TEROM® Wind Energy
Via Nuova 16 - 40050 Funo (BO) - Italy
Tel. +39 051 8900351 - Fax. +39 051 8900320
E-Mail: info@teromwe.it Web: www.teromwe.it

Documento	**RT-0337-013_A**
Progetto	0337 –Anemometria
Committente	Sig.Ottonello
Contenuto	Relazione conclusiva monitoraggio anemometrico

Relazione conclusiva del monitoraggio anemometrico effettuato a GENOVA

Elaborato da:	JS	Firma		Rev.	A
Verificato da:	SC	Firma		Data:	27/04/11
Approvato da:	PR	Firma			

TEROM® Wind Energy
Via Nuova 16 - 40050 Funo (BO) - Italy
Tel. +39 051 8900351 - Fax. +39 051 8900320
E-Mail: info@teromwe.it Web: www.teromwe.it

Documento	**RT-0337-013_A**
Progetto	0337 –Anemometria
Committente	Sig.Ottonello
Contenuto	Relazione conclusiva monitoraggio anemometrico

Sommario

1. Introduzione 3
1.1. Localizzazione del sito 3
1.2. Attrezzature utilizzate per il monitoraggio 5
2. Raccolta e rappresentazione dei dati 7
3. Analisi Statistica 9
3.1. Valori Medi e Massimi 9
3.2. Analisi delle turbolenze 13
4. Rappresentazioni dei dati 16
5. Resa energetica 18
6. Conclusioni 21
7. Bibliografia 21

Proprietà riservata: vietata ai sensi di legge la riproduzione e la divulgazione di questo documento senza l'autorizzazione scritta di TEROM Wind Energy Srl

TEROM® Wind Energy
Via Nuova 16 - 40050 Funo (BO) - Italy
Tel. +39 051 8900351 - Fax. +39 051 8900320
E-Mail: info@teromwe.it Web: www.teromwe.it

Documento	**RT-0337-013_A**
Progetto	0337 –Anemometria
Committente	Sig.Ottonello
Contenuto	Relazione conclusiva monitoraggio anemometrico

1. Introduzione

La presente relazione intende presentare i risultati del monitoraggio anemometrico del potenziale sito eolico individuato dal Committente in un terreno di proprietà nel comune di Genova, qui denominato "Genova".
Sono stati raccolti dati su velocità e direzione del vento, temperatura e altre variabili ambientali per 18 mesi ed è pertanto possibile effettuare una valutazione sull'economicità dell'esercizio di un aerogeneratore nel sito oggetto di analisi.
In particolare, si intende fornire una stima preliminare della resa annuale di un aerogeneratore Terom Wind Energy ATBV26 qui installato.

1.1. Localizzazione del sito

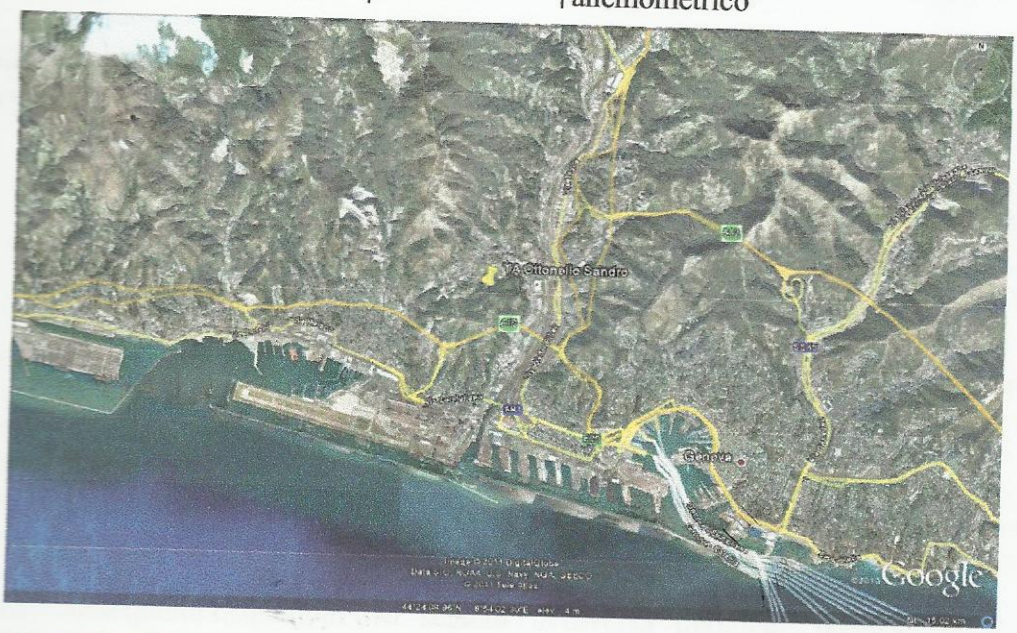
Il sito individuato dal committente si trova nel comune di Genova, in una zona verde alle spalle del centro abitato della città. Osservando un estratto della mappa a 25m dell'Atlante Eolico Italiano pubblicato da CESI possiamo notare che la zona della provincia di Genova attraversata dall'autostrada A7 presenta colorazione chiara, caratteristiche di aree a bassa ventosità (velocità media inferiore a 3 m/s). La zona del centro abitato non è caratterizzata dal punto di vista anemologico. Al di là dei tratti stradali e della porzione abitata, il mare è caratterizzato dalla presenza di venti con Vm>4 m/s che sono rappresentati con la colorazione gialla. Essendo il sito localizzato su una collina verso il mare, ci si aspetta che i dati rilevati presentino i tratti caratteristici di brezze termiche dovute al mare.



**Figura 1 Localizzazione del sito monitorato sulla mappa a 25m dell'Atlante Eolico Italiano.
Il sito si trova su una collina in prossimità dell'area urbana della città di Genova
Dalla colorazione si evince che l'area non sia propriamente vocata allo sfruttamento dell'energia eolica.**

Proprietà riservata: vietata ai sensi di legge la riproduzione e la divulgazione di questo documento senza l'autorizzazione scritta di TEROM Wind Energy Srl

TEROM® Wind Energy
Via Nuova 16 - 40050 Funo (BO) - Italy
Tel. +39 051 8900351 - Fax. +39 051 8900320
E-Mail: info@teromwe.it Web: www.teromwe.it





Dal punto di vista orografico il sito presenta carattere montagnoso, nonostante sia localizzato in prossimità del centro urbano. La torre anemometrica è installata su una collina che si affaccia sul mare. Il versante della collina è ricco di vegetazione: arbusti e alberi tipici della macchia mediterranea. I notevoli dislivelli e la natura frastagliata del luogo lasciano intendere la possibilità che il vento presenti carattere particolarmente turbolento.
Le coordinate geografiche che individuano il punto di installazione della torre anemometrica sono:

Latitudine: 44°25'57.98177"
Longitudine: 8°52'35.64281"
Quota s.l.m.: 146,72m

Proprietà riservata: vietata ai sensi di legge la riproduzione e la divulgazione di questo documento senza l'autorizzazione scritta di TEROM Wind Energy Srl

TEROM® Wind Energy
Via Nuova 16 - 40050 Funo (BO) - Italy
Tel. +39 051 8900351 - Fax. +39 051 8900320
E-Mail: info@teromwe.it Web: www.teromwe.it

Il committente e proprietario del terreno ha provveduto direttamente ad effettuare l'installazione della torre anemometrica nel 2009.

1.2. Attrezzature utilizzate per il monitoraggio

La velocità del vento può essere immaginata come un vettore di intensità e direzione rapidamente variabili nel tempo, e quindi potrebbe essere completamente caratterizzata da tre componenti vx(t), vy(t), vz(t) nelle tre direzioni cartesiane. Benché esistano (e vengano comunemente usati per scopi di indagine scientifica) dispositivi anemometrici (Doppler) che sono effettivamente in grado di misurare e registrare con una frequenza di campionamento adeguata proprio queste tre componenti, l'industria eolica si accontenta di misurare la proiezione sull' "orizzontale" del vettore vento 3D.

Normalmente sono quindi disponibili due "segnali" di diversa "tipologia", precisamente il modulo e l'orientamento del vettore 2D:

- Velocità del vento (misurata da un anemometro a coppette, **Fig. 2**)
- Direzione (misurata da una banderuola, **Fig. 3**)

Il segnale del vento ha una variabilità su scale di tempo che vanno dal decimo di secondo fino a parecchi mesi. Diverse frequenze di campionamento possono fornire informazioni del tutto diverse, e tutte utili.

