogeneratore non produce, e pertanto in esso sono riportati i parametri della distribuzione del rapporto di raffica che andrebbe ad interessare l'aerogeneratore.

GRAFICO 10 : Riporta l'istogramma della distribuzione del rapporto di raffica *R* della velocità del vento nell'intervallo di dieci minuti e la corrispondente curva di durata sperimentale.

Nel grafico sono riportate altre due curve (tratto continuo blu) che rappresentano la distribuzione di frequenza e la curva di durata dei valori di rapporto di raffica calcolati con le sole velocità del vento superiori a 4 m/s, quelle di interesse per l'aerogeneratore.

TABELLA F : Sono riportati parametri statistici relativi ai valori ottenuti per il gradiente al suolo *alfa* della velocità del vento calcolato per ogni 10 minuti con la seguente formula:

$$alfa = log\left(V_2 med(10') / V_1 med(10')\right) / log\left(h_2 / h_1\right)$$

dove *alfa* è il gradiente della velocità del vento al suolo, $V_2 med(10')$ e $V_1 med(10')$ sono le velocità medie del vento rilevate nei 10 minuti alle corrispondenti altezze dal suolo h_2 e h_1. Tale indice permette di stimare la velocità del vento al mozzo dell'aerogeneratore, solitamente superiore all'altezza delle misure, sulla base dei dati di vento misurati alle due altezza dal suolo h_2 e h_1.

Una relazione che permette di stimare tale velocità è del tipo esponenziale ed è riportata nella seguente formula:

$$V_{mozzo} = V_{misura} \bullet (h_{mozzo} / h_{misura})^{alfa}$$

Il valore del gradiente *alfa*, indicato in tabella con *A*, viene calcolato solo per velocità medie nei 10 minuti entrambe superiori a 0.5 m/s, in tabella i parametri statistici della variabile *A* sono classificati separatamente per settori di direzione e per classi di velocità. In particolare sono riportati:

- colonna 1 : settore di direzione o classe di velocità;
- colonna 2 : percentuale di occorrenze (nel settore o nella classe);
- colonna 3 : numero di occorrenze *n* (nel settore o nella classe);
- colonna 4 : gradiente medio *Amed* (nel settore o nella classe);
- colonna 5 : scarto quadratico medio del gradiente *sigA* (nel settore o nella classe);
- colonna 6 : valore percentile al 5%, *A_5%* (nel settore o nella classe), esso rappresenta un valore minimo del gradiente che è superato con una probabilità del 95%;
- colonna 7 : valore percentile al 95%, *A_95%* (nel settore o nella classe), esso rappresenta un valore massimo del gradiente che è superato con una probabilità del 5%.

La prima riga Totale rappresenta i parametri della distribuzione del gradiente della velocità del vento al suolo per tutte le velocità del vento superiori al valore di calma di 0.5 m/s, mentre la seconda riga Totale* (contrassegnata da *) rappresenta i parametri della distribuzione del gradiente solo per velocità del vento superiori a 4 m/s.

In questo Totale* non vengono quindi considerate le classi di velocità minori di 4 m/s, quelle in cui l'aerogeneratore non produce, e pertanto in esso sono riportati i parametri della distribuzione del gradiente della velocità del vento al suolo che andrebbe ad interessare l'aerogeneratore.

GRAFICO 11 : Riporta l'istogramma della distribuzione del gradiente della velocità del vento al suolo *A* calcolato per ogni intervallo di dieci minuti e la corrispondente curva di durata sperimentale.

Nel grafico sono riportate altre due curve (tratto continuo blu) che rappresentano la distribuzione di frequenza e la curva di durata dei valori del gradiente calcolati per le sole velocità del vento superiori a 4 m/s, quelle di interesse per l'aerogeneratore.

TABELLA G : Sono riportati parametri statistici relativi ai valori dello scarto quadratico medio della direzione del vento misurati per ciascuno dei 10 minuti. Tale grandezza rappresenta la turbolenza della direzione del vento.
Il valore dello scarto quadratico medio della direzione, indicato in tabella con *D*, viene considerato solo per velocità medie nei 10 minuti superiori a 0.5 m/s, in tabella i parametri

statistici della variabile *D* sono classificati separatamente per settori di direzione e per classi di velocità. In particolare sono riportati:

- colonna 1 : settore di direzione o classe di velocità;
- colonna 2 : percentuale di occorrenze (nel settore o nella classe);
- colonna 3 : numero di occorrenze *n* (nel settore o nella classe);
- colonna 4 : media della variabile scarto direzione *Dmed* (nel settore o nella classe);
- colonna 5 : scarto quadratico medio della variabile scarto direzione *sigD* (nel settore o nella classe);
- colonna 6 : valore percentile al 5%, *D_5%* (nel settore o nella classe), esso rappresenta un valore minimo di scarto della direzione che è superato con una probabilità del 95%;
- colonna 7 : valore percentile al 95%, *D_95%* (nel settore o nella classe), esso rappresenta un valore massimo di scarto della direzione che è superato con una probabilità del 5%.

La prima riga Totale rappresenta i parametri della distribuzione dello scarto quadratico medio della direzione per tutte le velocità del vento superiori al valore di calma di 0.5 m/s, mentre la seconda riga Totale* (contrassegnata da *) rappresenta i parametri della distribuzione della variabile scarto direzione solo per velocità del vento superiori a 4 m/s.

In questo Totale* non vengono quindi considerate le classi di velocità minori di 4 m/s, quelle in cui l'aerogeneratore non produce, e pertanto in esso sono riportati i parametri della distribuzione dello scarto quadratico medio della direzione, turbolenza della direzione, che andrebbe ad interessare l'aerogeneratore.

GRAFICO 12 : Riporta l'istogramma della distribuzione dello scarto quadratico medio della direzione del vento, o turbolenza della direzione, *D* nell'intervallo di dieci minuti e la corrispondente curva di durata sperimentale.

Nel grafico sono riportate altre due curve (tratto continuo blu) che rappresentano la distribuzione di frequenza e la curva di durata dei valori di scarto direzione calcolati con le sole velocità del vento superiori a 4 m/s, quelle di interesse per l'aerogeneratore.

