MARCOPOLO
ENVIRONMENTAL GROUP

Energy(R)Evolution

STUDIO ANEMOLOGICO
e
PRODUZIONE ENERGETICA

Parco Eolico Rialto 2

Commessa: EE040

Borgo S. Dalmazzo, 30/11/2011

MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A
Legale Rappresentante
Dott.ssa Isabella Pedroni

Il Progettista
Ing. Davide Aprile

MARCOPOLO ENVIRONMENTAL GROUP
Via XI Settembre, 37 – 12011 Borgo S. Dalmazzo (CN) - ITALIA
Tel +39 0171 262348 Fax +39 0171 262341
info@marcopolo-e.com www.marcopolo-e.com

INDICE

1. Introduzione 4

2. Obiettivi dello studio 6

3. Localizzazione del progetto 7

4. Descrizione dello studio 9

4.1. Metodologia di analisi 9

4.2. Banca dati vento disponibili ed elaborazioni preliminari 10

4.2.1. Caratteristiche della stazione anemometrica 10

4.2.2. Caratteristiche della stazione meteorologica di Monte Settepani 13

4.3. Elaborazione e validazione dei dati vento 14

4.3.1. Analisi dati vento della stazione anemometrica 14

4.3.2. Analisi dati vento della stazione meteorologica 17

4.3.3. Correlazioni 18

4.3.4. Analisi dei dati ottenuti dalla correlazione 21

4.4 Modello digitale del Terreno 22

4.5 Layout di progetto del Parco Eolico 26

5. Risultati dello studio 29

5.1. Risorsa eolica dell'area 29

5.2. Analisi aerodinamica 30

5.3. Risultati di produzione 35

5.3.1. Modelli di aerogeneratori testati 37

5.3.2. Risultati delle simulazioni 39

5.4. Analisi dell'errore e P90 40

5.5. Considerazioni finali 42

Allegati 44

Allegato 1 – Estratto del Report d'installazione Anemometri 44

Allegato 2 – Certificati di Calibrazione degli Anemometri 46

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

INDICE FIGURE

Figura 1 – Inquadramento territoriale dell'area individuata per l'istallazione del parco eolico 7
Figura 2 – Area individuata per l'istallazione del parco eolico e viabilità d'accesso 8
Figura 3 – Stazione anemometrica MPE 50, presso Località Pian dei Corsi – Comune di Rialto .. 11
Figura 4 – Layout del Parco Eolico di Rialto e posizione dell'Anemometro 12
Figura 5 – Stazione meteorologica MStP 10, presso Località Monte Settepani – Comune di Rialto 13
Figura 6 – Posizione e distanza reciproca delle stazioni di misurazione di MPE 50 e MStP 10..... 14
Figura 7 – Rappresentazione grafica delle serie temporali ottenute dalle stazioni di misurazione di Pian dei Corsi e Monte Settepani 15
Figura 8 – Distribuzione in frequenza delle velocità del vento a 50 [m] (sinistra) e 40 [m] (destra), Rialto MPE 50 15
Figura 9 – Rose dei venti a 50 [m] (sinistra) e 40 [m] (destra), Rialto MPE 50 16
Figura 10 – Profilo verticale del vento, Rialto MPE 50..... 17
Figura 11 – Rosa dei venti e Distribuzione in frequenza delle velocità del vento, Rialto MStP 10 . 18
Figura 12 – Grafico della dispersione e della retta di fit della correlazione nelle direzioni 150° e 330°. 20
Figura 13 – Rose dei venti a 36 settori, valori a ottenuti dalla correlazione 50[m]..... 21
Figura 14 – Distribuzione di frequenza a 50 [m] ottenuta dalla correlazione 22
Figura 15 –Immagine del reticolo realizzato in Windsim con la tecnica Refinement. 23
Figura 16 - Rappresentazione grafica della porzioni studiate nel modello descritto, l'area riquadrata in blu è l'area di Refinement. 24
Figura 17 – Modello digitale del terreno, con visualizzate le celle, prospettiva da sud..... 25
Figura 18 – Mappa di rugosità dell'area utilizzata in input per la realizzazione del modello digitale del terreno con Windsim, segnata l'area di Refinement come in Figura 8. 26
Figura 19 – Mappe isovento a 60 [m] di altezza, software Windsim 29
Figura 20 – Variazione della velocità media nel piano orizzontale in funzione della quota, settore 350°..... 30
Figura 21 – Variazione della velocità media nel piano orizzontale in funzione della quota, settore 170°..... 31
Figura 22 – Velocità verticale in funzione della quota, direzione del vento da 350°..... 31
Figura 23 – Velocità verticale in funzione della quota, direzione del vento da 170°..... 32
Figura 24 – Profilo verticale del "wind-shear" o gradiente verticale della velocità del vento, direzione del vento da 350°..... 32
Figura 25 – Profilo verticale del "wind-shear" o gradiente verticale della velocità del vento, direzione del vento da 170°..... 33
Figura 26 – Profilo verticale dei livelli di intensità turbolenta, direzione vento da 350°..... 33
Figura 27 – Profilo verticale dei livelli di intensità turbolenta, direzione vento da 170°..... 34

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

INDICE TABELLE

Tabella 1 – Descrizione stazione anemometrica MPE 50, presso Località Pian dei Corsi 11
Tabella 2 – Descrizione stazione anemometrica della stazione meteorologica MStP 10 13
Tabella 3 – Risultati della correlazione tra MStP 10 e MPE 50 a 40[m] s.l.s. 19
Tabella 4 – Risultati della correlazione tra le serie a 40[m] e 50[m] MPE 50 di Rialto. 20
Tabella 5 – Risultati produzione con differenti modelli di aerogeneratori 37
Tabella 6 – Posizioni delle turbine nel layout definitivo in coordinate Gauss Boaga, sono evidenziate le posizioni del parco Rialto 2 rispetto a quelle già installate 37
Tabella 7 – Risultati di produzione con l'aerogeneratore ENERCON E53 - Hub 60 [m] 37
Tabella 8 – Risultati di produzione con l'aerogeneratore ENERCON E48- Hub 60 [m] 38
Tabella 9 – Risultati di produzione con l'aerogeneratore VESTAS V52 - Hub 65 [m] 38
Tabella 10 – Risultati di produzione con l'aerogeneratore GAMESA G58 - Hub 65 [m] 39
Tabella 11 – Incertezze legate alla misura del vento 40
Tabella 12 – Incertezze legate all'elaborazione dei dati 40
Tabella 13 – Incertezze legate al calcolo della produzione 41
Tabella 14 – tabella riassuntiva previsione di produzione Enercon E53 - Hub 60[m] 41

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

1. Introduzione

La Marcopolo Engineering S.p.A. (d'ora in avanti denominata "MPE") è un'azienda di sviluppo, realizzazione e gestione di impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili, in particolare eolica, e, nel merito, sta sviluppando dei progetti di impianti eolici in Liguria, uno dei quali è situato nel Comune di Rialto (d'ora in avanti denominato l'"Impianto"), in provincia di Savona.

L'impianto in oggetto di studio è denominato Rialto 2 poiché nasce come ampliamento di un impianto già installato che è entrato in servizio a luglio del 2010, si tratta però di un impianto a se stante.

Il monitoraggio dell'area e lo studio della risorsa eolica sono molto migliorati dalla presenza di un impianto già in funzione in loco e che ha caratteristiche simili al parco oggetto del presente studio.

Per lo sviluppo del progetto, la MPE ha analizzato il sito dal punto di vista anemologico ed ha eseguito una valutazione della producibilità dell'impianto in progetto.

Il presente documento rappresenta il report delle attività di analisi e dell'elaborazione dei dati anemologici.

Il lavoro è principalmente basato sulle seguenti informazioni e dati:

- dati di vento misurati in prossimità del sito, per un periodo di 4 anni mesi (nell'Allegato 2 sono riportate le caratteristiche degli strumenti utilizzati nel rilevamento);
- dati vento misurati presso la stazione meteorologica di Monte Settepani in prossimità del sito;
- mappe vettoriali digitali del terreno;
- cartografia dell'area;
- caratteristiche e tipologia degli aerogeneratori di progetto;
- dimensioni del parco eolico e vincoli relativi.

Diversi sopralluoghi sono stati effettuati in sito per:

- verificare l'installazione dell'anemometro;

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

- effettuare una valutazione del sito sia dal punto di vista dell'orografia sia da quello della rugosità;
- valutare la posizione degli aerogeneratori in rapporto all'orografia del terreno, alla esposizione al vento, agli spazi disponibili ed alla vegetazione presente, al fine di minimizzare gli impatti.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

2. Obiettivi dello studio

Le attività principali del lavoro eseguito e descritto in questo documento sono lo studio anemologico del progetto, basato sui dati di vento monitorati nell'area di interesse, nel comune di Rialto, e la stima di produzione del parco eolico. In particolare gli obiettivi dello studio sono:

- verifica dei dati anemologici disponibili e filtraggio degli stessi;
- modellazione del terreno;
- definizione della mappa di rugosità;
- studio di ventosità dell'area ed analisi della turbolenza;
- studio del possibile layout di progetto;
- stima di produzione del parco eolico con il layout di progetto;
- valutazione perdite di scia ed ottimizzazione del layout;
- valutazione della produzione del layout ottimizzato;
- valutazione della propagazione dell'errore nell'analisi della produzione;
- valutazione tecnica finale del progetto.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

3. Localizzazione del progetto

L'Impianto è localizzato in Liguria, in provincia di Savona, nel territorio comunale di Rialto, nella parte settentrionale del territorio comunale, nella località denominata Pian dei Corsi. Nell'inquadramento stradale si evidenzia l'area del sito che si trova a nord del centro abitato di Rialto, su di un crinale che si sviluppa in direzione est-ovest.