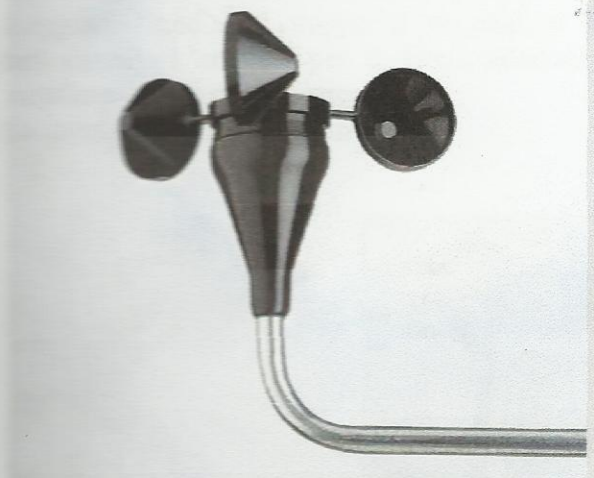


Figura 2 Anemometro a coppette NRG #40

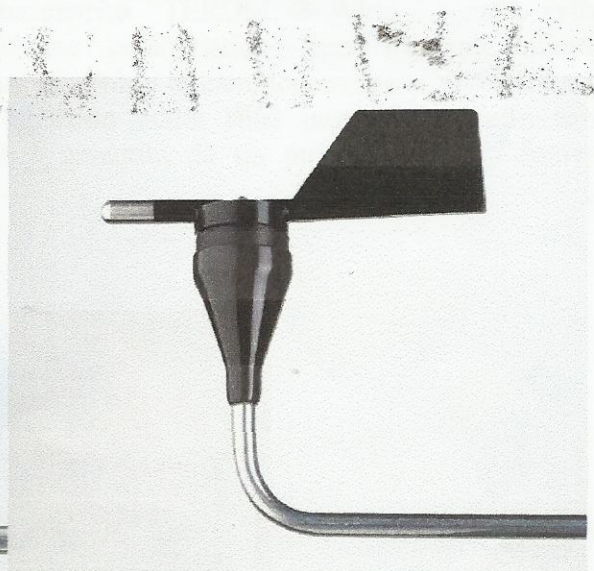


Figura 3 Banderuola NRG #200P

Per ovvie ragioni l'informazione di più immediato interesse pratico è la velocità, essendo la potenza estraibile proporzionale al suo cubo. La **Fig. 4** illustra un segnale tipico di velocità. Si noti la notevole variabilità del segnale anche per periodi di campionamento corti.

Proprietà riservata: vietata ai sensi di legge la riproduzione e la divulgazione di questo documento senza l'autorizzazione scritta di TEROM Wind Energy Srl

TEROM® Wind Energy
Via Nuova 16 - 40050 Funo (BO) - Italy
Tel. +39 051 8900351 - Fax. +39 051 8900320
E-Mail: info@teromwe.it Web: www.teromwe.it

Documento	**RT-0337-013_A**
Progetto	0337 –Anemometria
Committente	Sig.Ottonello
Contenuto	Relazione conclusiva monitoraggio anemometrico

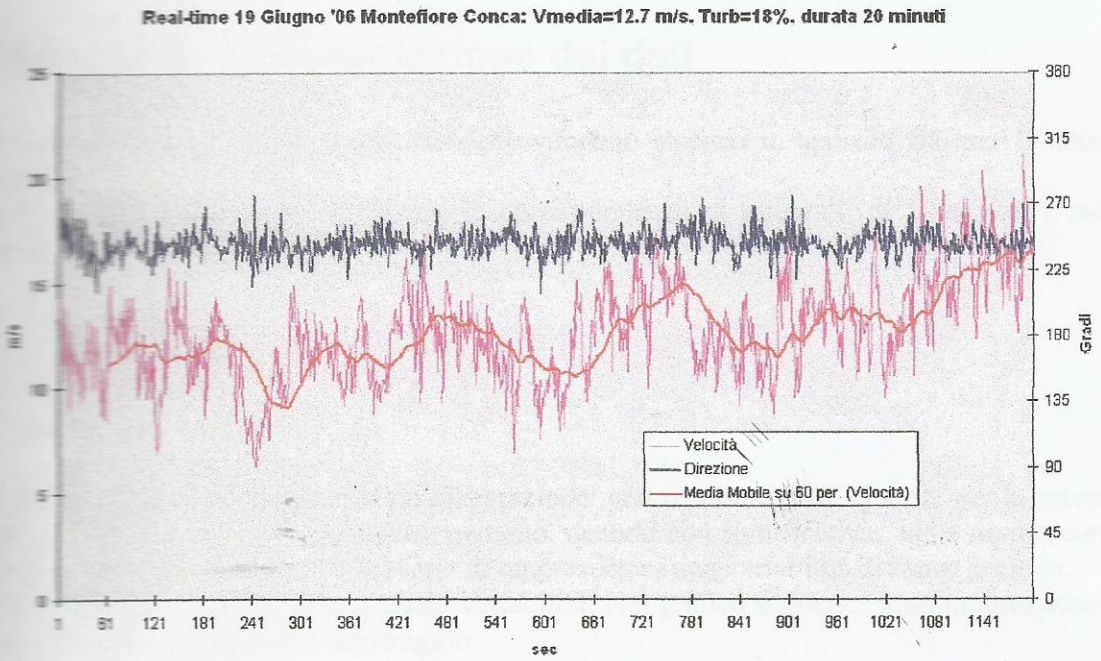
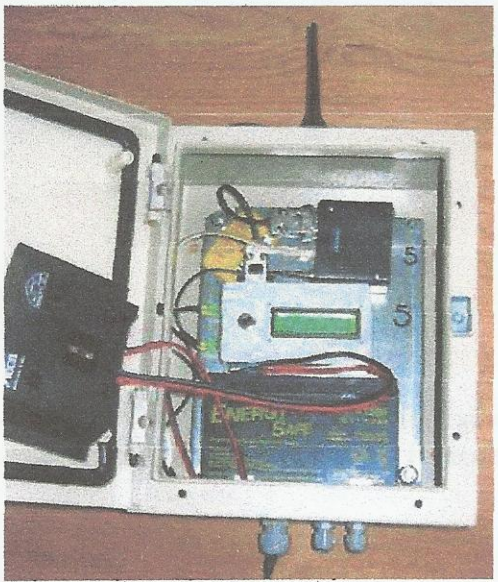


Figura 4: **Discretizzazione di 1 secondo.**

I sensori sono collegati alla centralina anemometrica "TEROM ® Wind Logger", sviluppata internamente, allo scopo di dotarla di alcune caratteristiche specificamente mirate alla caratterizzazione della turbolenza, in particolare un tempo di campionamento reale di 1 sec (tempi maggiori "mediano" troppo il segnale, e agiscono come filtri passa basso, eliminando la turbolenza). L'energia per il funzionamento è garantita da un piccolo pannello fotovoltaico installato sulla torre di sostegno.
La quota di rilevamento è di 31.5m.



Proprietà riservata: vietata ai sensi di legge la riproduzione e la divulgazione di questo documento senza l'autorizzazione scritta di TEROM Wind Energy Srl

TEROM® Wind Energy
Via Nuova 16 - 40050 Funo (BO) - Italy
Tel. +39 051 8900351 - Fax. +39 051 8900320
E-Mail: info@teromwe.it Web: www.teromwe.it

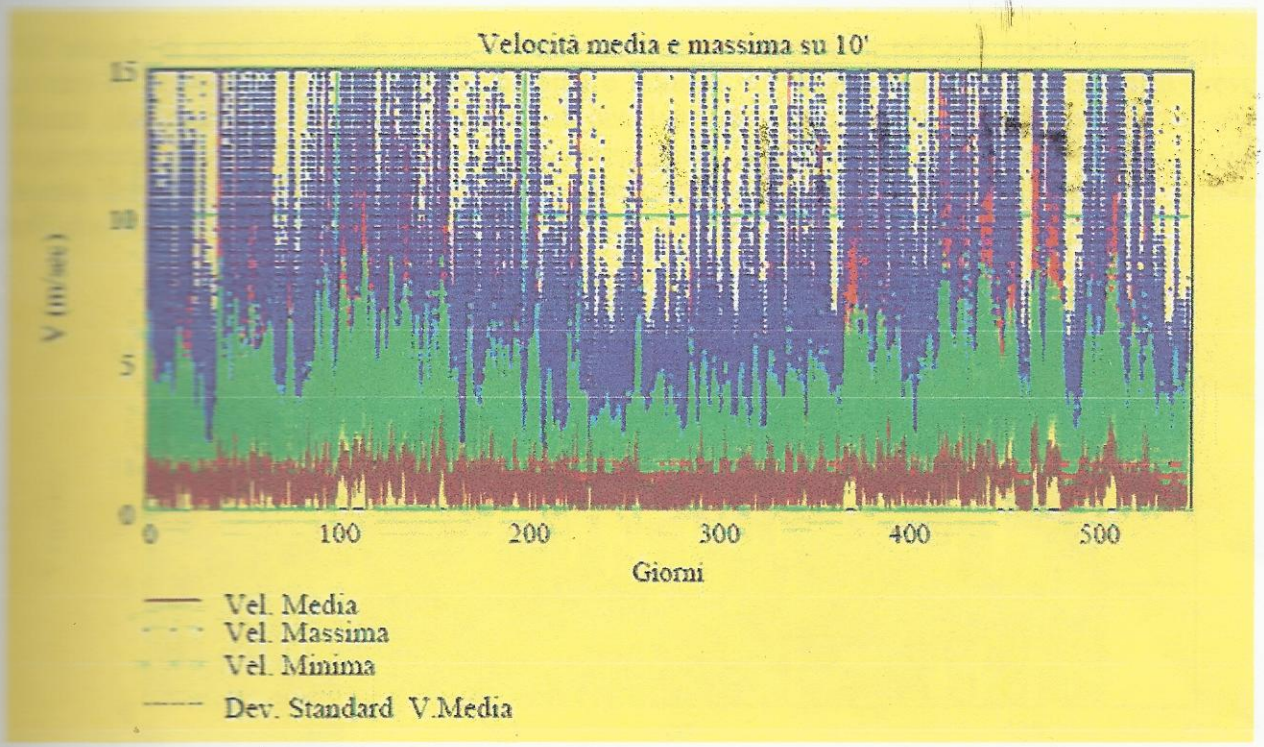
Documento	**RT-0337-013_A**
Progetto	0337 –Anemometria
Committente	Sig.Ottonello
Contenuto	Relazione conclusiva monitoraggio anemometrico