STAZIONE ANEMOMETRICA : FERRIERA - Regione: Liguria (Cod.T0721)

Periodo di rilevazione e percentuale dati disponibili

Hane (m)	Data inizio	Data fine	n. mesi	n. Vel. 10 min.	Disp. Vel (%)	n. Dir. 10 min.	Disp. Dir (%)
40	23/2/2011	31/5/2016	63,2	257085	92,8	254548	91,9
30	23/2/2011	31/5/2016	63,2	256314	92,5	253920	91,6
20	23/2/2011	31/5/2016	63,2	257990	93,1	254332	91,8

Parametri sintetici delle distribuzioni della velocità del vento rilevata

Hane (m)	Vmed (m/s)	sigV (m/s)	Vcub (m/s)	Ps (W/m^2)	Vmax (m/s)	Vc (m/s)	k
40	5,38	3,11	6,96	207	22,7	6,01	1,70
30	4,98	3,18	6,70	185	22,9	5,38	1,46
20	5,08	3,02	6,66	181	22,6	5,71	1,69

Velocità media annua e potenza specifica media annua destagionalizzate

Hane (m)	Velocità media annua (m/s)		Potenza specifica media annua (W/m^2)		Energia (kWh/anno)
40	5,38	0,1%	208	0,6%	1820
30	4,99	0,1%	185	0,4%	1623
20	5,08	0,0%	181	0,0%	1583

Parametri statistici delle distribuzioni della turbolenza

Hane (m)	V soglia (m/s)	Numero valori	Disp. (%)	Tmed (%)	sigT (%)	T5% (%)	T95% (%)
40	V > 0.5	251197	97,7	19,0	12,4	6,7	45,4
	V > 4	161864	63,0	15,5	6,0	6,4	25,7
30	V > 0.5	241878	94,4	23,0	16,0	8,6	59,2
	V > 4	147176	57,4	17,2	5,9	8,3	27,5
20	V > 0.5	252276	97,8	21,7	12,3	9,7	48,0
	V > 4	149150	57,8	17,8	5,4	9,9	27,5

STAZIONE ANEMOMETRICA : FERRIERA - Regione: Liguria (Cod.T0721)

Parametri statistici delle distribuzioni del rapporto di raffica

Hane (m)	V soglia (m/s)	Numero valori	Disp. (%)	Rmed (%)	sigR (%)	R5% (%)	R95% (%)
40	V > 0.5	251197	97,7	1,50	0,36	1,14	2,10
	V > 4	161864	63,0	1,42	0,18	1,14	1,72
30	V > 0.5	241878	94,4	1,61	0,48	1,18	2,46
	V > 4	147176	57,4	1,47	0,19	1,18	1,79
20	V > 0.5	252276	97,8	1,58	0,36	1,21	2,19
	V > 4	149150	57,8	1,50	0,18	1,22	1,80

Parametri statistici delle distribuzioni del gradiente alfa

Hane (m)	V soglia (m/s)	Numero valori	Disp. (%)	Amed (%)	sigA (%)	A5% (%)	A95% (%)
40 / 30	V > 0.5	240632	93,6	0,406	0,733	-0,172	1,863
	V > 4	161566	62,8	0,208	0,241	-0,092	0,623
30 / 20	V > 0.5	241389	94,2	-0,137	0,463	-1,087	0,249
	V > 4	147025	57,4	0,009	0,142	-0,236	0,223
20 / 40	V > 0.5	248929	96,5	0,091	0,235	-0,222	0,418
	V > 4	148330	57,5	0,065	0,115	-0,134	0,237

Parametri statistici delle distribuzioni dello scarto quadratico medio della direzione

Hane (m)	V soglia (m/s)	Numero valori	Disp. (%)	Dmed (%)	sigD (%)	D5% (%)	D95% (%)
40	V > 0.5	248665	96,7	10,4	7,4	1,7	21,7
	V > 4	159880	62,2	9,7	4,7	2,4	17,2
30	V > 0.5	239520	93,4	10,3	7,1	1,8	20,9
	V > 4	145420	56,7	9,8	4,6	2,6	17,0
20	V > 0.5	248637	96,4	12,0	7,6	2,5	23,8
	V > 4	146396	56,7	11,8	4,8	4,0	19,5

STAZIONE ANEMOMETRICA : FERRIERA - Regione: Liguria (Cod.T0721)
Periodo di elaborazione: 23/02/2011 - 31/05/2016 (numero giorni: 1925)
Percentuale dati disponibili = 92.77 % (257085 dati su 277110)
Velocita' del vento V in m/s rilevata a 40 m dal suolo

Tabella A : CURVA DI DURATA DELLA VELOCITA' DEL VENTO

m/s	ore/anno	%	m/s	ore/anno	%
0,0	8759,8	100,00	0,5	8559,4	97,71
1,0	8351,7	95,34	1,5	8080,2	92,24
2,0	7718,0	88,11	2,5	7262,4	82,90
3,0	6738,4	76,92	3,5	6148,3	70,19
4,0	5515,4	62,96	4,5	4867,6	55,57
5,0	4242,2	48,43	5,5	3658,1	41,76
6,0	3128,8	35,72	6,5	2647,0	30,22
7,0	2232,6	25,49	7,5	1874,0	21,39
8,0	1568,0	17,90	8,5	1311,1	14,97
9,0	1094,8	12,50	9,5	913,2	10,42
10,0	754,2	8,61	10,5	621,6	7,10
11,0	507,7	5,80	11,5	413,2	4,72
12,0	333,7	3,81	12,5	268,1	3,06
13,0	214,5	2,45	13,5	168,0	1,92
14,0	130,3	1,49	14,5	99,3	1,13
15,0	71,0	0,81	15,5	49,8	0,57
16,0	32,2	0,37	16,5	20,5	0,23
17,0	12,4	0,14	17,5	7,1	0,08
18,0	4,2	0,05	18,5	2,2	0,03
19,0	1,1	0,01	19,5	0,5	0,01
20,0	0,2	0,00	20,5	0,1	0,00
21,0	0,1	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

Parametri della distribuzione di Weibull :	**Vc = 6,01**	**k = 1,70**

Parametri della velocità del vento calcolati con la distribuzione di Weibull:		
Vmed = 5,36 m/s	sqmV = 3,24 m/s	Vcub = 7,06 m/s
Potenza specifica della vena fluida		Pv = 216 W/m2