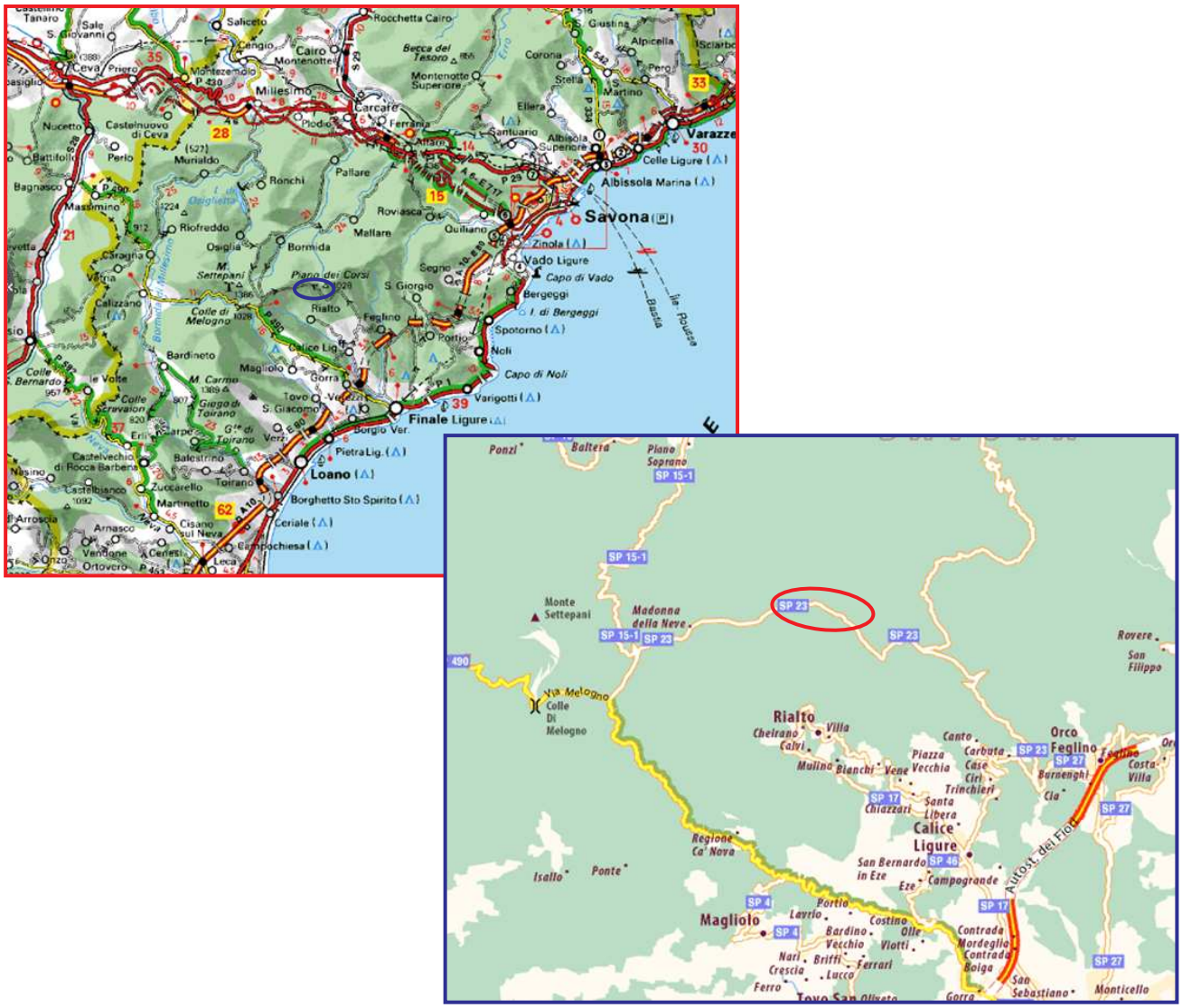


Figura 1 – Inquadramento territoriale dell'area individuata per l'istallazione del parco eolico

La strada di accesso al sito è la provinciale SP23 che percorre la cresta da Regione Melogno fino al Pian dei Corsi, per poi scendere verso Calice Ligure.

L'impianto si sviluppa lungo la SP23 e lungo la strada comunale che biforca e prosegue sulla cresta di Pian dei Corsi.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

In figura si può notare come l'area dell'impianto sia sul confine comunale tra Rialto, Bormida e Calice Ligure.

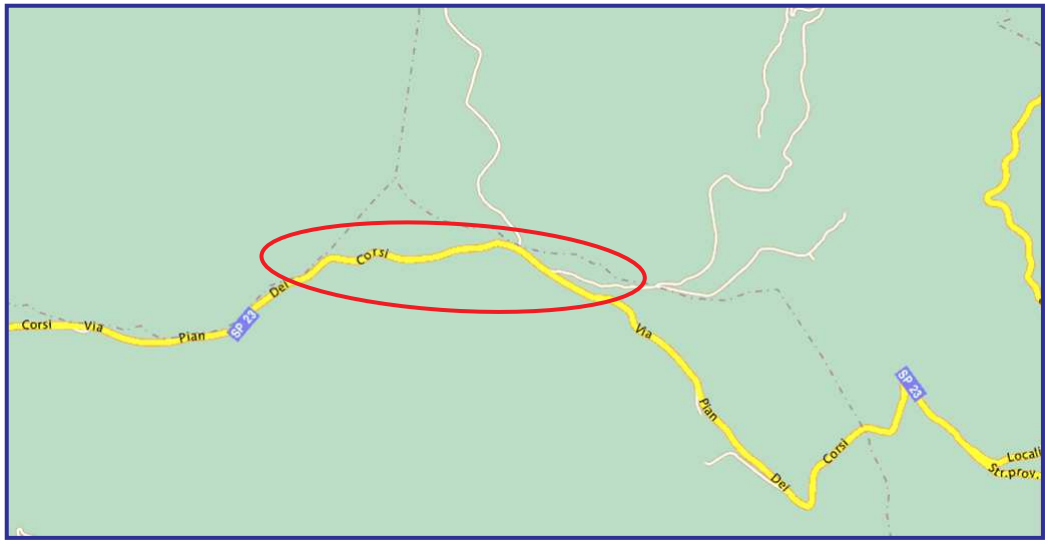


Figura 2 – Area individuata per l'istallazione del parco eolico e viabilità d'accesso

La vicinanza delle posizioni degli aerogeneratori alla strada le rende di facile l'accesso e diminuisce la necessità di interventi di impatto come la realizzazione di nuove strade o piste.

I terreni interessati dal layout definitivo dell'impianto si trovano nei comuni di Rialto e Bormida sono tutti caratterizzati dalla presenza di bosco essenzialmente di faggi e noccioli.

La quota media del sito è pari a circa 950 [m] sul livello del mare, con un'ottima esposizione al vento lungo le direzioni nord-sud in cui la cresta posta in direzione est-ovest accelera la vena fluida che si muove in direzione perpendicolare alla cresta.

Come si deduce dall'ortofoto, non presentata in questa relazione, praticamente tutta l'area del sito è destinata a bosco.

Gli alberi ad alto fusto, principalmente faggi e castagni, non superano i 15 – 20 [m] di altezza.

La presenza di piante nell'area porta a una rugosità elevata che influisce sul profilo verticale del vento.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

4. Descrizione dello studio

Nel seguito del presente documento saranno sviluppati in dettaglio la metodologia di studio, i dati di input e ciascuno dei punti menzionati nel Capitolo 2.

4.1. Metodologia di analisi

Lo studio anemologico è stato condotto elaborando i dati raccolti con l'ausilio delle tecniche di analisi e di calcolo più innovative attualmente presenti sul mercato, nel settore dell'energia eolica; in particolare sono stati utilizzati i seguenti software:

- **Nomad2Desktop,** della SecondWind, per l'elaborazione preliminare dei dati vento misurati.
- **Windographer,** della Mistaya, per il filtraggio dei dati vento, l'analisi statistica dei dati e la simulazione di brevi periodi di dati mancanti.
- **MatLab,** della Mathworks, per la formattazione dei dati, importando dati provenienti dal Nomad2Desktop ed esportando dati compatibili a Windographer.
  Per l'analisi dei dati dell'impianto già installato, sito nella stessa area dell'impianto oggetto del presente studio.
  Per eseguire la correlazione tra i dati provenienti dalla stazione anemometrica da 50[m] posizionata in prossimità del sito e la stazione da 10[m] con serie di dati più estesa.
- **WAsP,** della Risø, per la redazione della mappa di rugosità e l'elaborazione dei dati orografici, al fine di generare il file di mappa richiesto da Windsim per il calcolo del campo fluidodinamico.
- **WindSim,** della Vector, per l'analisi e l'elaborazione delle condizioni di vento, e per la stima di producibilità degli aerogeneratori. Questo prodotto è particolarmente indicato per terreni dall'orografia complessa come il sito in oggetto, in quanto il metodo di calcolo che applica è del tipo non-lineare e permette di simulare fenomeni aerodinamici del secondo ordine.
- **Excel,** della Microsoft, per l'elaborazione finale dei risultati.

La procedura di analisi è stata condotta secondo le seguenti fasi successive:

- analisi preliminare dei dati vento, filtraggio dei dati, preparazione dei dati di input per i software di calcolo della ventosità;

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

- preparazione del modello digitale del terreno, da dare in input, nel formato e nelle dimensioni opportune, al software di calcolo della ventosità;
- elaborazione del calcolo fluidodinamico, con l'uso di WindSim, analisi delle condizioni di vento presenti nel sito;
- preparazione del layout di progetto, posizionamento degli aerogeneratori e definizione delle loro caratteristiche tecniche;
- calcolo della produttività dell'Impianto, con l'uso di WindSim;
- calcolo delle perdite di scia, con l'uso di WindSim;
- ottimizzazione del layout, al fine di minimizzare le perdite di scia e massimizzare la produzione, nel rispetto della morfologia del sito;
- valutazione della produzione del layout ottimizzato.

4.2. Banca dati vento disponibili ed elaborazioni preliminari

I dati vento utilizzati e analizzati per lo studio e la definizione dell'impianto in oggetto sono quelli acquisiti dalla stazione anemometrica installata in sito.

Stazione anemometrica (MPE 50) da 50 [m] di altezza, installata dalla Marcopolo Engineering SpA nel territorio del comune di Rialto in località Pian dei Corsi in data 14 aprile 2007; al momento della stesura della presente relazione si dispone di un periodo di 4 anni di dati rilevati ogni 10 minuti.

Per estendere la serie temporale e per completare i periodi di malfunzionamento della strumentazione si è utilizzata la stazione anemometrica denominata Monte Settepani (MStP 10) da 10 [m] di altezza, tale stazione è di proprietà dell'Arpa Liguria ed è utilizzata nell'ambito dell'agrometeorologia.