2. Raccolta e rappresentazione dei dati

I dati raccolti dalle centraline anemometriche vengono stoccati in appositi file per la successiva elaborazione.
Vengono raggruppati su base temporale in corrispondenza di intervalli di 10 minuti e per ogni gruppo di dati vengono calcolati:

- ✓ velocità massima
- ✓ velocità minima
- ✓ velocità media
- ✓ deviazione standard

Nei grafici è presente anche una prima elaborazione: una media mobile. Questa, per la prima parte dei dati, coincide con il valore misurato, pertanto, quando non significativa, nella rappresentazione è posta pari a 0. Questo valore ha lo scopo di rappresentare una variabilità di lungo periodo.
Nel sito in esame si verifica una spiccata variabilità. Nel grafico seguente sono rappresentati i dati raccolti nell'intero periodo di monitoraggio.

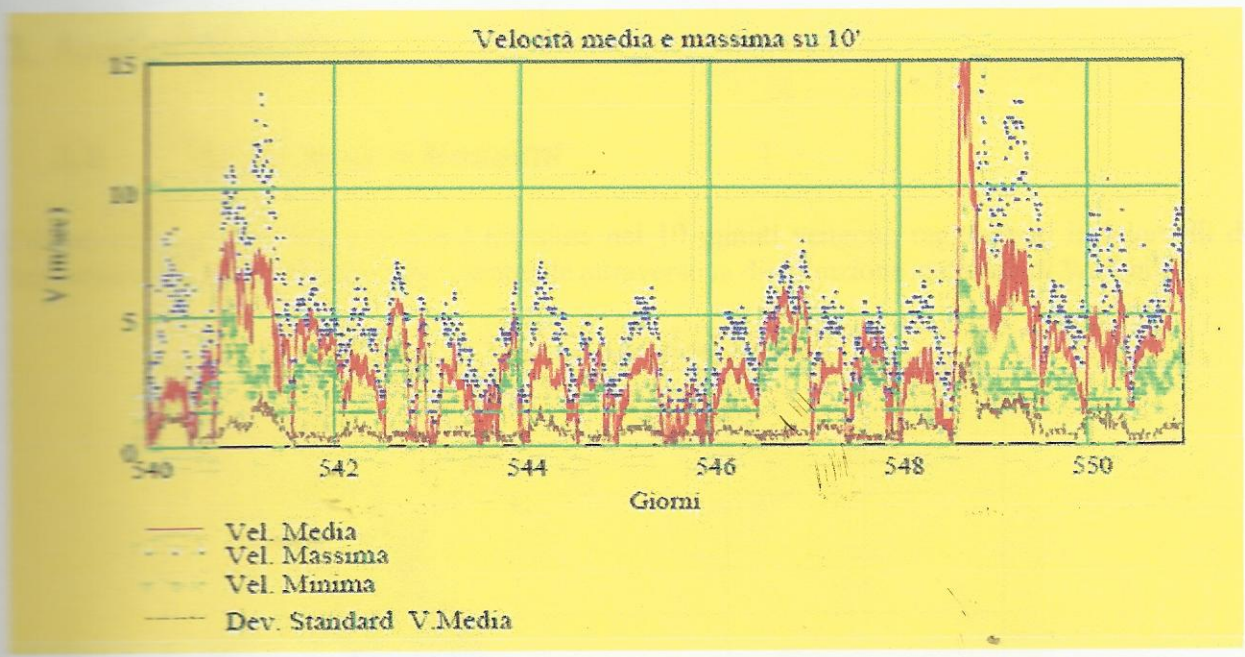


Il grafico seguente, invece, mostra i dati raccolti nei primi giorni di aprile 2011: è possibile individuare una periodicità all'interno della giornata e i picchi dovuti al passaggio di una perturbazione.

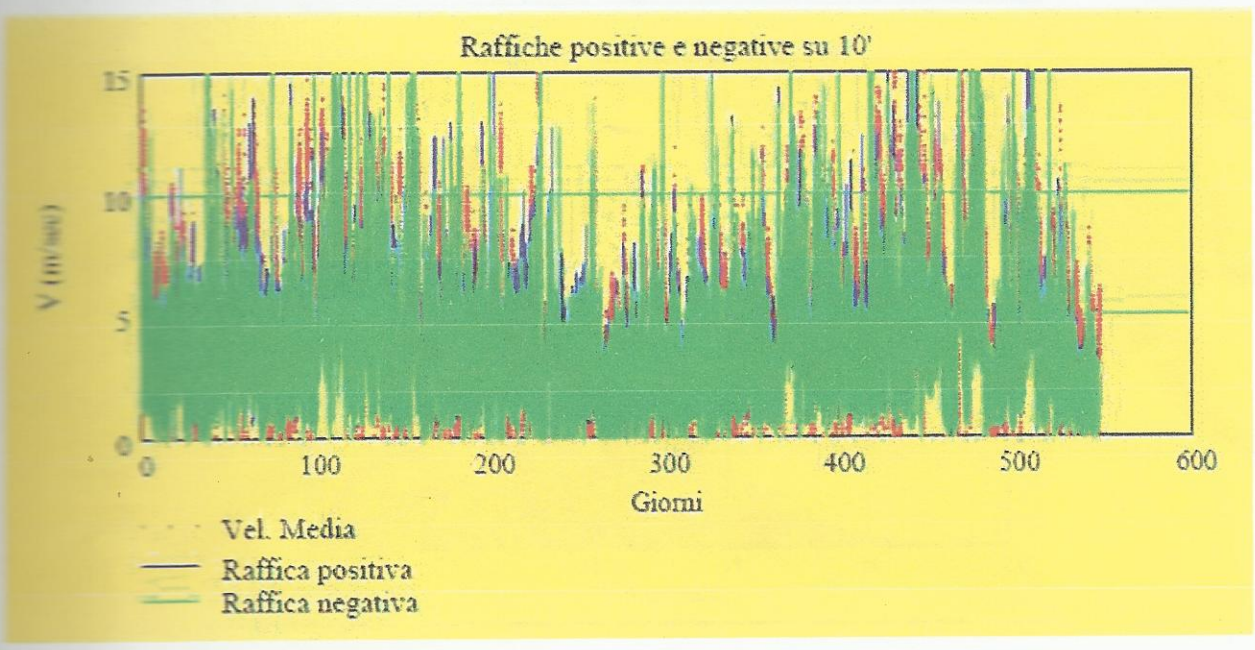
Proprietà riservata: vietata ai sensi di legge la riproduzione e la divulgazione di questo documento senza l'autorizzazione scritta di TEROM Wind Energy Srl

TEROM® Wind Energy
Via Nuova 16 - 40050 Funo (BO) - Italy
Tel. +39 051 8900351 - Fax. +39 051 8900320
E-Mail: info@teromwe.it Web: www.teromwe.it

Documento	**RT-0337-013_A**
Progetto	0337 –Anemometria
Committente	Sig.Ottonello
Contenuto	Relazione conclusiva monitoraggio anemometrico



All'interno di ogni intervallo di 10 minuti vengono individuate le raffiche positive e negative, ovvero le fluttuazioni della velocità massima e minima del vento all'interno di periodi di breve durata che, per loro natura, sono spesso occultate dal valore della velocità media, e che rappresentano indici della variabilità del fenomeno vento. Ai fini del corretto funzionamento e della durata degli aerogeneratori assume anche notevole importanza la presenza o meno di queste raffiche, che sottopongono la struttura a carichi significativi.