Tabella A

STAZIONE ANEMOMETRICA : FERRIERA - Regione: Liguria (Cod.T0721)
Periodo di elaborazione: 23/02/2011 - 31/05/2016 (numero giorni: 1925)
Percentuale dati disponibili = 92.77 % (257085 dati su 277110)
Velocita' del vento V in m/s rilevata a 40 m dal suolo

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

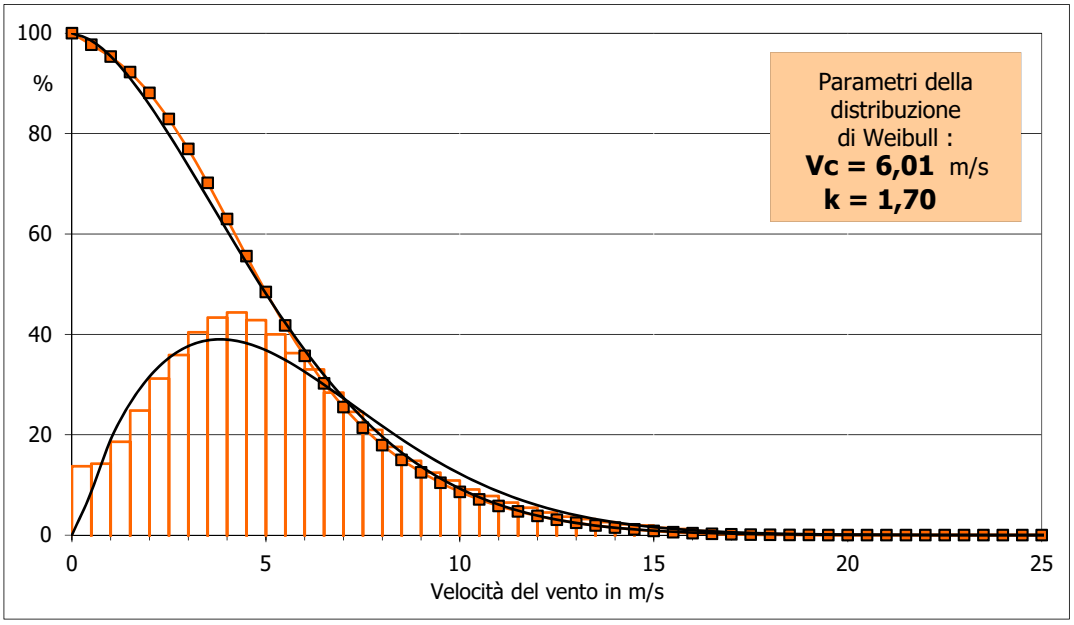
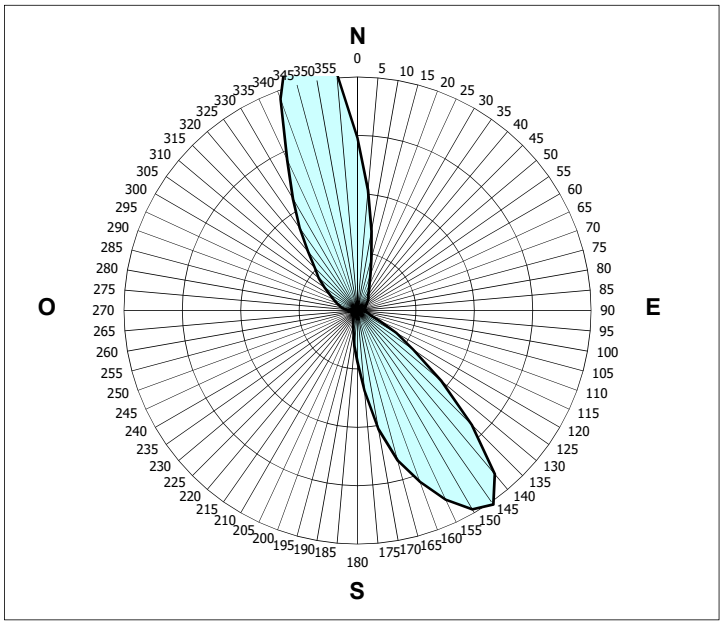


Grafico 2 : FREQUENZE DELLE DIREZIONI DEL VENTO (ROSA DEI VENTI)



Grafici 1 e 2

STAZIONE ANEMOMETRICA : FERRIERA - Regione: Liguria (Cod.T0721)
Periodo di elaborazione: 23/02/2011 - 31/05/2016 (numero giorni: 1925)
Percentuale dati disponibili = 92.77 % (257085 dati su 277110)
Velocita' del vento V in m/s rilevata a 40 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^2)
2°	N	23,3	59904	4,93	2,27	5,91	18,1	126
7°	NNE	3,5	8914	3,73	1,99	4,74	16,0	65
9°	ENE	1,3	3302	2,77	1,73	3,78	13,1	33
11°	E	0,9	2416	2,29	1,52	3,28	11,6	22
5°	ESE	7,0	17944	6,58	3,23	7,96	18,6	308
1°	SSE	26,6	68284	7,44	3,23	8,72	20,3	405
4°	S	8,7	22384	5,57	2,96	7,02	22,7	211
10°	SSO	1,2	2994	2,84	1,98	4,20	17,3	45
12°	OSO	0,6	1656	2,33	1,70	3,63	17,4	29
8°	O	1,3	3371	3,36	2,45	4,90	12,9	72
6°	ONO	4,4	11338	3,60	2,22	4,87	17,0	70
3°	NNO	18,0	46158	4,50	2,36	5,66	18,9	111
	NoDir	1,0	2532	5,61	1,98	6,25	15,1	149
	Calme	2,3	5888	(velocità del vento minore o uguale a 0.5 m/s)				
	Totale =		**257085**	**5,38**	**3,11**	**6,96**	**22,7**	**207**

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^2)	Ev (kWh/m^2)
Dic	4,32	4,86	2,96	6,41	16,9	161	119
Gen	3,69	5,86	3,45	7,63	20,0	271	201
Feb	3,71	6,00	3,32	7,66	20,3	274	184
Mar	5,05	5,76	2,95	7,09	20,0	218	162
Apr	5,98	5,49	3,29	7,20	18,3	227	164
Mag	6,00	5,80	3,24	7,38	20,1	245	182
Giu	5,00	5,29	3,06	6,87	19,8	198	143
Lug	5,00	5,70	3,35	7,41	19,6	249	185
Ago	5,00	5,05	2,87	6,51	17,8	168	125
Set	5,00	5,17	2,87	6,61	21,1	177	127
Ott	5,00	4,80	2,77	6,23	18,4	147	110
Nov	4,88	4,85	2,82	6,30	22,7	153	110