La stazione anemometrica MPE 50 si trovano all'interno del Parco Eolico mentre la MStP 10 a circa 5-6 [km] a ovest.

4.2.1. Caratteristiche della stazione anemometrica

In tabella sono riportate le principali caratteristiche delle torri anemometriche MPE 50.

La posizione della stazione anemometrica risponde ai criteri della normale prassi in tema di misurazioni anemometriche per lo sviluppo di parchi eolici.

È ben esposta al vento da tutti i lati ed è collocata all'interno del layout definitivo scelto per il Parco Eolico in progetto.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

L'esposizione della stazione anemometrica è tale da fornire un ottimo monitoraggio di un'ampia area, compresa quella in studio per l'impianto da realizzare.

Descrizione
Posizione anemometro – coordinate Gauss Boaga: *Longitudine: E 1441660* *Latitudine: N 4899442* *Quota: 945 [m] s.l.m.*
Caratteristiche tecniche *Struttura Televes360 tralicciato, Altezza 48 [m] + 2 [m]*
Sensori e centralina *1 Data Logger Nomad 2 GSM - Second Wind (N2-03335, N2-01711 e N2-04450)* *1 Anemometro NRG installato a 50 [m] s.l.s – Calibrato (OTECH)- SN 35064, poi 60013 (Allegato 2)* *1 Anemometro NRG installato a 40 [m] s.l.s – Calibrato (OTECH)- SN 35063 (Allegato 2)* *1 Anemometro NRG installato a 30 [m] s.l.s – Calibrato (OTECH)- SN 35062 (Allegato 2)* *1 Anemometro NRG riscaldato a 48 [m] s.l.s – Non calibrato – SN 160503* *1 Sensore di Direzione installato a 50 [m] s.l.s* *1 Sensore di Direzione installato a 40 [m] s.l.s* *1 Sensore di Temperatura installato a 13 [m] s.l.s*
Report di installazione *SI – GEOWIND di Paolo Palossi*
Periodo di misura disponibile: ***dal 11 aprile 2007 al 31 maggio 2011***



Figura 3 – Stazione anemometrica MPE 50, presso Località Pian dei Corsi – Comune di Rialto

Tabella 1 – Descrizione stazione anemometrica MPE 50, presso Località Pian dei Corsi

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

Una delle problematiche principali che hanno influito il monitoraggio anemomertico dell'area è stata la fulminazione di diversi strumenti; l'anemometro a 50[m] s.l.s. è stato sostituito l'11 giugno del 2008, nella sostituzione è stato scelto un anemometro con funzione di trasferimento quasi identica a quella dell'anemometro precedente in modo da minimizzare l'errore dovuto al cambio di strumento.

Inoltre il sito è affetto ogni anno da fenomeni di ghiaccio che blocca la strumentazione per lunghi periodi, per ciò il 17 ottobre del 2007 è stato installato un anemometro riscaldato a 48 [m] s.l.s. in modo da poter monitorare anche i peridi rigidi dell'anno.

Nella seguente figura si osserva il layout dell'impianto installato a luglio del 2010, tale impianto è formato da 3 aerogeneratori Enercon E53 con hub da 60 [m].

La presenza di tali aerogeneratori potrebbe rendere poco attendibili i dati registrati nel periodo successivo all'installazione, ma, come vedremo in seguito nel dettaglio, la direzione principale del vento è molto ben definita e interessa quasi unicamente i settori nord e sud.

Questo porta a considerare trascurabile l'effetto di scia degli aerogeneratori installati sull'anemometro.

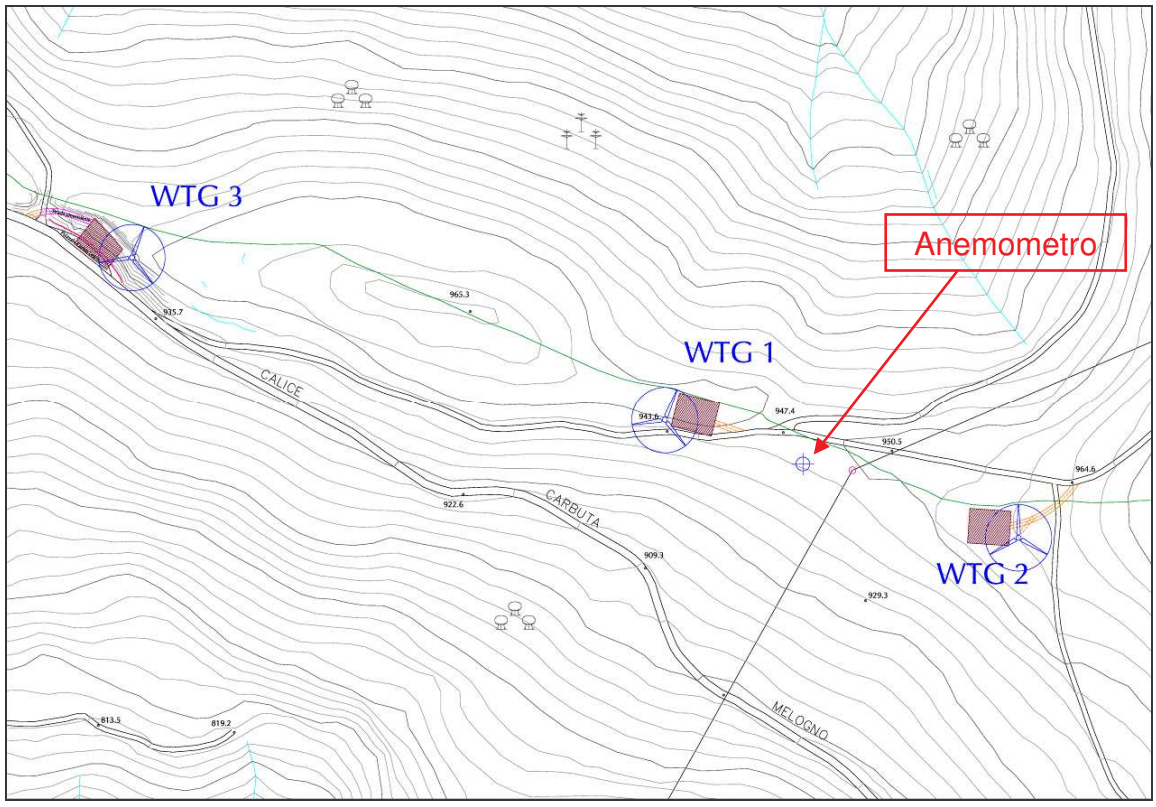


Figura 4 – Layout del Parco Eolico di Rialto e posizione dell'Anemometro

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

4.2.2. Caratteristiche della stazione meteorologica di Monte Settepani

Il radar meteorologico GPM 250C, è stato installato in località Monte Settepani presso il Colle del Melogno (SV) a 1387 [m] s.l.m.

L'anemometro a 10 [m] di altezza è stato installato nel giugno del 2004 e monitora i dati di velocità e direzione ad intervalli di 10 minuti.

I dati sono stati acquistati da Marcopolo Engineering s.p.a presso la Direzione Scientifica ARPA Liguria Ufficio Meteorologico, allo scopo di effettuare una correlazione di lungo periodo con i dati della stazione anemometrica installata a Pian dei Corsi.

Nella tabella seguente sono riportate le principali caratteristiche della strumentazione installata per la misurazione della velocità e direzione del vento.

Descrizione
Posizione anemometro – coordinate Gauss Boaga: *Longitudine:* 1435816 *Latitudine:* 4899231 *Quota:* *1375 [m]*
Sensori di direzione e velocità *1 tacoanemometro VV200 – CAE, 10 [m] – mulinello a tre pale in policarbonato* *1 gonioanemometro DV200 – CAE, 10 [m] – banderuola in alluminio anodizzato*
Periodo di misura disponibile: ***da giugno 2004 a aprile 2009***



Figura 5 – Stazione meteorologica MStP 10, presso Località Monte Settepani – Comune di Rialto

Tabella 2 – Descrizione stazione anemometrica della stazione meteorologica MStP 10

Come si vede dalla seguente figura la distanza reciproca tra i due punti di misura non è molta, circa 5,7 [km], questo rende più attendibile la correlazione tra le due serie temporali; inoltre la rugosità dell'area e la quota delle due installazioni sono paragonabili, anche se

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

nel caso della stazione di Monte Settepani, si ha una maggiore esposizione a tutte le direzioni del vento.

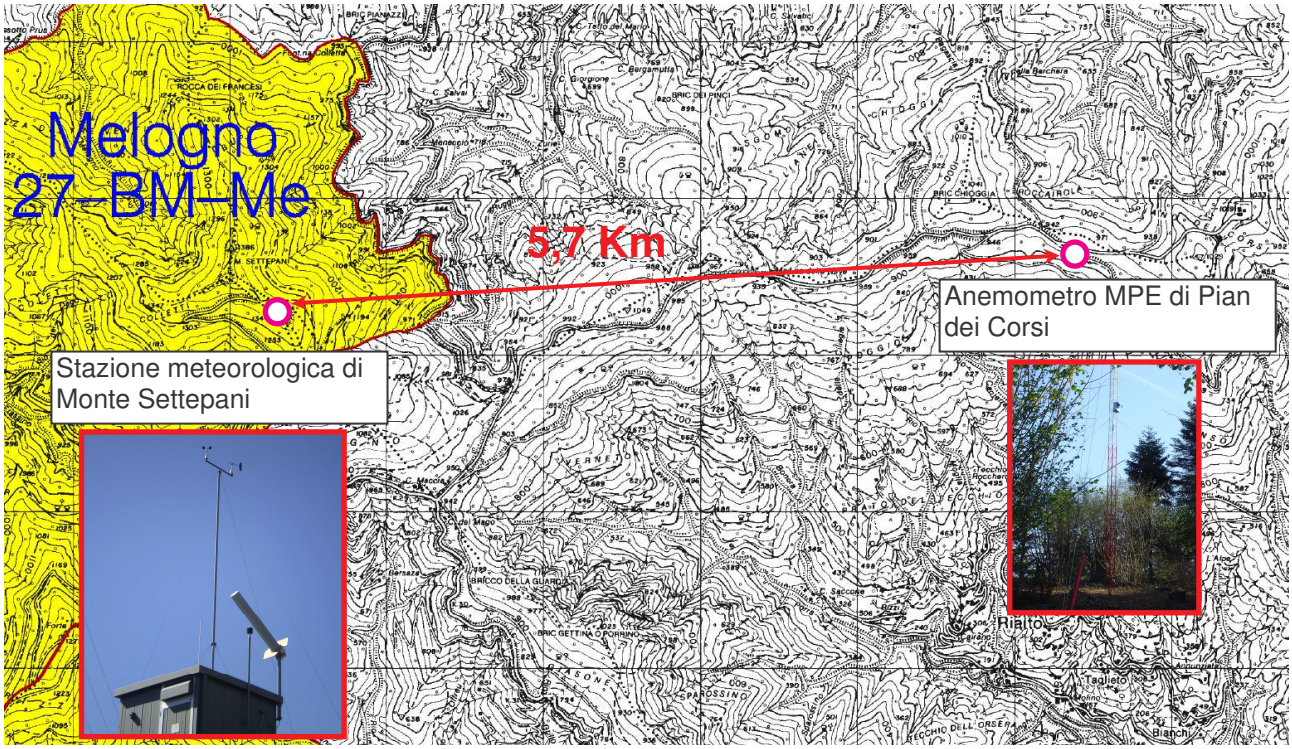


Figura 6 – Posizione e distanza reciproca delle stazioni di misurazione di MPE 50 e MStP 10