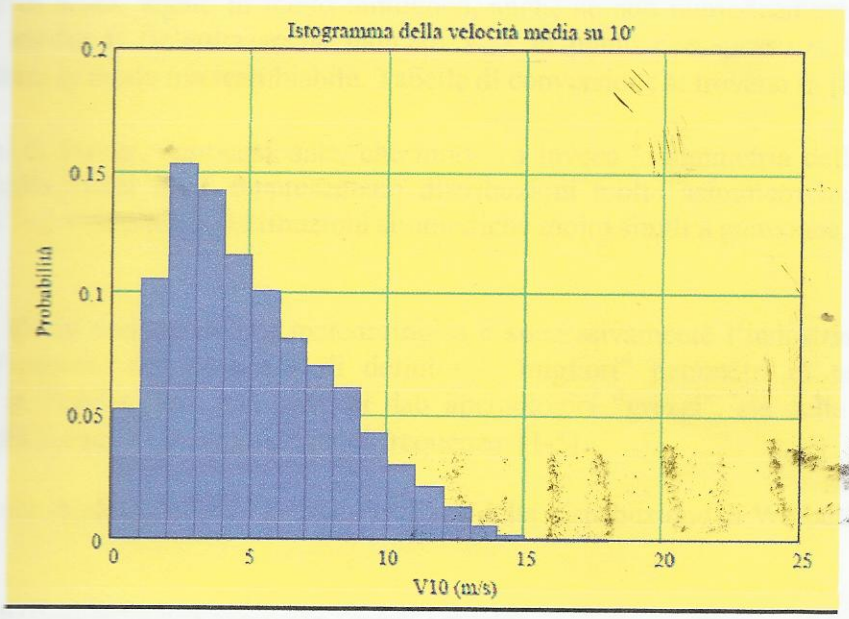
Proprietà riservata: vietata ai sensi di legge la riproduzione e la divulgazione di questo documento senza l'autorizzazione scritta di TEROM Wind Energy Srl

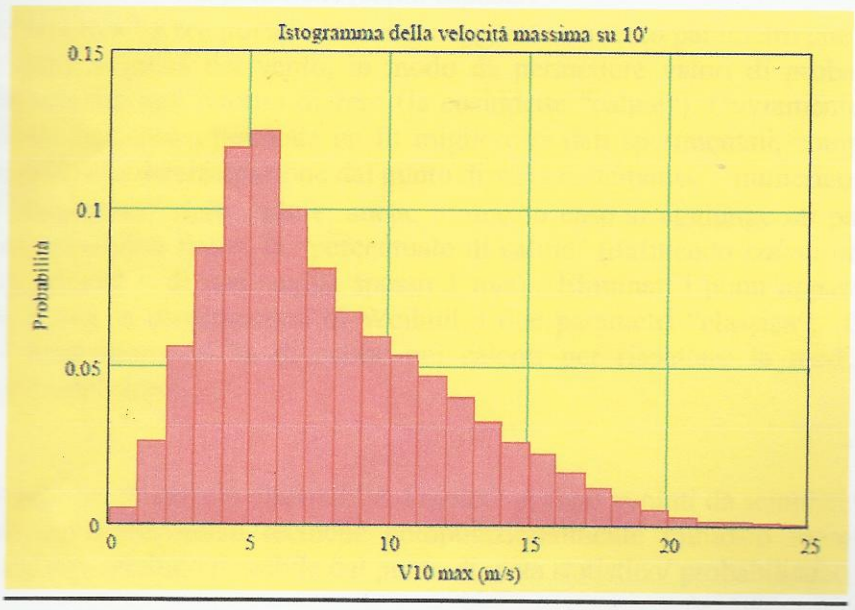
TEROM® Wind Energy
Via Nuova 16 - 40050 Funo (BO) - Italy
Tel. +39 051 8900351 - Fax. +39 051 8900320
E-Mail: info@teromwe.it Web: www.teromwe.it

3. Analisi Statistica

3.1. *Valori Medi e Massimi*

I valori calcolati di velocità media e massima nei 10 minuti vengono raggruppati in intervalli di 1m/s ottenendo un andamento rappresentabile attraverso la distribuzione statistica di Weibull.





Proprietà riservata: vietata ai sensi di legge la riproduzione e la divulgazione di questo documento senza l'autorizzazione scritta di TEROM Wind Energy Srl

La distribuzione di Weibull:

$$p(u) = \frac{k}{c}\cdot\left(\frac{u}{c}\right)^{k-1}\cdot\exp\left[-\left(\frac{u}{c}\right)^{k}\right]$$

è controllata da due parametri, che, con riferimento al caso specifico delle velocità medie U_{10}, sono:

- c: fattore di **scala**, legato in modo biunivoco, anche se non numericamente semplice, alla **velocità media U** (talvolta anche indicato V_m), al punto che spesso si fa riferimento a quest'ultima in modo intercambiabile. Tabelle di conversione si trovano in [8].

- k: fattore di **forma**, adimensionale, che modifica invece la simmetria della distribuzione: valori molto vicini ad 1 rappresentano distribuzioni molto asimmetriche, mentre valori elevati ($k > 2 \div 3$) creano distribuzioni simmetriche molto simili a gaussiane.

Nel corso degli ultimi anni la ricerca meteorologica e successivamente l'industria eolica si sono occupate intensivamente del problema di definire i "migliori" parametri di una funzione di distribuzione di probabilità,data una serie di dati anemologici "grezzi", sia nella forma di serie temporali che nella forma di un istogramma di frequenze [1-5].

Al tal scopo si è consolidato definitivamente l'utilizzo della distribuzione di Weibull, nelle seguenti varianti:

- **Weibull "classica"** a due parametri (sopra esposta)
- **Weibull "traslata" a tre parametri**: viene aggiunto un terzo parametro che sposta l'origine dell'asse delle velocità del vento, in modo da permettere valori di probabilità non nulli anche per velocità nell'intorno di zero (le cosiddette "calme"). Ovviamente la presenza di una variabile aggiuntiva permette un fit migliore ai dati sperimentali, complicando però il problema della sua determinazione dal punto di vista matematico – numerico
- **Weibull "depurata" delle calme**: anche in questo caso si aggiunge un parametro, di più facile comprensibilità fisica: la "percentuale di calme" (definendo *calma* una situazione di vento con velocità < di una soglia, spesso 1 m/s). Eliminati i punti appartenenti a questa categoria, si usa la distribuzione di Weibull a due parametri "classica". Ovviamente poi occorrerà reintrodurre la % di calme nei calcoli per rispettare la media e il bilancio energetico complessivo.

All'aumentare della potenza di calcolo disponibile, i metodi si sono evoluti da semplici tecniche basate su grafici e nomogrammi, verso tecniche computazionalmente piuttosto intensive, che però garantiscono il migliore risultato possibile dal punto di vista statistico/ probabilistico.

Documento riservato vietata ai sensi di legge la riproduzione e la divulgazione di questo documento senza l'autorizzazione scritta di TEROM Wind Energy Srl

La determinazione dei coefficienti di Weibull viene effettuata sulla base di 3 diversi metodi e i risultati sono messi a confronto[11]:

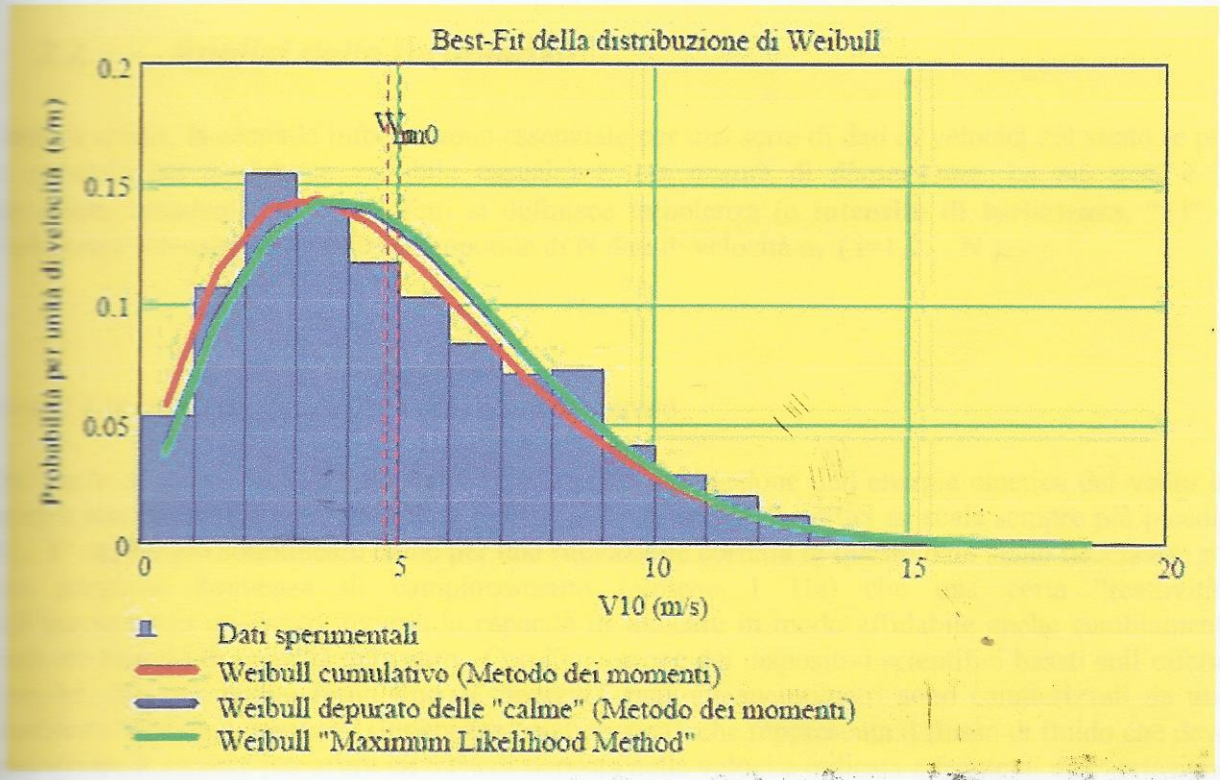
- **Best-fit dei minimi quadrati** sulla distribuzione di frequenze osservata, in assi "log-log". Questa è la semplice traslazione del metodo grafico "tradizionale" al mezzo informatico. Il suo principale difetto è di non partire dai dati grezzi, ma dai dati raggruppati, perdendo quindi una parte dell'informazione.
- **Metodi dei momenti**. Si tratta di una famiglia di metodi che determinano i parametri "liberi" della distribuzione, in modo da riprodurre esattamente *due* o *tre* momenti statistici dei dati grezzi. Poiché il momento del primo ordine è la *media*, il momento del secondo ordine è la *varianza*, ed il momento del terzo ordine è legato alla *densità energetica* (ricordiamo infatti che la potenza è proporzionale al cubo della velocità del vento), la scelta dei momenti è quasi obbligata, nell'ordine: 1, 3 e subordinatamente, se possibile, 2.
- **Maximum Likelihood Method (MLM)**. [*Metodo della massima probabilità*]: si tratta dell'approccio matematicamente e statisticamente più corretto, che identifica i coefficienti a partire dai principi primi della teoria delle probabilità, facendo uso di tutti i dati storici (depurati dalle calme). Dal punto di vista numerico è necessario risolvere iterativamente una equazione non lineare contenente alcune sommatorie su tutti i dati misurati (normalmente decine di migliaia). Per le formule si rimanda a [19] o [22].