Stagione	Vmed (m/s)	sigV (m/s)	Vcub (m/s)	Vmax (m/s)	Pv (W/m^2)	Ev (kWh/m^2)
Inverno (Dic - Feb)	5,56	3,29	7,26	20,3	234	516
Primavera (Mar - Mag)	5,68	3,16	7,22	20,1	230	508
Estate (Giu - Ago)	5,34	3,11	6,95	19,8	205	453
Autunno (Set - Nov)	4,94	2,82	6,38	22,7	159	347

Anno	5,38	3,11	6,97	22,7	208	1820

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

STAZIONE ANEMOMETRICA : FERRIERA - Regione: Liguria (Cod.T0721)
Periodo di elaborazione: 23/02/2011 - 31/05/2016 (numero giorni: 1925)
Percentuale dati disponibili = 92.77 % (257085 dati su 277110)
Velocita' del vento V in m/s rilevata a 40 m dal suolo

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

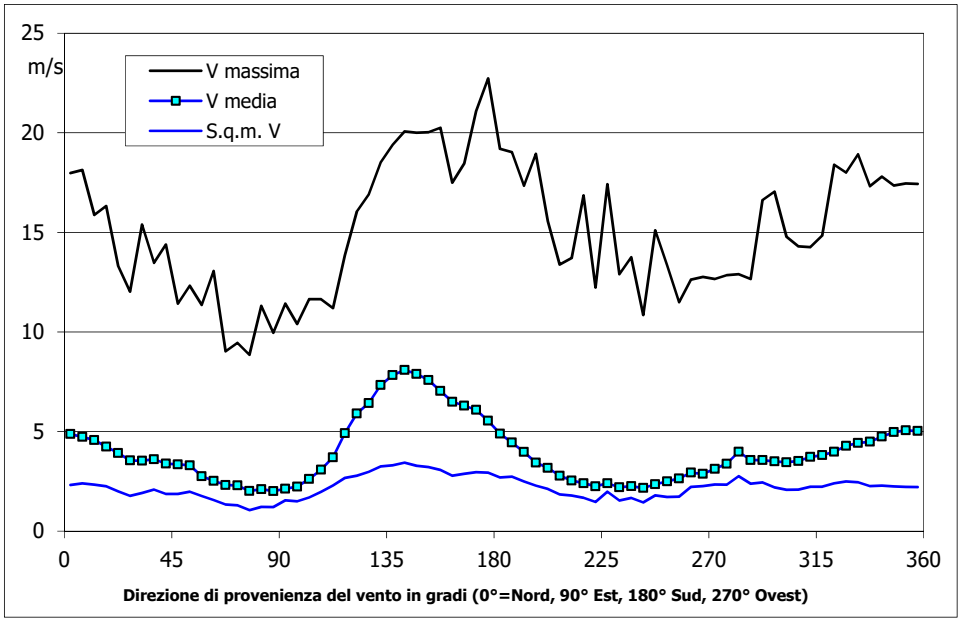
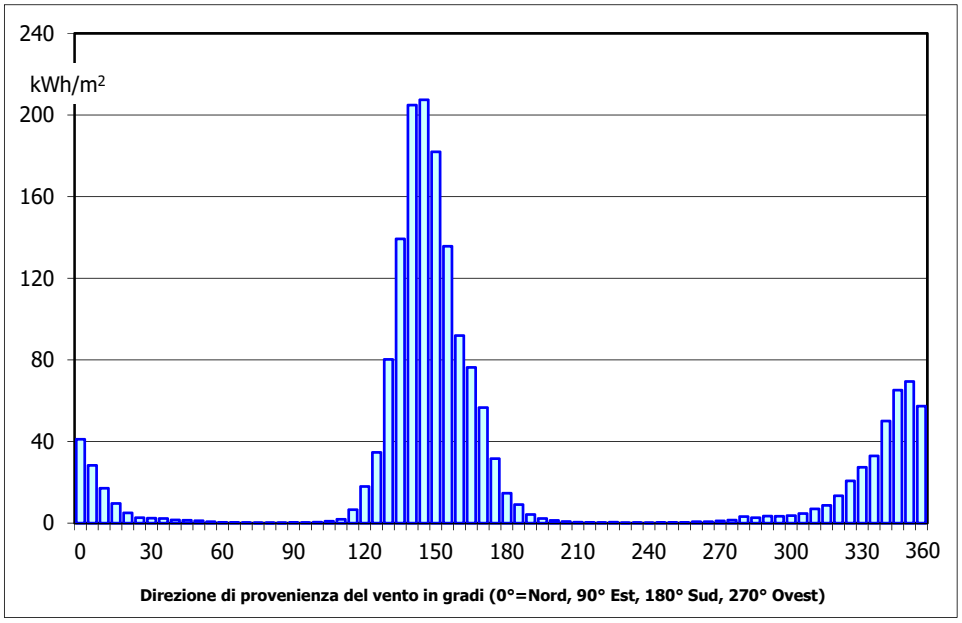


Grafico 4 : ENERGIA SPECIFICA DELLA VENA FLUIDA IN kWh/m^2 PER SETTORE DI DIREZIONE



Grafici 3 e 4

STAZIONE ANEMOMETRICA : FERRIERA - Regione: Liguria (Cod.T0721)
Periodo di elaborazione: 23/02/2011 - 31/05/2016 (numero giorni: 1925)
Percentuale dati disponibili = 92.77 % (257085 dati su 277110)
Velocita' del vento V in m/s rilevata a 40 m dal suolo