4.3. Elaborazione e validazione dei dati vento

I dati vento disponibili dalle stazioni anemometriche MPE 50 e MStP 10 descritte nei paragrafi precedenti sono disponibili per un periodo di diversi anni, correlando le due serie si può raggiungere una serie temporale di 7 anni intervallo temporale che permette di avere una statistica molto dettagliata delle caratteristiche anemologiche dell'area.

La tecnologia usata dalla stazione anemometrica MPE 50 è quella standard, i dati sono stati rilevati dalla centralina di acquisizione Nomad, della Second Wind, che invia i dati giornalmente attraverso un sistema di e-mail, sono stati poi archiviati dalla MPE sia su supporto (CD) che nei database di back-up dell'azienda.

4.3.1. Analisi dati vento della stazione anemometrica

Il periodo di dati dell'anemometro MPE 50 esaminato, per redigere il presente studio, va dal 11 aprile 2007 al 31 maggio 2011.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

I dati di velocità del vento registrati sono stati corretti con i coefficienti di calibrazione, sulla base dei certificati di calibrazione degli anemometri NRG Systems forniti dalla OTECH.

Per l'intero periodo di funzionamento è stata verificata la validità delle misure per ognuno dei parametri e dall'operazione di filtraggio sono risultati diversi periodi di malfunzionamento o gelo della strumentazione.

Inoltre a partire da metà del 2009 il sensore di velocità a 50[m] è rimasto fulminato e non più sostituito, quindi per l'ultimo periodo si è provveduto a correlare il sensore a 50[m] con quello a 40[m] per estenderne la serie.

Nella seguente figura è possibile visualizzare la completezza delle e serie temporali dei vari sensori.

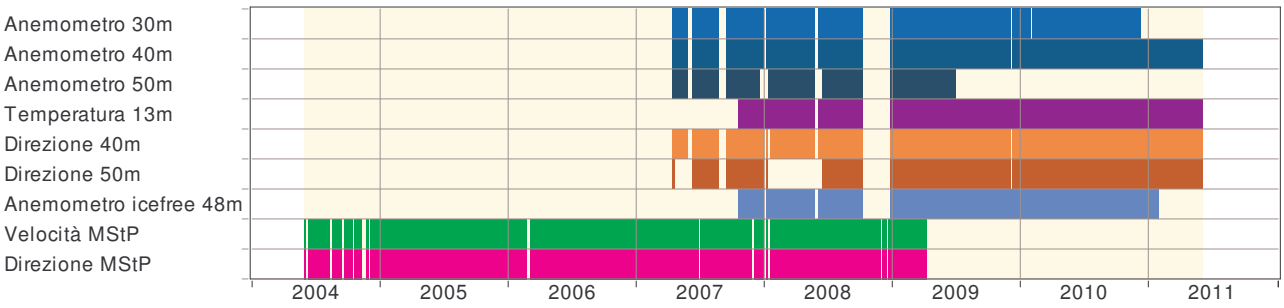


Figura 7 – Rappresentazione grafica delle serie temporali ottenute dalle stazioni di misurazione di Pian dei Corsi e Monte Settepani

I dati misurati dalla stazione MPE 50 sono molto buoni,

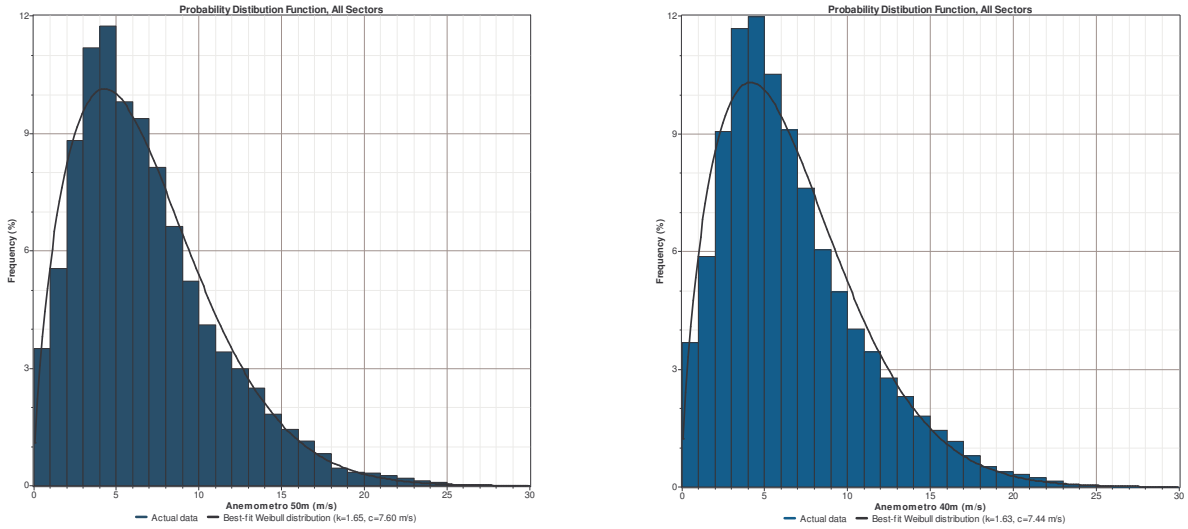


Figura 8 – Distribuzione in frequenza delle velocità del vento a 50 [m] (sinistra) e 40 [m] (destra), Rialto MPE 50

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

ciò che si nota nella precedente figura è che entrambe le distribuzioni di frequenza a 50 e 40 metri aderiscono molto bene alla funzione di Weibull corrispondente ed hanno un picco in corrispondenza delle velocità a 5 [m/s].

Osservando le distribuzioni di frequenza per direzione ci si rende conto che, come già sottolineato in precedenza, le direzioni principali sono molto ben dettagliate e corrispondo al vento proveniente da nord e quello da sud.

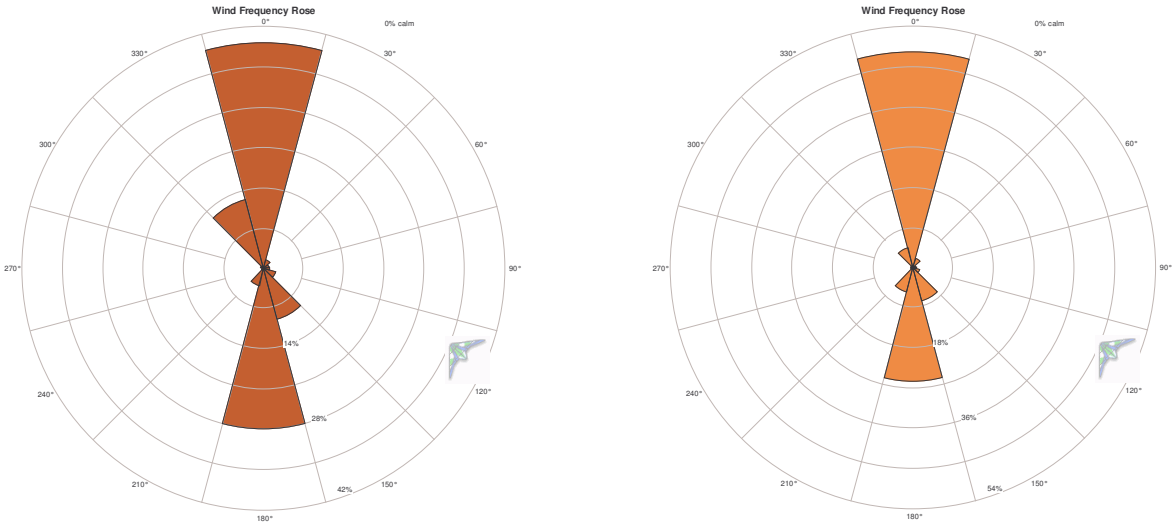


Figura 9 – Rose dei venti a 50 [m] (sinistra) e 40 [m] (destra), Rialto MPE 50

Questa caratteristica rende molto più semplice definire il layout poiché la scia è molto più facile da definire, inoltre permette di escludere effetti di scia da parte degli aerogeneratori già installati sull'anemometro, vedi Figura 3.

Confrontando le velocità medie a differenti altezze si ottiene una crescita di tipo esponenziale piuttosto ripida.

Come si nota in figura la curva che maggiormente aderisce ai dati ottenuti è una curva logaritmica che corrisponderebbe a siti con rugosità molto inferiore al sito oggetto del presente studio.

Quello che si può presupporre, che in seguito verificheremo per mezzo del modello digitale del flusso aerodinamico, è che vi sia un effetto di speed-up.