Questi metodi producono risultati abbastanza diversi fra loro proprio quando le velocità medie del vento sono relativamente basse, e quando le percentuali di calme sono abbastanza elevate, quindi precisamente nel campo di interesse di TEROM Wind Energy.

Nel grafico seguente, la curva in rosso è il risultato di un metodo di ottimizzazione TEROM Wind Energy proprietario, appartenente alla classe dei metodi dei momenti, e rappresenta la distribuzione di Weibull che riproduce *contemporaneamente* in modo esatto sia la *velocità media* che la *densità energetica* dei dati misurati.

Proprietà intellettuale: vietata ai sensi di legge la riproduzione e la divulgazione di questo documento senza l'autorizzazione scritta di TEROM Wind Energy Srl

TEROM® Wind Energy
Via Nuova 16 - 40050 Funo (BO) - Italy
Tel. +39 051 8900351 - Fax. +39 051 8900320
E-Mail: info@teromwe.it Web: www.teromwe.it



Parametri della distribuzione di Weibull calcolati col metodo TWE				
Sito	**V_m [m/s]**	**K**	**P [W/m^2]**	**% calme**
Genova	4.84	1.70	158	5

Proprietà riservata: vietata ai sensi di legge la riproduzione e la divulgazione di questo documento senza l'autorizzazione scritta di TEROM Wind Energy Srl

3.2. *Analisi delle turbolenze*

Dopo la media, la seconda informazione essenziale per una serie di dati di velocità del vento (e più in generale per qualunque variabile casuale) è una misura di **dispersione**. La più nota è la deviazione standard (σ), e in effetti si definisce turbolenza (o **intensità di turbolenza,** "TI" = Turbulence Intensity) di una serie temporale di **N** dati di velocità $\mathbf{u_i}$ (i=1,2… N):

$$TI = \frac{\sigma_U}{U}$$

dove **U** è la media dei dati, e σ_U la deviazione standard .

Dal punto di vista fisico la turbolenza deriva dalla dissipazione dell'energia cinetica del vento in energia termica mediante la creazione e distruzione continua di vortici su scala sempre più piccola [6]. E' opportuno sottolineare come per una rilevazione corretta di questo dato siano necessarie sia una adeguata frequenza di campionamento (almeno 1 Hz) che una certa "reattività" dell'anemometro utilizzato, ovvero la capacità di indicare in modo affidabile anche cambiamenti piuttosto bruschi di velocità del vento. Con l'eccezione dei dispositivi scientifici basati sull'effetto Doppler, che non hanno alcun tipo di "inerzia", tutti gli anemometri sono caratterizzati da una cosiddetta "*distance constant*" (lunghezza caratteristica), che rappresenta il flusso di fluido che deve attraversare il sensore per avere un 63% di risposta nella velocità indicata a fronte di una variazione a gradino della velocità reale. Per gli anemometri NRG comunemente impiegati è di 3 m.

L'intensità di turbolenza, normalmente espressa nella forma di una percentuale, è un dato di progetto fondamentale, in quando da essa dipendono le raffiche di progetto previste dalle normative [9], [10]. L'esperienza ha dimostrato che la turbolenza dipende, a sua volta, dalla velocità media dell'intervallo nel quale essa si è presentata (e tende generalmente a calare al crescere di tale media).

A parità di elevazione sul terreno, la turbolenza sarà tanto più elevata quanto più:

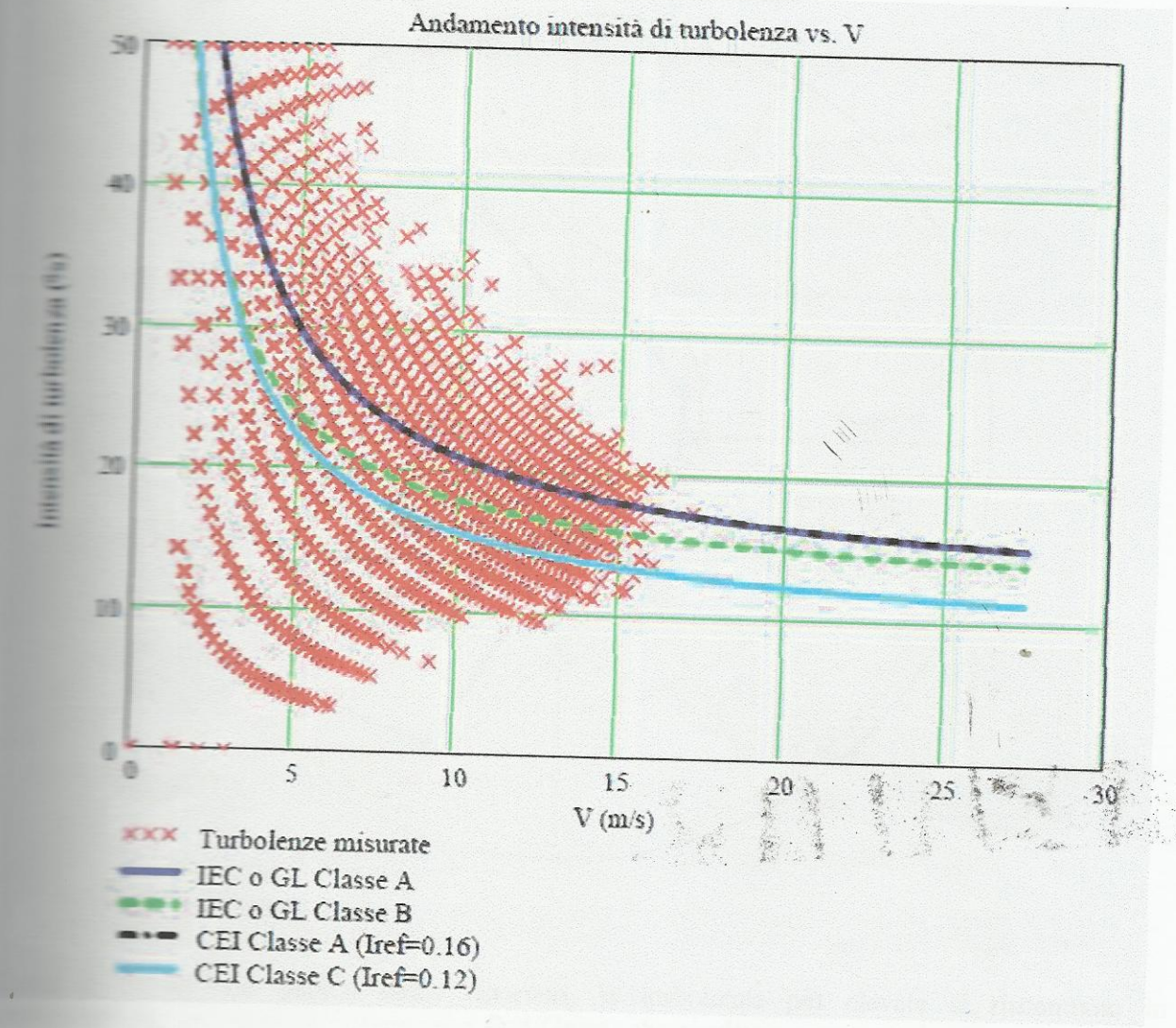
- ✓ l'**orografia** delle zona è complessa, contenente versanti di pendenze non trascurabili, valli, crinali, selle, etc..
- ✓ il terreno ha una copertura "rugosa". Dal punto di vista della fluidodinamica atmosferica la "rugosità" è data da costruzioni umane, alberi, steccati, boschi, edifici isolati, etc.