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

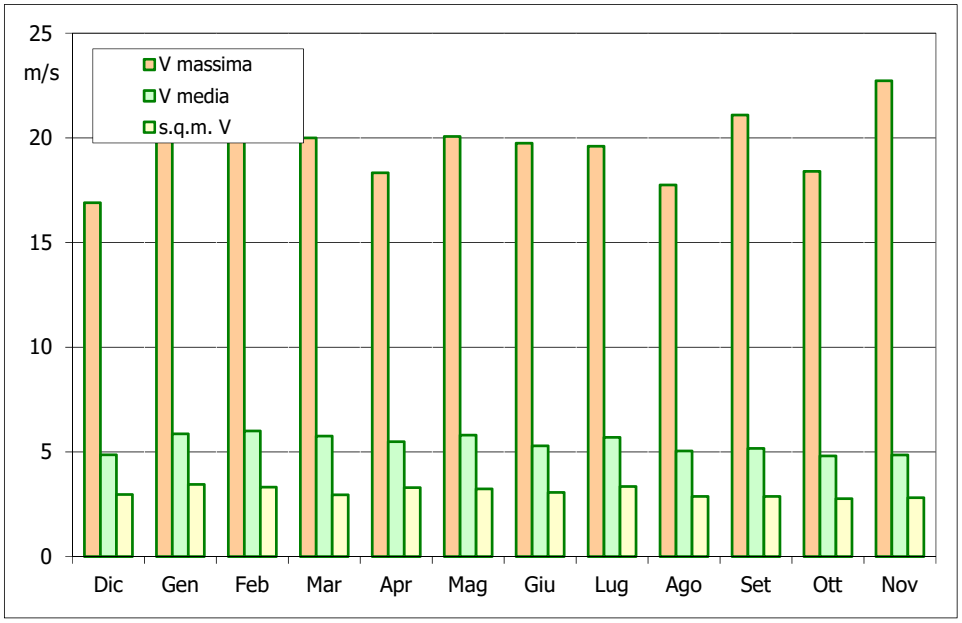
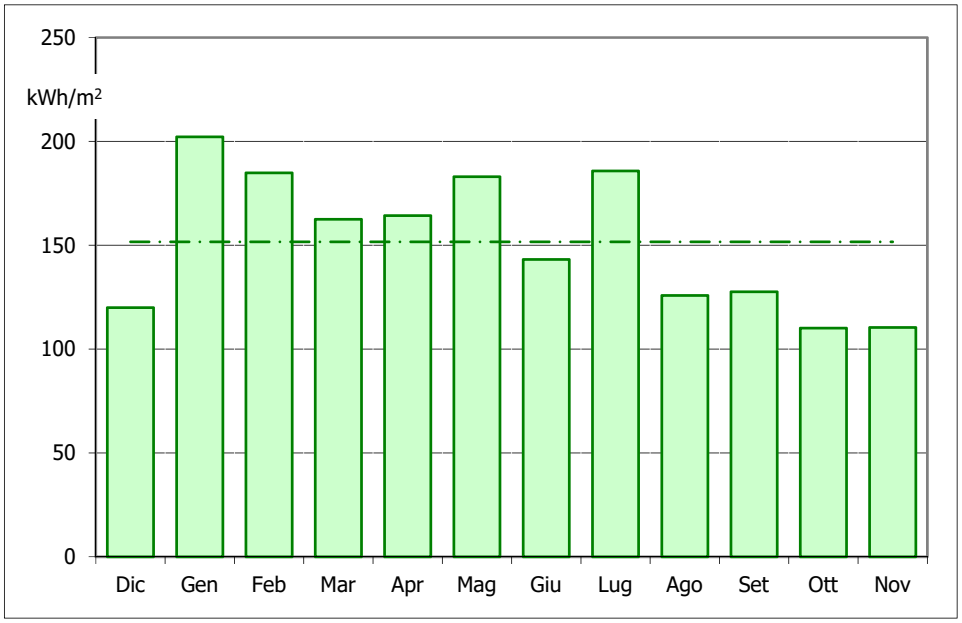


Grafico 6 : ENERGIA SPECIFICA MEDIA MENSILE DELLA VENA FLUIDA IN kWh/m2



Grafici 5 e 6

STAZIONE ANEMOMETRICA : FERRIERA - Regione: Liguria (Cod.T0721)
Periodo di elaborazione: 23/02/2011 - 31/05/2016 (numero giorni: 1925)
Percentuale dati disponibili = 92.77 % (257085 dati su 277110)
Velocita' del vento V in m/s rilevata a 40 m dal suolo

Grafico 7 : VELOCITA' MAX, MEDIA E S.Q.M. DELLE VELOCITA' NELLE 24 ORE DEL GIORNO

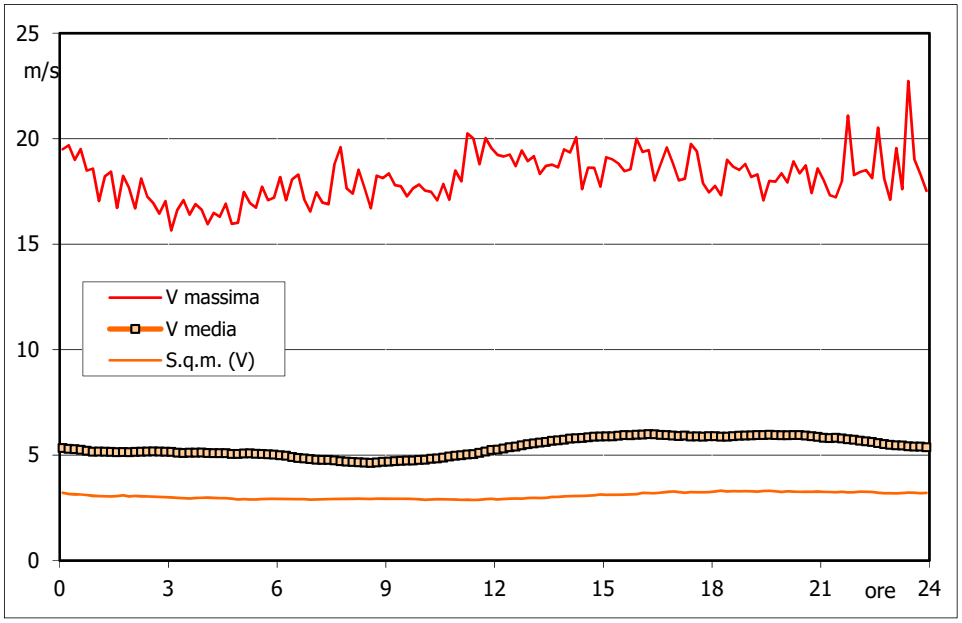
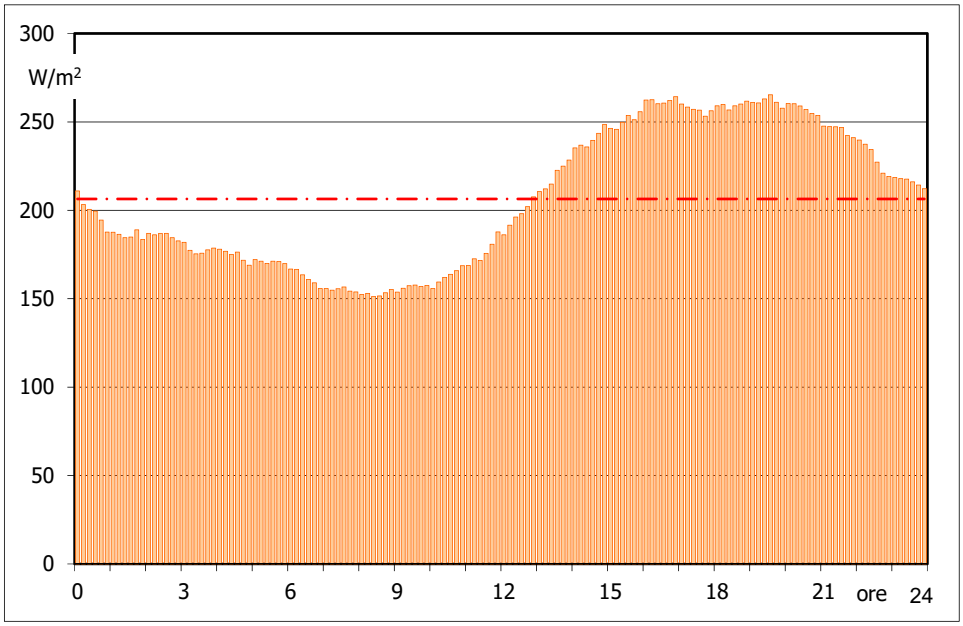