Tale effetto descrive l'accelerazione impressa dal pendio sulla vena fluida quando il vento soffia in direzione perpendicolare ad una cresta e da questa viene accelerata.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

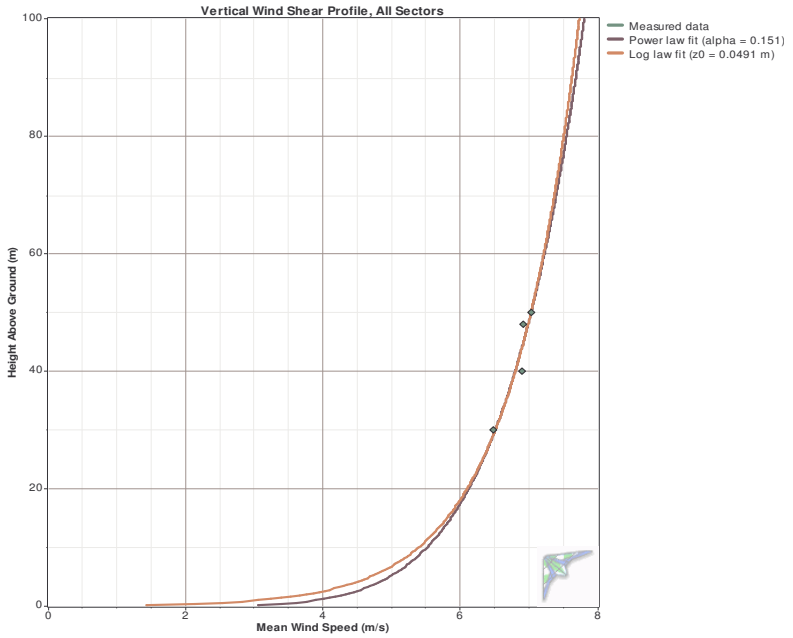


Figura 10 – Profilo verticale del vento, Rialto MPE 50

Osservando i dati ottenuti dalle misurazioni si nota che l'effetto di accelerazione dovuto allo speed-up agisce tra i 40[m] e 50[m] regione in cui i punti sono disposti a formare un pancia nella crescita logaritmica.

Queste caratteristiche del sito verranno affrontate più a fondo nel proseguo, è ora importante notare che nonostante la crescita logaritmica non aderisca in modo completo al profilo verticale del vento, le velocità del vento medie alle diverse altezze sono molto promettenti e portano ad avere ventosità superiori ai 7 [m/s] a 60 [m] s.l.s.

4.3.2. Analisi dati vento della stazione meteorologica

Esattamente come fatto per la stazione MPE 50 i dati provenienti dalla stazione meteorologica denominata MStP 10 sono stati visualizzati e controllati in modo da escludere periodi di ghiaccio o malfunzionamento della strumentazione.

Come si vede in figura 7 la serie dei dati MStP 10 risulta quasi completa e soprattutto ha un periodo di concorrenza di circa 2 anni con la serie dell'anemometro MPE 50, che permette una buona attendibilità della correlazione, e allo stesso tempo un lungo periodo di dati precedenti all'installazione di MPE 50, circa 3 anni, che ci permetteranno di estendere la serie.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

Dall'analisi dei dati osservati si ottiene una distribuzione paragonabile a quella ottenuta dai dati dell'anemometro MPE 50.

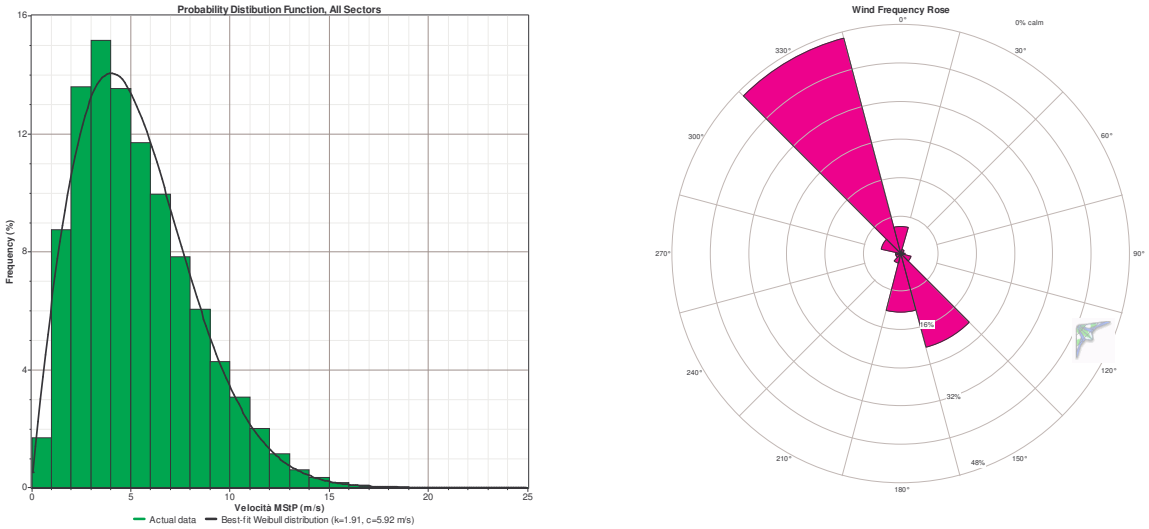


Figura 11 – Rosa dei venti e Distribuzione in frequenza delle velocità del vento, Rialto MStP 10

Ciò che si nota confrontando tali dati con quelli provenienti dall'anemometro MPE 50 è un off-set nelle direzioni che ruota la rosa dei venti di un settore.

Questo fenomeno è usuale nel confronto di rose dei venti nella stessa area ed è dovuto all'orografia che devia il flusso principale d'aria, infatti, come già osservato in precedenza, la stazione di Monte Settepani è maggiormente esposta al vento proveniente da tutte le direzioni mentre l'anemometro di Pian dei Corsi (MPE 50) è più influenzato dall'orografia che incanala il vento in direzione nord-sud.

4.3.3. Correlazioni

Per migliorare la bontà della correlazione questa è stata eseguita a partire dalla serie dell'anemometro a 10 [m] (MStP 10) estendendo la serie a 40 [m] di MPE 50, e poi la serie ottenuta è stata utilizzata per estendere la serie temporale dell'anemometro a 50 [m].

La correlazione è eseguita dividendo i record in 12 settori riferiti alla direzione della stazione da 10 [m].

Per ogni settore viene ricavato un angolo di variazione tra i record dei due anemometri, un coefficiente angolare ottenuto dal fit della dispersione con una retta passante per l'origine e il coefficiente di correlazione della dispersione.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

SEPARAZIONE SETTORI (per velocità superiori a 5 m/s)

settore (10m)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
angolo medio (40m)	-7.5	-3.6	32.4	143.8	171.9	172.4	173.2	171.8	332.1	346.4	351.7	354.1
numero punti	39	6	5	74	7471	3842	251	23	30	1093	25519	1033
media variazione angolo	-37.7	-56.2	-63.9	10.6	15.2	-1.3	-32.9	-67.2	-123.6	34.3	22.4	1.7

CARATTERISTICHE CORRELAZIONI SETTORI (per velocità superiori a 3 m/s)

coef. ang.	1.34	1.30	1.42	0.95	1.23	1.29	1.47	1.43	1.48	1.11	1.32	1.15
coef. Correlaz. R	0.26	0.13	0.09	0.22	0.70	0.66	0.45	0.07	0.26	0.52	0.81	0.59
numero punti	330	151	161	698	14519	7027	1001	458	389	2597	30861	2343
coef. Correlaz. totale	0.82											

DATI RICAVATI DALLA CORRELAZIONE

numero punti da corr.	1768	1165	1720	4547	31851	18788	3736	1768	1934	7455	74435	8720

Tabella 3 – Risultati della correlazione tra MStP 10 e MPE 50 a 40[m] s.l.s.

Come già visto i settori principali della rosa dei venti dell'anemometro MStP 10 sono il 150° e 330° evidenziati in figura 11, in entrambe i casi la variazione angolare ricavata nella correlazione è di circa 15-25°, questo riporta la rosa di MPE 50 alla sua forma originale; vedi figura 9.

In entrambe i casi i coefficienti di correlazione sono buoni, con R dell'ordine di 0.7-0.8, garantendo una buona attendibilità della correlazione.

Allo stesso modo i settori prossimi a quelli principali hanno caratteristiche simili mentre alcuni arrivano ad avere coefficienti di correlazione quasi nulli.

Questo è dovuto al basso numero di punti utilizzabili nella correlazione, non di meno va considerato che il peso statistico dei dati ottenuti nella correlazione di questi settori è trascurabile rispetto a quello dei settori principali.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

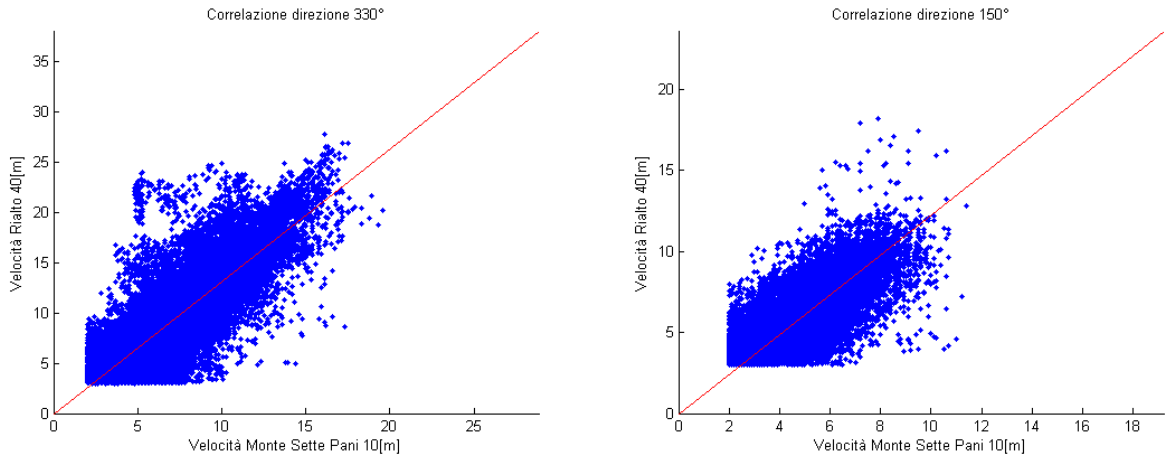


Figura 12 – Grafico della dispersione e della retta di fit della correlazione nelle direzioni 150° e 330°.

Naturalmente la serie ottenuta da tale correlazione è stata utilizzata come punto di partenza nella correlazione eseguita tra l'anemometro a 40 [m] di MPE 50 e l'anemometro a 50 [m] della stessa stazione.