Come suggerito dalla complessità orografica riscontrata in loco, l'analisi dei dati raccolti testimonia valori di turbolenza superiori a quanto previsto dalle norme. La nuvola di punti che rappresenta i valori misurati esce dalla regione individuabile attraverso le curve specificate dalle norme di riferimento per la progettazione degli aerogeneratori.

Proprietà riservata: vietata ai sensi di legge la riproduzione e la divulgazione di questo documento senza l'autorizzazione scritta di TEROM Wind Energy Srl

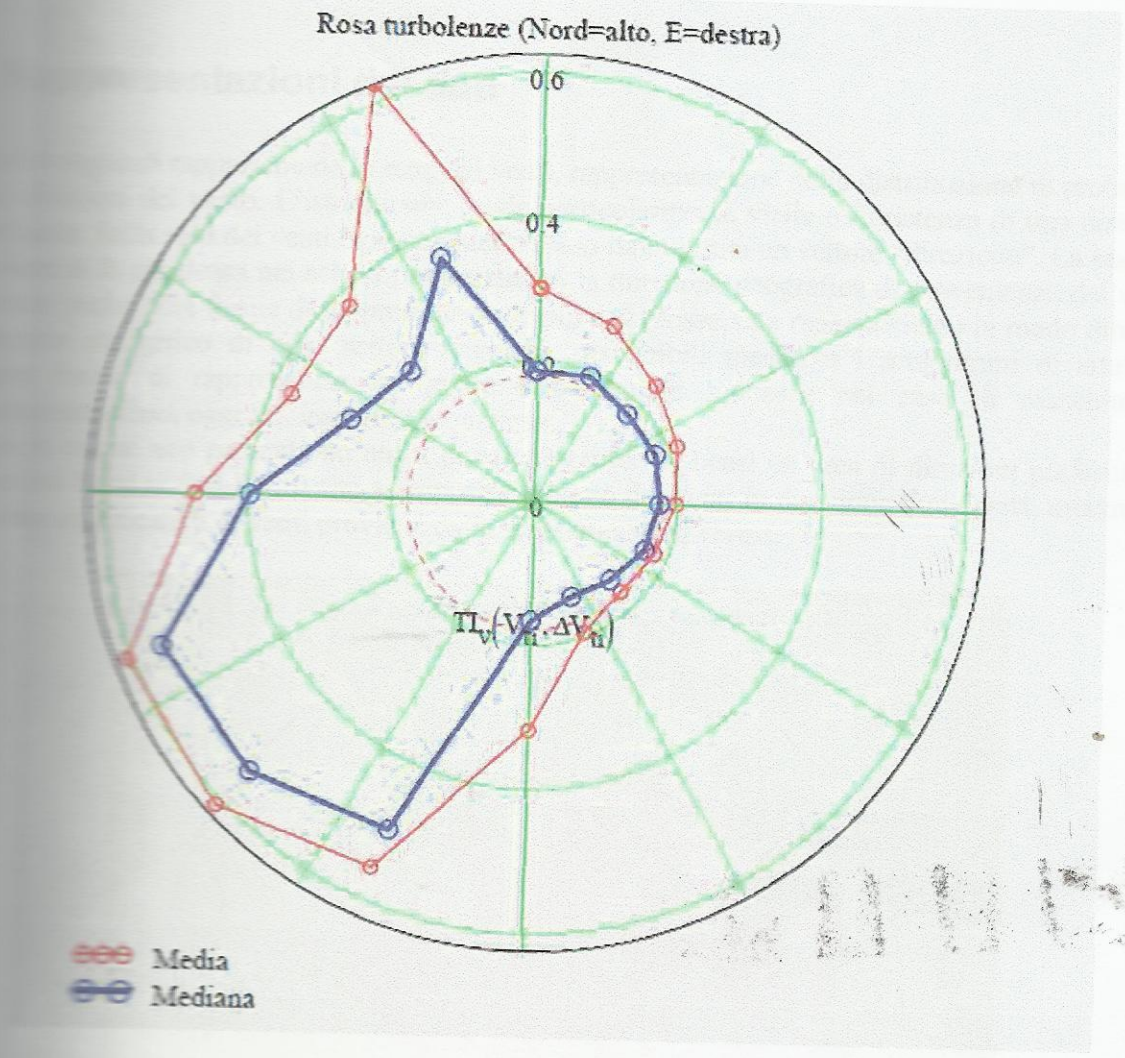
TEROM® Wind Energy
Via/Piazza 16 - 40050 Funo (BO) - Italy
Tel. +39 051 8900351 - Fax. +39 051 8900320
E-Mail: info@teromwe.it Web: www.teromwe.it

Documento	**RT-0337-013_A**
Progetto	0337 –Anemometria
Committente	Sig.Ottonello
Contenuto	Relazione conclusiva monitoraggio anemometrico



Intensità di Turbolenza attesa: IT=18%

Proprietà riservata: vietata ai sensi di legge la riproduzione e la divulgazione di questo documento senza l'autorizzazione scritta di TEROM Wind Energy Srl



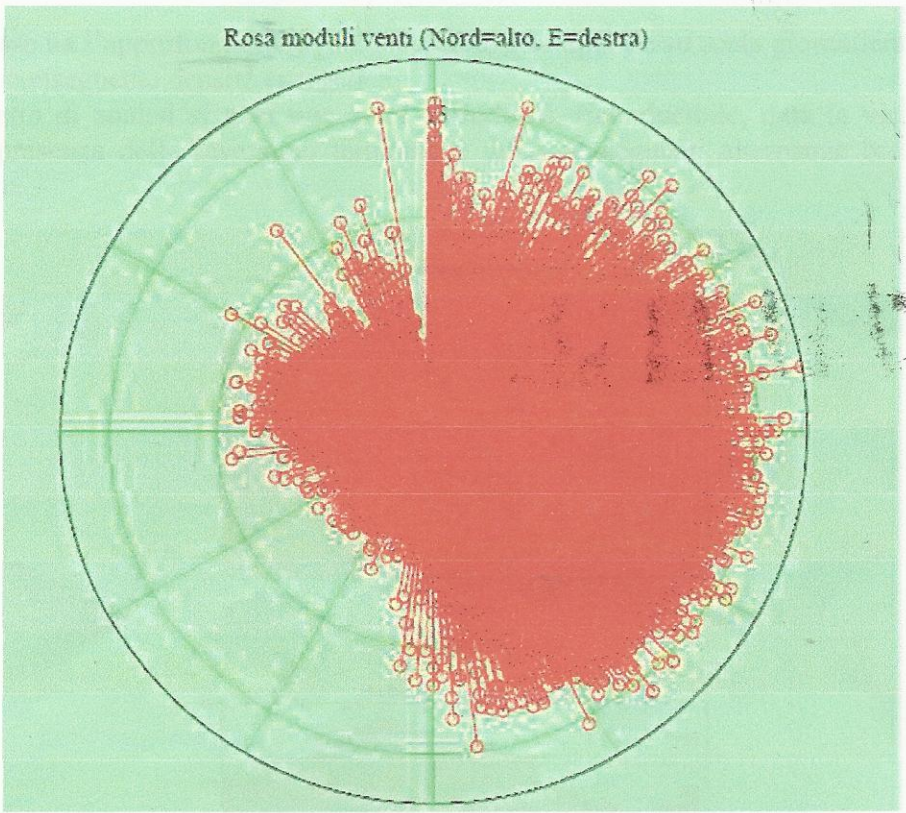
Come si evince dal grafico sopra riportato, le turbolenze più elevate si riscontrano in corrispondenza dei venti di provenienza Sud-Ovest, che risultano essere anche i venti a potenza specifica inferiore.