Grafico 8 : POTENZA SPECIFICA MEDIA DELLA VENA FLUIDA IN W/m^2 NELLE 24 ORE



Grafici 7 e 8

STAZIONE ANEMOMETRICA : FERRIERA - Regione: Liguria (Cod.T0721)
Periodo di elaborazione: 23/02/2011 - 31/05/2016 (numero giorni: 1925)
Percentuale dati disponibili = 92.77 % (257085 dati su 277110)
Velocita' del vento V in m/s rilevata a 40 m dal suolo

Tabella D : PARAMETRI DELLA DISTRIBUZIONE DI TURBOLENZA VELOCITA' DEL VENTO

Turbolenza : T = 100 * sigV(10') / Vmed(10')

Settore direzione	%	n	Tmed	sigT	T_5%	T_95%
Nord	23,8	59904	17,0	10,8	5,9	37,1
Nord-NordEst	3,5	8914	23,1	16,2	5,9	60,0
Est-NordEst	1,3	3302	30,2	19,5	7,6	68,8
Est	1,0	2416	36,2	19,5	11,5	73,4
Est-SudEst	7,1	17944	21,7	12,1	10,3	47,2
Sud-SudEst	27,2	68284	19,6	9,1	10,0	33,8
Sud	8,9	22384	18,5	12,4	7,0	44,6
Sud-SudOvest	1,2	2994	27,7	20,8	7,6	72,0
Ovest-SudOvest	0,7	1656	31,4	20,9	10,2	72,8
Ovest	1,3	3371	24,5	19,1	7,3	66,0
Ovest-NordOvest	4,5	11338	19,0	15,8	5,9	57,4
Nord-NordOvest	18,4	46158	16,4	11,9	6,1	41,4
Nessuna Direzione	1,0	2532	14,6	9,3	7,6	24,3
Totale =	**97,7**	**251197**	**19,0**	**12,4**	**6,7**	**45,4**

Classe velocità m/s	%	n	Tmed	sigT	T_5%	T_95%
V < 4	35,6	89333	25,4	17,4	7,4	63,6
4 < V < 8	46,1	115848	15,4	6,4	5,9	26,5
8 < V < 12	14,4	36224	16,1	4,8	8,5	24,0
12 < V < 16	3,5	8847	15,2	3,6	9,9	21,6
16 < V < 20	0,4	938	13,5	3,3	9,2	19,1
V > 20	0,0	7	13,9	2,0	11,4	18,7
Totale* =	**63,0**	**161864**	**15,5**	**6,0**	**6,4**	**25,7**

Grafico 9 : DISTRIBUZIONE DELLA TURBOLENZA PERCENTUALE DELLA VELOCITA' DEL VENTO

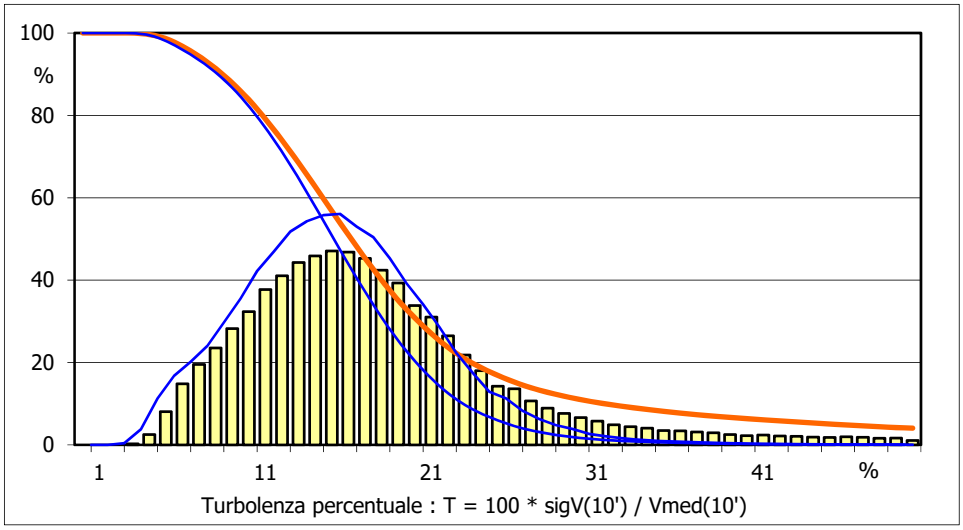


Tabella D e Grafico 9

STAZIONE ANEMOMETRICA : FERRIERA - Regione: Liguria (Cod.T0721)
Periodo di elaborazione: 23/02/2011 - 31/05/2016 (numero giorni: 1925)
Percentuale dati disponibili = 92.77 % (257085 dati su 277110)
Velocita' del vento V in m/s rilevata a 40 m dal suolo