La correlazione tra i dati della stazione MPE 50 a 40 [m] e 50 [m] è molto buona, come ci si poteva aspettare, i coefficienti sono molto prossimi a 1.

SEPARAZIONE SETTORI (per velocità superiori a 5 m/s)

settore (40m)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
angolo medio (50m)	6.87	57.31	96.96	127.17	156.85	176.57	200.83	239.01	343.25	307.43	338.23	351.19
numero punti	21	19	33	277	2639	10560	127	2	16	24	2583	24224
media variazione angolo	-18.75	-4.22	3.05	2.47	0.57	-0.11	1.29	-0.45	76.20	-0.69	-2.35	-1.81

CARATTERISTICHE CORRELAZIONI SETTORI (per velocità superiori a 3 m/s)

coef. ang.	1.033	1.017	1.053	1.017	1.023	1.024	1.012	1.046	1.083	1.091	1.044	1.020
coef. Correlaz. R	0.996	0.985	0.943	0.969	0.991	0.996	0.991	0.991	0.999	0.984	0.998	0.998
numero punti	133	209	300	888	4979	16626	876	12	33	93	2973	29029
coef. Correlaz. totale	0.998											

DATI RICAVATI DALLA CORRELAZIONE

numero punti da corr.	5924	1014	1003	3990	23987	76345	9088	971	498	695	22652	138228

Tabella 4 – Risultati della correlazione tra le serie a 40[m] e 50[m] MPE 50 di Rialto.

Inoltre osservando i coefficienti angolari nei vari settori si nota che sono molto simili fra loro, questo porta a considerare quest'ultima correlazione poco influente.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

I dati ottenuti dalla correlazione raggiungono un periodo di sette anni con un errore dovuto alla correlazione non molto alto elevato, infatti il passaggio da 40 [m] a 60 [m] qui sopra riportato ha una correlazione molto buona R^2=0.99, mentre la correlazione tra l'anemometro MStP 10 e il 40 [m] di MPE 50 ha un R^2=0.82, anch'esso decisamente buono.

4.3.4. Analisi dei dati ottenuti dalla correlazione

I dati così ottenuti hanno una buona copertura della serie temporale raggiungendo un periodo di sette anni con il 92% di dati attendibili.

Confrontando le rose dei venti di questa serie temporale (Figura 13) con quelle della serie ricavata direttamente dalla campagna anemologica (Figura 9) si nota che la frequenza nelle direzioni è coerente mantenendo rose pressoché identiche, considerando il fatto che hanno diverso numero di settori.

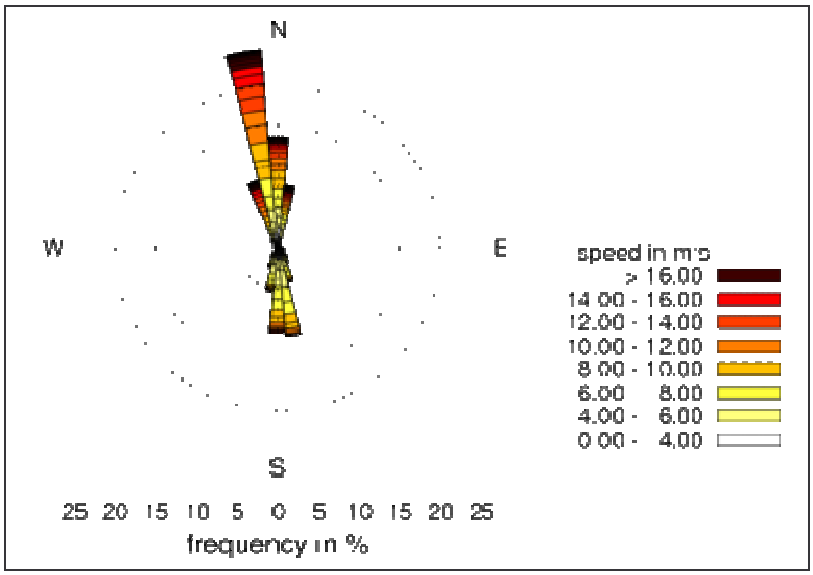


Figura 13 – Rose dei venti a 36 settori, valori a ottenuti dalla correlazione 50[m]

Osservando le velocità medie è interessante notare come quasi tutta l'energia disponibile nel sito in studio deriva dal vento proveniente da nord.

Questa caratteristica è di grande interesse nel definire un layout adatto al sito.

Andando a considerare la distribuzione di frequenza delle velocità del vento ottenute dalla correlazione si osserva che le caratteristiche principali risultano pressoché identiche a quelle dalle serie sperimentale.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

In entrambe i casi la curva di Weibull descrive bene la dispersione e si un picco intorno ai 5[m/s] , inoltre le costanti che definiscono la forma delle due Weibull risultano discostarsi di pochi punti decimali.

Tutte queste osservazioni permettono di considerare la serie derivata dalla correlazione molto attendibile.

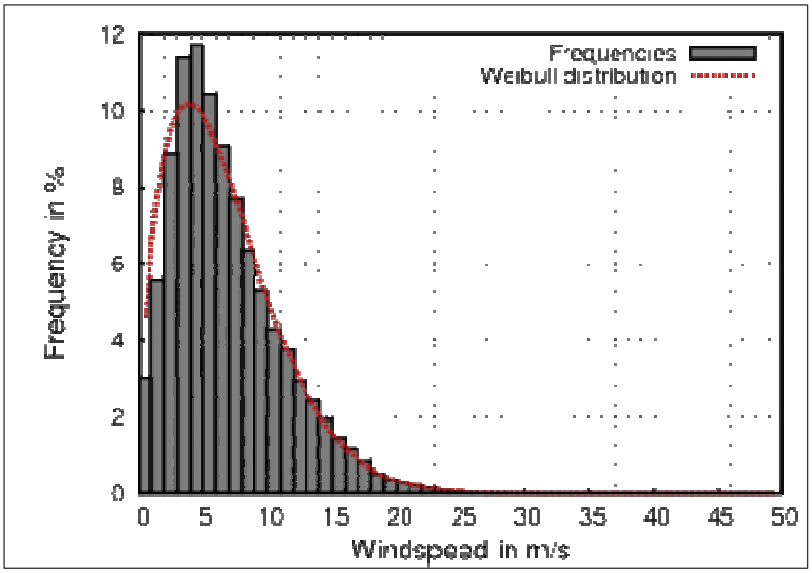


Figura 14 – Distribuzione di frequenza a 50 [m] ottenuta dalla correlazione

4.4 Modello digitale del Terreno

Il sito eolico di Rialto si estende in lunghezza su un crinale per circa 3 [Km], la presenza di un parco eolico composto da 3 aerogeneratori di proprietà Marcopolo Engineering S.p.a. rende maggiormente facile lo studio dell'area, poiché si possiedono dati reali di produzione dell'aerea, inoltre il parco oggetto del presente studio ha posizioni molto prossime a quello dell'altro impianto già installato.

L'orografia dell'area oggetto di studio è piuttosto complessa; nel calcolo della ventosità, con il software Windsim, il modello del terreno ottenuto è stato ottimizzato utilizzando 36 invece di 12 settori, questo approccio ha reso necessario l'utilizzo di un modello con **Refinement**, cioè in cui l'area interessata dal parco ha un intervallo spaziale più preciso mentre l'area esterna ha un reticolo sempre meno raffinato.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

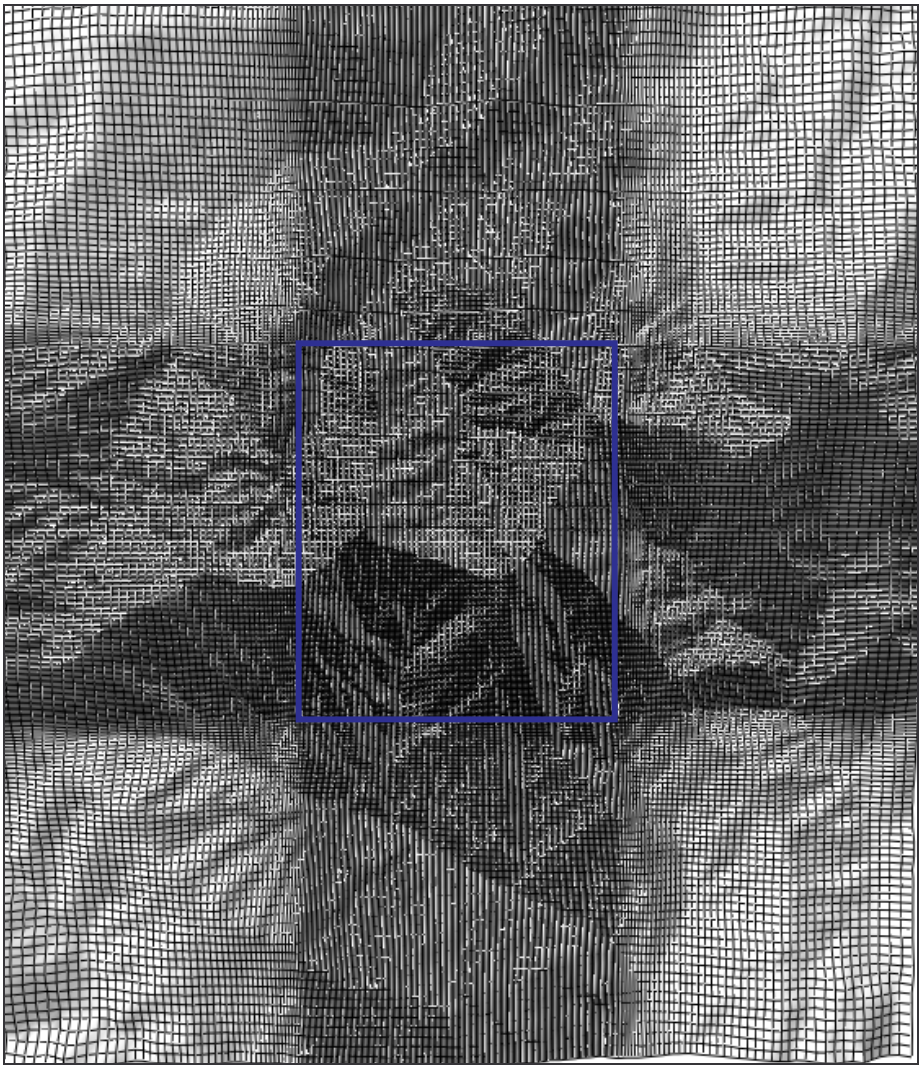


Figura 15 –Immagine del reticolo realizzato in Windsim con la tecnica Refinement.