Riservatezza: vietata ai sensi di legge la riproduzione e la divulgazione di questo documento senza l'autorizzazione scritta di TEROM Wind Energy Srl

TEROM® Wind Energy
Via Nuova 16 - 40050 Funo (BO) - Italy
Tel. +39 051 8900351 - Fax. +39 051 8900320
E-Mail: info@teromwe.it Web: www.teromwe.it

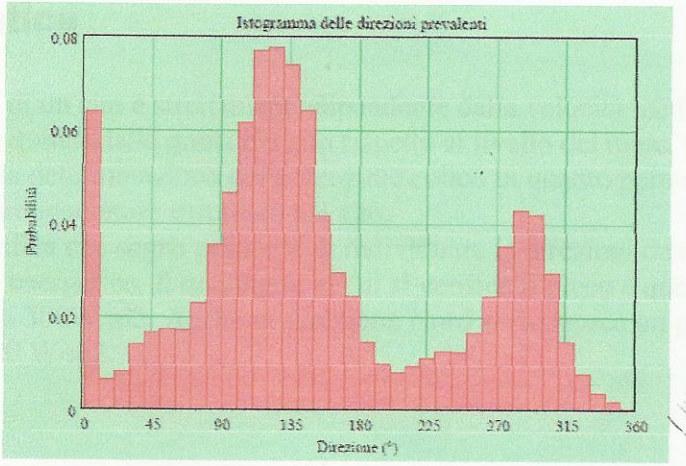
4. Rappresentazioni dei dati

I grafici seguenti rappresentano le rose dei venti, rappresentazione della distribuzione di probabilità delle direzioni del vento. L'istogramma rende particolarmente visibile l'esistenza di una direzione dominante. Sulla rosa dei venti ogni cerchietto rosso rappresenta un vettore "direzione". La macchia di colore si fa più densa nei settori rappresentanti la direzione geografica di provenienza del vento. Esistono anche altre forme di rappresentazione più complesse, che rappresentano in modo diretto il contenuto energetico di ogni settore angolare, disponibili mediante i programmi di sitologia. Queste forme di rappresentazione avevano particolare interesse nel caso di macchine ad orientamento fisso, oggi praticamente scomparse.
Il sito in esame non presenta un'unica direzione preferita, bensì un'area di direzioni preferite che vanno dal Nord al Sud-Est. Il sito si dimostra protetto dai venti in direzione Sud Ovest, mentre una porzione significativa di venti proviene dalla direzione Nord-Ovest.

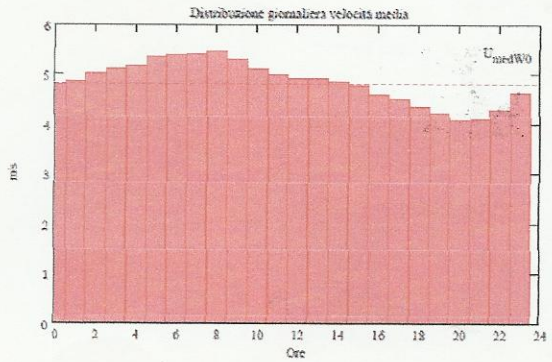


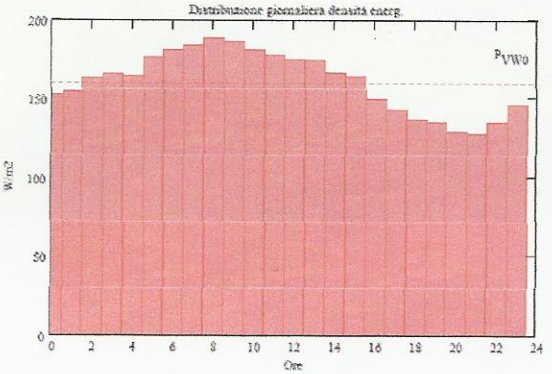
Proprietà riservata: vietata ai sensi di legge la riproduzione e la divulgazione di questo documento senza l'autorizzazione scritta di TEROM Wind Energy Srl

L'istogramma delle direzioni prevalenti rappresenta chiaramente come la probabilità maggiore sia quella di riscontrare venti provenienti dalle direzioni Sud-Est e Nord-Ovest.



Ampio interesse ha l'approfondimento della variabilità temporale su scala giornaliera della velocità media e della conseguente densità energetica.
Nel sito oggetto di analisi si nota una certa periodicità, riconducibile, data la vicinanza al Mar Ligure, alla presenza delle inversioni termiche e delle conseguenti alternanze brezze di terra – brezza di mare.

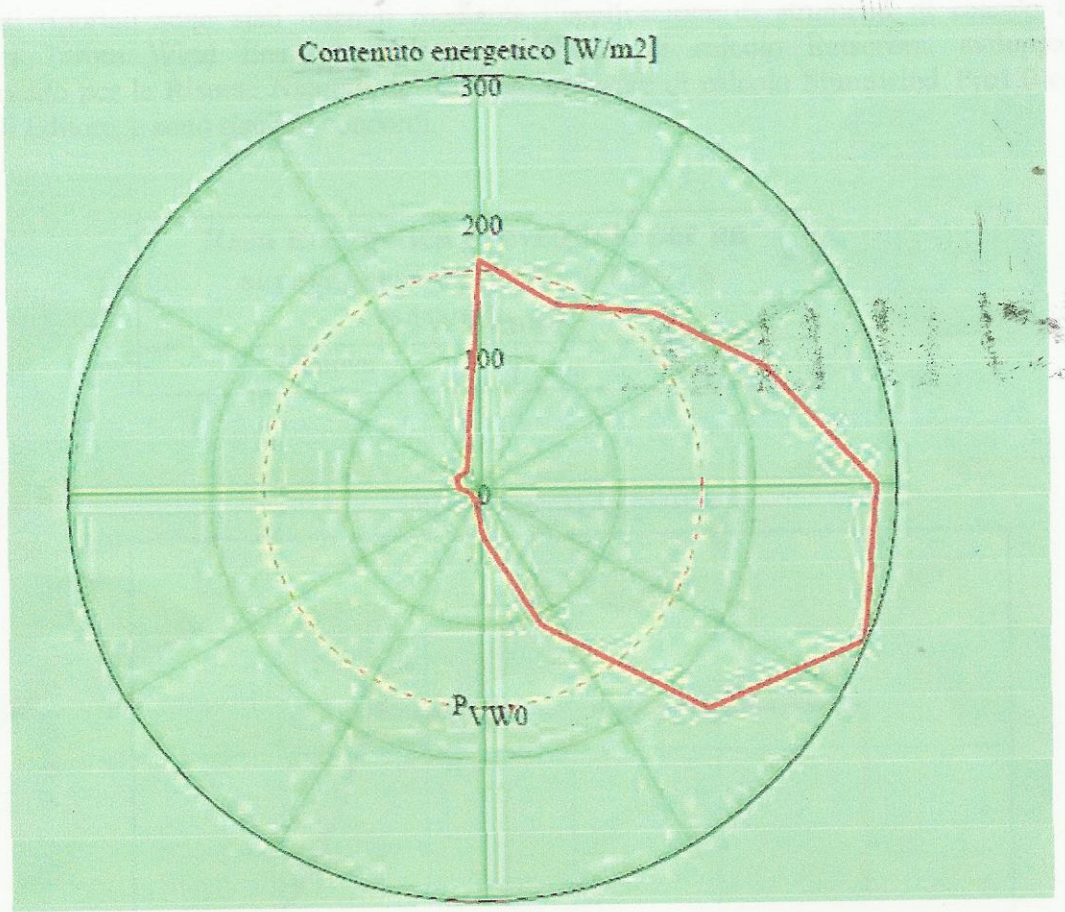




Proprietà riservata: vietata ai sensi di legge la riproduzione e la divulgazione di questo documento senza l'autorizzazione scritta di TEROM Wind Energy Srl

5. Resa energetica

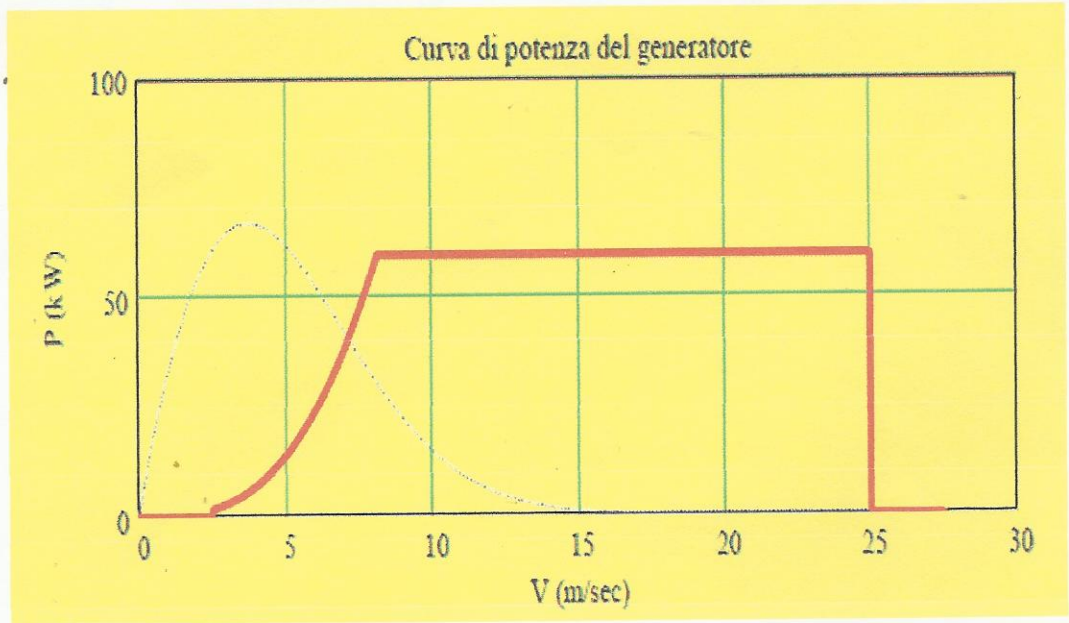
Il contenuto energetico di un sito è strettamente dipendente dalla velocità media del sito stesso e dalla densità dell'aria e quindi dalla quota del sito rispetto al livello del mare. Questo rappresenta un dato fondamentale per la determinazione del potenziale eolico in quanto permette di determinare la resa energetica di un aerogeneratore installato nel sito.
La rappresentazione grafica che segue permette di individuare le direzioni da cui provengono i venti a più elevato contenuto energetico. Il quadrante in cui si verifica il picco è quello in direzione Est-Sud-Est, con intensità di 300W/m2. Anche in direzione Nord si riconosce un picco che raggiunge la densità energetica di 170 W/m2.