Tabella E : PARAMETRI DELLA DISTRIBUZIONE DEL RAPPORTO VELOCITA' VENTO MAX / MED

Rapporto di raffica : R = Vmax(10') / Vmed(10')

Settore direzione	%	n	Rmed	sigR	R_5%	R_95%
Nord	23,8	59904	1,46	0,31	1,12	1,95
Nord-NordEst	3,5	8914	1,61	0,48	1,11	2,57
Est-NordEst	1,3	3302	1,80	0,60	1,16	2,93
Est	1,0	2416	1,98	0,63	1,27	3,25
Est-SudEst	7,1	17944	1,57	0,37	1,22	2,20
Sud-SudEst	27,2	68284	1,52	0,28	1,22	1,93
Sud	8,9	22384	1,49	0,36	1,16	2,09
Sud-SudOvest	1,2	2994	1,74	0,65	1,17	3,06
Ovest-SudOvest	0,7	1656	1,83	0,66	1,22	3,21
Ovest	1,3	3371	1,61	0,56	1,14	2,81
Ovest-NordOvest	4,5	11338	1,46	0,43	1,11	2,32
Nord-NordOvest	18,4	46158	1,43	0,32	1,12	1,97
Nessuna Direzione	1,0	2532	1,37	0,27	1,16	1,61
Totale =	**97,7**	**251197**	**1,50**	**0,36**	**1,14**	**2,10**

Classe velocità m/s	%	n	Rmed	sigR	R_5%	R_95%
V < 4	35,6	89333	1,66	0,52	1,14	2,68
4 < V < 8	46,1	115848	1,42	0,20	1,13	1,75
8 < V < 12	14,4	36224	1,42	0,14	1,19	1,65
12 < V < 16	3,5	8847	1,38	0,11	1,21	1,55
16 < V < 20	0,4	938	1,33	0,09	1,19	1,49
V > 20	0,0	7	1,37	0,10	1,22	1,51
Totale* =	**63,0**	**161864**	**1,42**	**0,18**	**1,14**	**1,72**

Grafico 10 : DISTRIBUZIONE DEL RAPPORTO DI RAFFICA DELLA VELOCITA' DEL VENTO

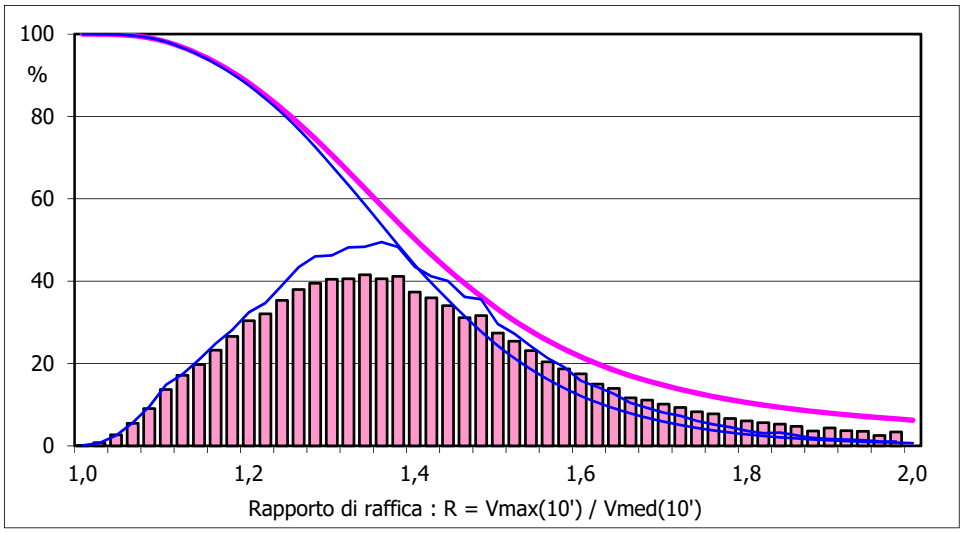


Tabella E e Grafico 10

STAZIONE ANEMOMETRICA : FERRIERA - Regione: Liguria (Cod.T0721)
Periodo di elaborazione: 23/02/2011 - 31/05/2016 (numero giorni: 1925)
Percentuale dati disponibili = 92.77 % (257085 dati su 277110)
Velocita' del vento V in m/s rilevata a 40 m dal suolo

Tabella F : PARAMETRI DISTRIBUZIONE DEL GRADIENTE AL SUOLO DELLA VELOCITA' VENTO

alfa = Gradiente al suolo della velocità del vento rilevato tra 40 e 30 m dal suolo

Settore direzione	%	n	Amed	sigA	A_5%	A_95%
Nord	24,1	58071	0,517	0,736	-0,096	1,877
Nord-NordEst	3,4	8166	0,766	0,903	-0,185	1,887
Est-NordEst	1,2	2839	0,700	0,950	-0,372	1,888
Est	0,8	2006	0,658	1,041	-0,796	1,889
Est-SudEst	7,3	17503	0,279	0,510	-0,082	1,112
Sud-SudEst	28,1	67709	0,182	0,383	-0,123	0,586
Sud	9,1	21882	0,204	0,553	-0,275	1,104
Sud-SudOvest	1,1	2586	0,464	1,090	-1,095	1,887
Ovest-SudOvest	0,5	1298	0,860	1,327	-1,231	1,894
Ovest	1,2	2790	0,793	1,101	-0,502	1,891
Ovest-NordOvest	4,2	10149	0,618	1,013	-0,527	1,888
Nord-NordOvest	18,1	43544	0,569	0,904	-0,198	1,885
Nessuna Direzione	0,9	2089	0,420	0,781	-0,315	1,632
Totale =	**93,6**	**240632**	**0,406**	**0,733**	**-0,172**	**1,863**

Classe velocità m/s	%	n	Amed	sigA	A_5%	A_95%
V < 4	32,9	79066	0,810	1,128	-0,584	1,892
4 < V < 8	48,0	115567	0,243	0,268	-0,103	0,701
8 < V < 12	15,0	36207	0,127	0,119	-0,072	0,306
12 < V < 16	3,7	8847	0,094	0,085	-0,060	0,215
16 < V < 20	0,4	938	0,081	0,071	-0,050	0,181
V > 20	0,0	7	0,054	0,050	-0,066	0,116
Totale* =	**62,8**	**161566**	**0,208**	**0,241**	**-0,092**	**0,623**