Il modello digitale del terreno interessa un'area di 9,6 x 11,14 [km] in cui è inserita un'area di 3,2 x 3,7 [km] discretizzata con maggior precisione.
L'area interna è descritta da un reticolo con celle di 23,3 x 23,3 [m], mentre il reticolo esterno ha celle di dimensioni variabili.

Il calcolo iterativo delle equazioni di Navier – Stokes, per il calcolo del flusso del vento sul terreno, ha portato a soluzioni convergenti su tutti e 36 i settori di direzione con valori residui nulli, garantendo la correttezza della soluzione aerodinamica ottenuta.

È stato utile utilizzare un elevato numero di settori poiché la rosa dei venti dell'area ha come direzioni principali nord e sud, in queste direzioni l'orografia rende piuttosto complesso lo studio della vena fluida, mentre andando a spezzare i settori in sottosettori si

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

ha una maggior precisione direzionale e si comprendono maggiormente le conseguenze dell'orografia sulla ventosità.

La rugosità del terreno è un aspetto importante ed influente sul profilo dei venti di bassa quota interessati dallo studio anemologico di un impianto eolico. Per tale motivo, a valle dei sopralluoghi effettuati in loco e dall'esame delle immagini in ortofoto dell'area, si è realizzata una mappa di rugosità.

I valori di rugosità dell'area vanno da 0,4 a 1 [m], si tratta di un'area molto boscosa infatti la rugosità è in quasi tutta l'area circa 0,8 [m] si veda Figura 18.

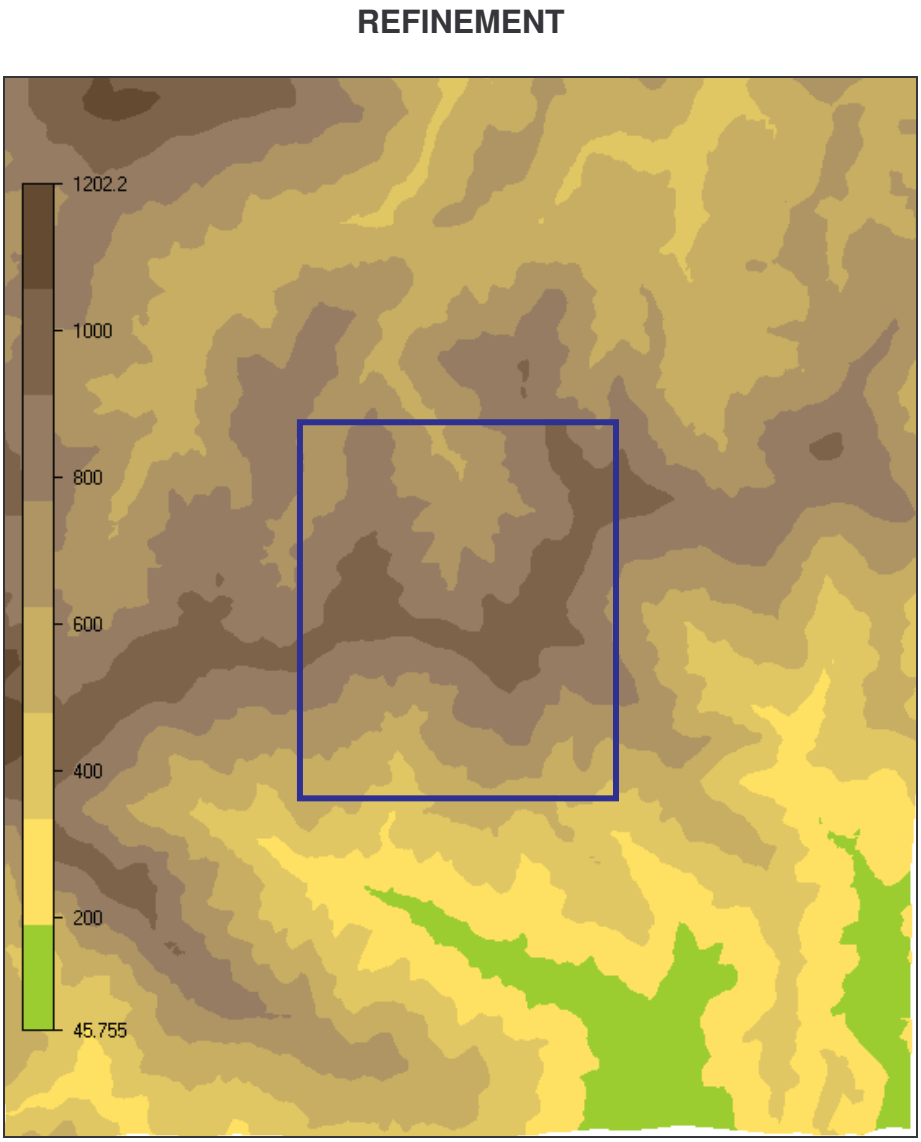


Figura 16 - Rappresentazione grafica della porzioni studiate nel modello descritto, l'area riquadrata in blu è l'area di Refinement.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

Nella seguente immagine, è rappresentato il modello digitale del terreno, in 3D, insieme alla localizzazione del sito del progetto, si noti la presenza delle pale già installate denominate WTG 01, WTG 02 e WTG 03, mentre quelle oggetto del presente studio sono le WTG 04, WTG 05 e WTG 06.

Di seguito si riporta la mappa di rugosità realizzata come input per il calcolo del flusso del vento.

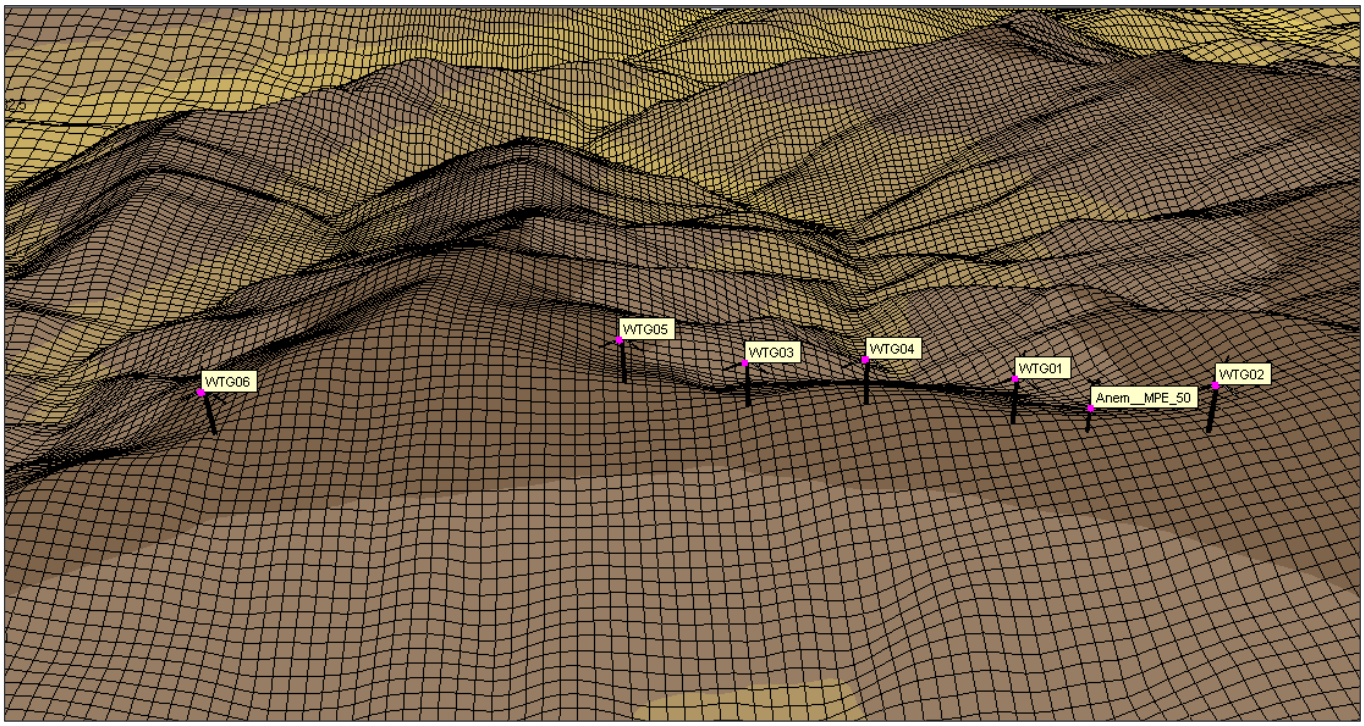


Figura 17 – Modello digitale del terreno, con visualizzate le celle, prospettiva da sud