Proprietà riservata: vietata ai sensi di legge la riproduzione e la divulgazione di questo documento senza l'autorizzazione scritta di TEROM Wind Energy Srl

La curva di potenza, insieme alle caratteristiche di ventosità del sito (misurate su almeno 18 mesi), è la base per poter predire con ragionevole precisione la resa energetica dell'installazione.
La curva di potenza mostra appunto quale potenza viene generata dalla turbina per ogni velocità del vento alla quale essa è in grado di funzionare. Incrociando le informazioni provenienti dalla Curva di Potenza e quelle relative alla distribuzione statistica delle velocità medie del vento è possibile calcolare la resa energetica dell'aerogeneratore nel sito.
Le figure seguenti mostrano le due curve previste per la turbina ATBV26 nelle due versioni con alternatore da 60kW e alternatore da 100kW sovrapposte alla curva di Weibull rappresentativa del vento misurato. La resa energetica prevedibile è di 154MWh/anno per l'aerogeneratore da 60kW e 196 MWh/anno nel caso di aerogeneratore da 100kW.
Nel calcolo della resa è stato supposto che il vento rilevato corrisponda al vento che incide sul rotore. Oltre al rendimento complessivo dell'aerogeneratore, è stato introdotto un ulteriore coefficiente che tiene conto di eventuali perdite ulteriori, dovute, per esempio, all'usura della superficie delle pale dovuta alla salsedine portata dal vento in virtù della vicinanza del mare.
I risultati riportati sono stati ottenuti mediante l'applicazione di strumenti di calcolo diversi: strumenti Terom Wind Energy proprietari, software di calcolo Retscreen, sviluppato dal Dipartimento per le Risorse Naturali del Canada, software di calcolo Simulwind_Pro1.0 edito da Maggioli Editore, e sono risultati concordi.

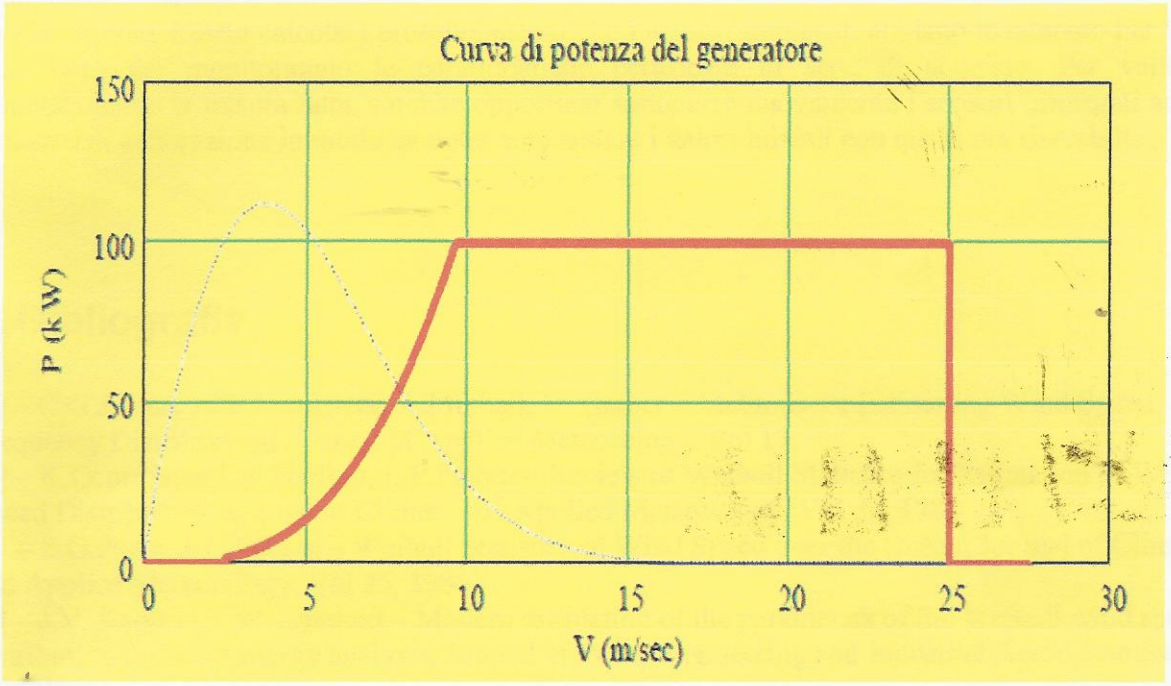
Resa Energetica Prevedibile per un aerogeneratore TWE ATBV26 [MWh/anno]	
Genova	154



Proprietà riservata: vietata ai sensi di legge la riproduzione e la divulgazione di questo documento senza l'autorizzazione scritta di TEROM Wind Energy Srl

TEROM® Wind Energy
Via Nuova 16 - 40050 Funo (BO) - Italy
Tel. +39 051 8900351 - Fax. +39 051 8900320
E-Mail: info@teromwe.it Web: www.teromwe.it

Resa Energetica Prevedibile per un aerogeneratore TWE ATBV26/100kW [MWh/anno]	
Genova	196



Proprietà riservata: vietata ai sensi di legge la riproduzione e la divulgazione di questo documento senza l'autorizzazione scritta di TEROM Wind Energy Srl

6. Conclusioni

I risultati ottenuti hanno dimostrato la fattibilità dell'installazione dell'aerogeneratore TWE ATBV26 nel sito in oggetto. Nel caso di installazione della versione da 60kW (59kW di potenza nominale) la resa prevedibile è di 154MWh/anno, corrispondenti a oltre 2600h di funzionamento equivalente nette, mentre nel caso di installazione della versione ATBV26_100 (96kW di potenza nominale) il parametro delle ore di funzionamento equivalente è di 2038 ore di funzionamento equivalente nette.
La resa stimata è stata calcolata presupponendo che i sensori impiegati abbiano mantenuto per tutto il periodo del monitoraggio le caratteristiche certificate in sede di acquisto. Per validare completamente la misura fatta, sarebbe opportuno sottoporre nuovamente i sensori impiegati ad un processo di calibrazione in modo da poter confrontare i valori iniziali con quelli ora rilevabili.

7. Bibliografia

[1] – C.G.Justus, W.R.Hargraves, A.Mikhail, D. Graber – Methods for Estimating Wind Speed Frequency Distributions; Journal of Applied Meteorology, Vol 17,
[2] – K.Conradsen, L.B.Nielsen, L.P.Prahm – Review of Weibull Statistics for Estimation of Wind Speed Distribution; Journal of Climate and Applied Meteorology, Vol 23, 1984
[3] – E.G.Pavia, J.J.O'Brien – Weibull Statistics of Wind Speed over the Ocean; Journal of Climate and Applied Meteorology, Vol 25, 1986
[4] – J.V. Seguro , T.W. Lambert – Modern estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy analysis; Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 85 (2000)
[5] – E.S. Takle , J.M. Brown – Note on the use of Weibull Statistics to Characterize Wind-Speed Data; Journal of Applied Meteorology, Vol 17, 1978
[6] – Roberto Sunni, Teodoro Giorgiadis, Mauro Valentini; *"Introduzione alla turbolenza atmosferica"*
[7] – Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins, Ervin Bossanyi; *"Wind Energy Handbook"*
[8] - DNV- RISOE; *"Guidelines for the Design of Wind Turbines"*
[9] - CEI ENV 61-400-1: Sistemi di generazione a turbina eolica; Parte I: Prescrizioni di sicurezza
[10] - Germanischer Lloyd – WindEnergie GmbH: Rules and Guidelines; IV-1: Guideline for the certification of wind turbines
[11] – Romoli, Pedroni, Alberghini-Energia dal vento in siti a bassa velocità ed alta turbolenza, Ecomondo 2006
[12] – RETScreen4-1 www.retscreen.net
[13] – Sistemi Eolici: progettazione e valutazione economica con software Simulwind_Pro 1.0 Maggioli Editore

Proprietà riservata: vietata ai sensi di legge la riproduzione e divulgazione di questo documento senza l'autorizzazione scritta di TEROM Wind Energy