Grafico 11 : DISTRIBUZIONE DEL GRADIENTE "alfa" DELLA VELOCITA' DEL VENTO AL SUOLO

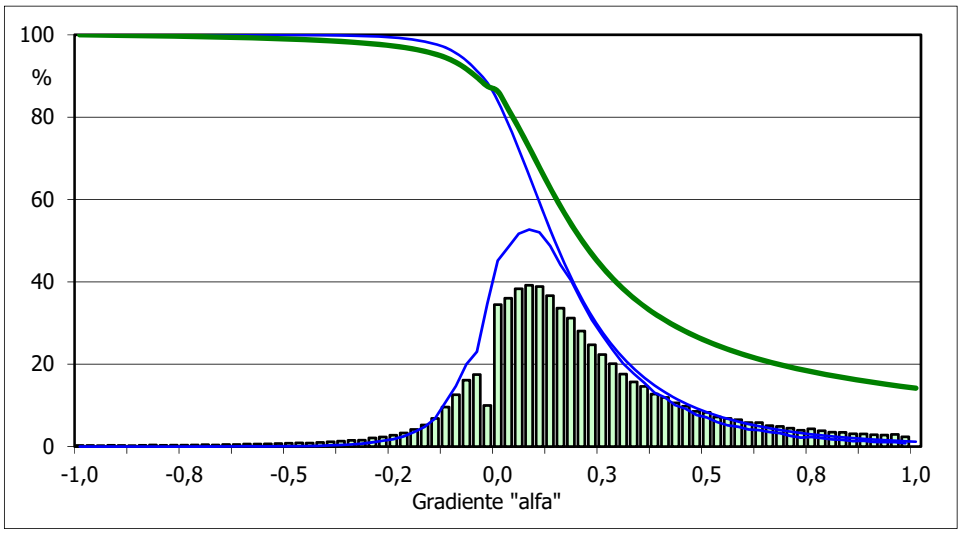


Tabella F e Grafico 11

STAZIONE ANEMOMETRICA : FERRIERA - Regione: Liguria (Cod.T0721)
Periodo di elaborazione: 23/02/2011 - 31/05/2016 (numero giorni: 1925)
Percentuale dati disponibili = 92.77 % (257085 dati su 277110)
Velocita' del vento V in m/s rilevata a 40 m dal suolo

Tabella G : PARAMETRI DELLA DISTRIBUZIONE DELLO SCARTO Q. M. DELLA DIREZIONE VENTO

D = Scarto quadratico medio della direzione vento in ° nei 10 minuti

Settore direzione	%	n	Dmed	sigD	D_5%	D_95%
Nord	24,1	59904	9,0	6,3	1,4	18,9
Nord-NordEst	3,6	8914	13,0	10,8	1,1	34,2
Est-NordEst	1,3	3302	15,6	13,4	1,2	42,7
Est	1,0	2416	18,3	13,8	1,4	46,6
Est-SudEst	7,2	17944	13,1	7,6	4,3	25,5
Sud-SudEst	27,5	68284	12,3	5,5	5,3	20,6
Sud	9,0	22384	10,0	7,1	2,8	20,3
Sud-SudOvest	1,2	2994	13,3	13,3	0,9	43,9
Ovest-SudOvest	0,7	1656	15,8	15,7	0,6	50,2
Ovest	1,4	3371	10,9	12,3	0,6	38,6
Ovest-NordOvest	4,6	11338	8,0	8,4	0,6	21,2
Nord-NordOvest	18,6	46158	7,4	5,7	1,0	15,9
Nessuna Direzione	0,0	0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Totale =	**96,7**	**248665**	**10,4**	**7,4**	**1,7**	**21,7**

Classe velocità m/s	%	n	Dmed	sigD	D_5%	D_95%
V < 4	35,7	88785	11,6	10,6	0,8	32,4
4 < V < 8	45,9	114172	9,6	5,2	2,0	18,1
8 < V < 12	14,4	35920	10,2	3,4	4,5	15,1
12 < V < 16	3,6	8843	9,6	2,3	5,7	13,1
16 < V < 20	0,4	938	8,6	1,9	5,3	11,5
V > 20	0,0	7	8,9	1,7	5,4	11,7
Totale* =	**62,2**	**159880**	**9,7**	**4,7**	**2,4**	**17,2**

Grafico 12 : DISTRIBUZIONE DELLO SCARTO QUADRATICO MEDIO DELLA DIREZIONE VENTO

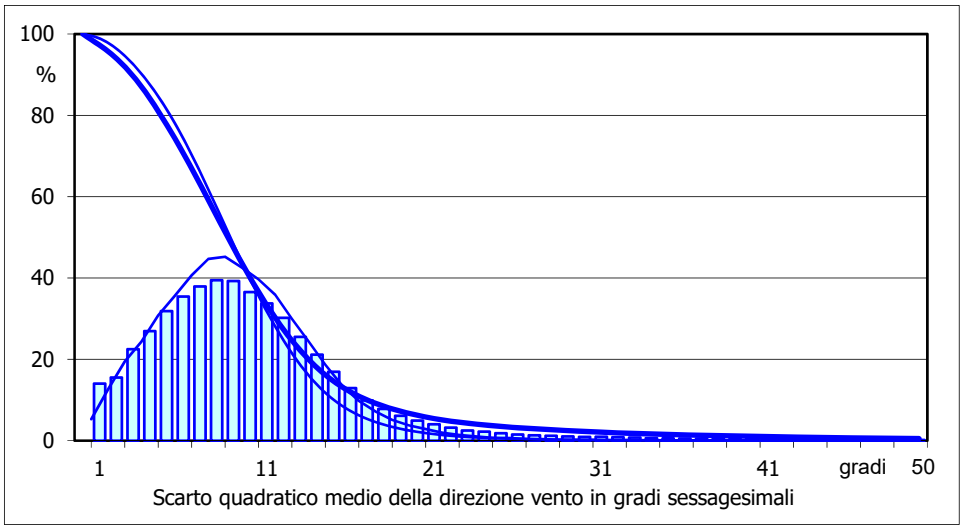


Tabella G e Grafico 12