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

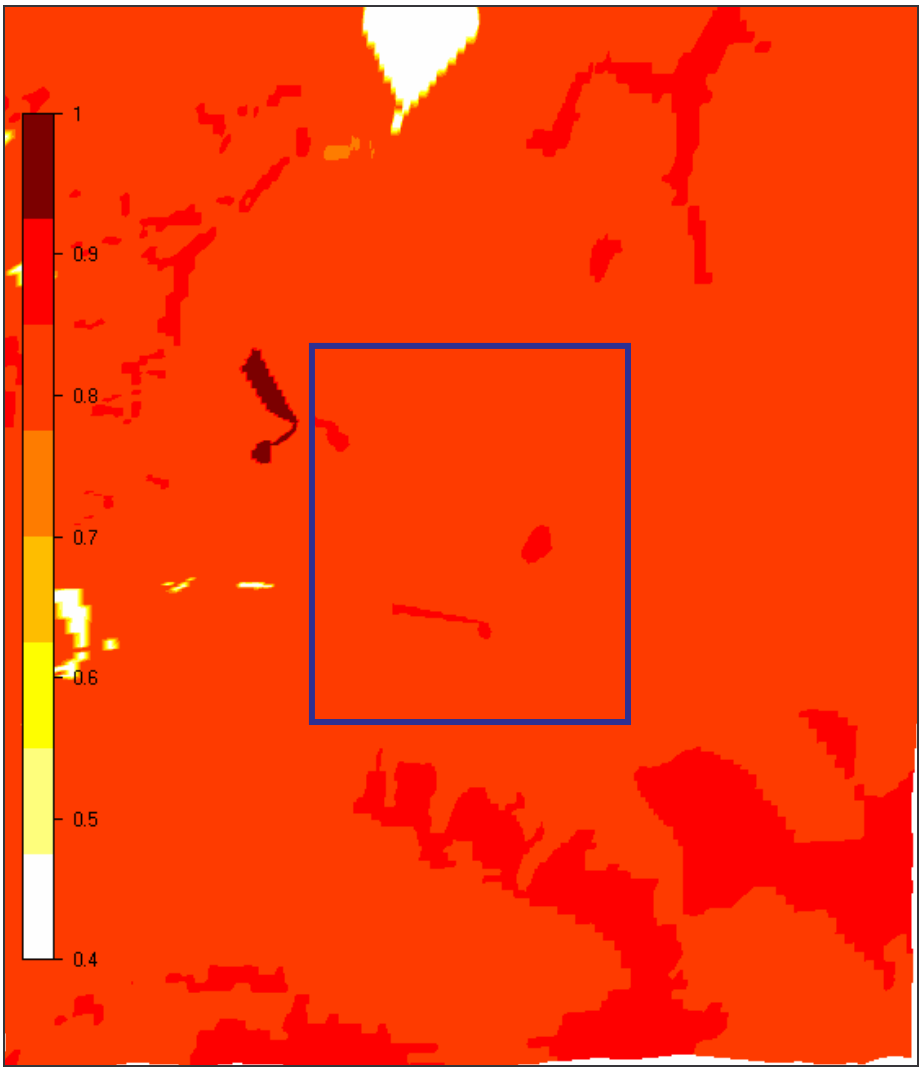


Figura 18 – Mappa di rugosità dell'area utilizzata in input per la realizzazione del modello digitale del terreno con Windsim, segnata l'area di Refinement come in Figura 8.

4.5 Layout di progetto del Parco Eolico

Il progetto del Parco Eolico Rialto 2, in Località Pian dei Corsi, prevede un layout definitivo di progetto formato da 3 aerogeneratori, che va ad aggiungersi al già presente layout a 3 turbine.

Per realizzare il layout definitivo si è utilizzata la stessa tipologia di aerogeneratore già installato, poiché questo rende sicuramente più armonioso l'impatto visivo del parco eolico.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

- Potenza nominale, 800 ÷ 850 [kW]
- Altezza torre, fino a 65 [m]
- Diametro rotore, fino a 58 [m]

La scelta di queste caratteristiche deriva principalmente da diversi fattori:

- Facilità di trasporto (Viabilità di accesso)
- Massimizzazione della Produzione Specifica

Dovendo rispettare questi vincoli, pur mantenendo l'obiettivo di massimizzare la producibilità, la scelta fra i modelli di aerogeneratori disponibili sul mercato, e inseriti nelle simulazioni con il software Windsim, è stata fatta fra i seguenti tipi:

ENERCON E53 da 800 [kW], con altezza torre 60 [m], diametro rotore 53 [m]
ENERCON E48 da 800 [kW], con altezza torre 60 [m], diametro rotore 48 [m]

VESTAS V52 da 850 [kW], con altezza torre 65 [m], diametro rotore 52 [m]

GAMESA G58 da 850 [kW], con altezza torre 65 [m], diametro rotore 58 [m]

Il numero di aerogeneratori del layout di progetto e la loro posizione sono stati definiti in base alle seguenti considerazioni:

- Direzione dei venti prevalenti della zona
- Morfologia e vincoli geologici del territorio
- Disponibilità dei terreni
- Appartenenza alle aree considerate idonee alle installazioni eoliche dal Comune
- Accessibilità
- Tipologia e dimensioni degli aerogeneratori da installare

Le coordinate esatte degli aerogeneratori nel layout sono state individuate sulla cartografia CTR e nell'elaborato relativo è rappresentato un estratto dell'area del sito.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

I possibili layout sono stati realizzati nel rispetto dei vincoli suddetti (come si può vedere dalle tavole di progetto allegato al progetto) e della mappa della risorsa eolica (mappe isovento). L'area dell'impianto è risultata essere in generale molto ventosa.

Lo studio effettuato sul territorio e le successive elaborazioni hanno portato alla definizione di diverse possibili configurazioni; tali configurazioni sono state verificate in base alla disponibilità dei terreni e soprattutto al fine di ottimizzare la produzione energetica del parco eolico e di minimizzazione le perdite di scia, tutto ciò nel rispetto dei vincoli precedentemente illustrati.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

5. Risultati dello studio

5.1. Risorsa eolica dell'area

La risorsa eolica disponibile nel sito di Rialto, in località Pian dei Corsi, è stata studiata elaborando i seguenti dati con il software WindSim:

- Dati vento rilevati dalla stazione anemometrica MPE 50 in prossimità del sito
- Caratteristiche del terreno, quota e mappa di rugosità dell'area, densità media dell'aria ottenuta dalle misure di temperatura in prossimità del sito

L'analisi tiene conto dei dati di vento misurati in sito tra l'11 aprile 2007 e il 31 maggio 2011 dall'anemometro MPE 50 e correlati con i dati della stazione meteorologica di Monte Settepani, come descritto nel capitolo precedente. La seguente figura illustra la mappa di ventosità dell'area a 60 [m] di altezza e riporta la posizione degli aerogeneratori nel layout definitivo.

Si noti che la figura descrive in modo diverso aerogeneratori installati, da installare e anemometro; i tetraedri pieni descrivono gli aerogeneratori del nuovo layout, i tetraedri vuoti gli aerogeneratori già installati e il cono rappresenta la posizione dell'anemometro.

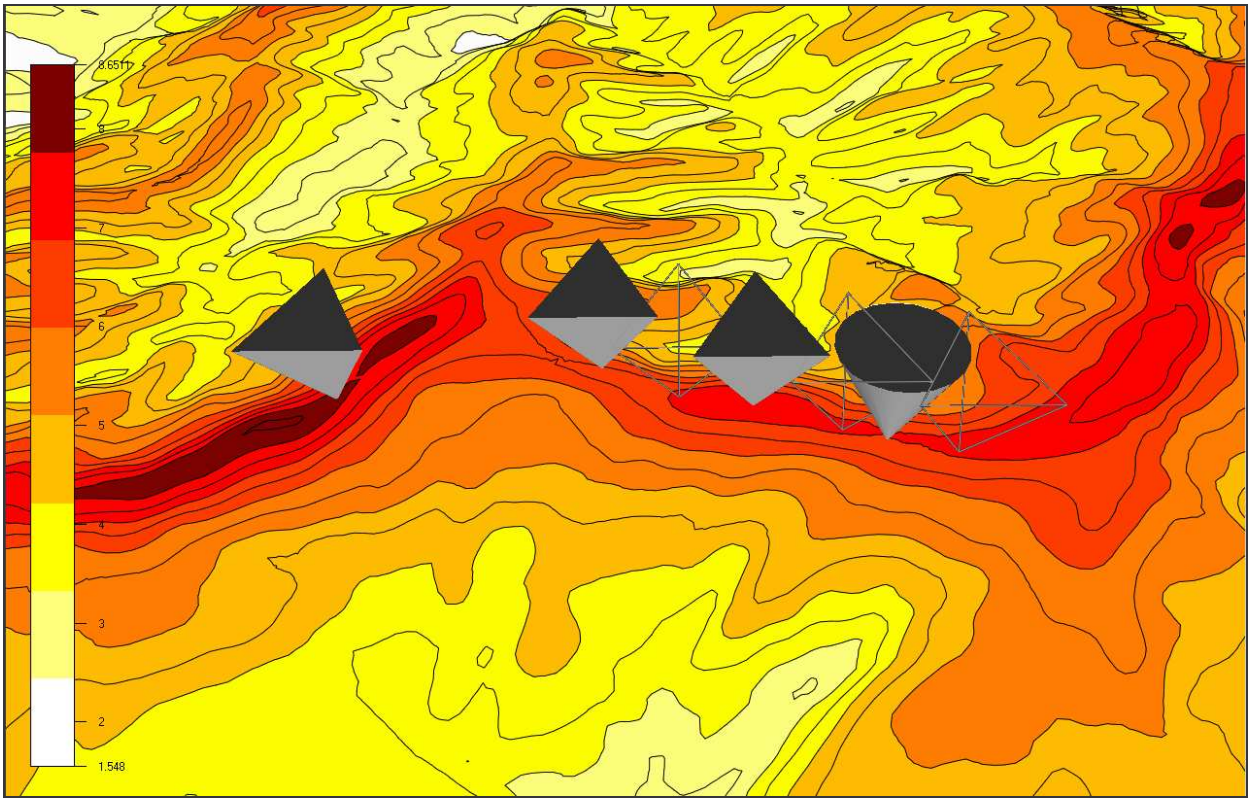


Figura 19 – Mappe isovento a 60 [m] di altezza, software Windsim

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

Gli aerogeneratori sono posizionati nelle aree maggiormente ventose, e tutti insistono su un'area in cui la velocità media bidimensionale del vento, a 60 [m] di quota, si aggira attorno ai 6.5 – 8 [m/s].

5.2. Analisi aerodinamica

Di seguito si riporta un'analisi delle caratteristiche aerodinamiche del sito, per evidenziare il comportamento di importanti fattori che potrebbero anche portare a gravi sollecitazioni degli aerogeneratori.

L'analisi è stata condotta per le direzioni di vento prevalenti nel sito, si veda la rosa dei venti a 36 settori descritta nell'Immagine 13, cioè:

- "nord", compreso tra 345° e 355°
- "sud", compreso tra 165° e 175°

Il sito è caratterizzato da un'orografia piuttosto complessa e quindi è opportuno valutarne il comportamento delle principali caratteristiche aerodinamiche lungo i profili verticali.

Sono state analizzate le seguenti variabili, relativamente alla posizione di ciascun aerogeneratore:

- Profilo verticale della velocità media nel piano orizzontale
- Profilo verticale della componente di velocità verticale
- Profilo verticale del "wind-shear" o gradiente verticale della velocità del vento
- Profilo verticale dei livelli di intensità turbolenta

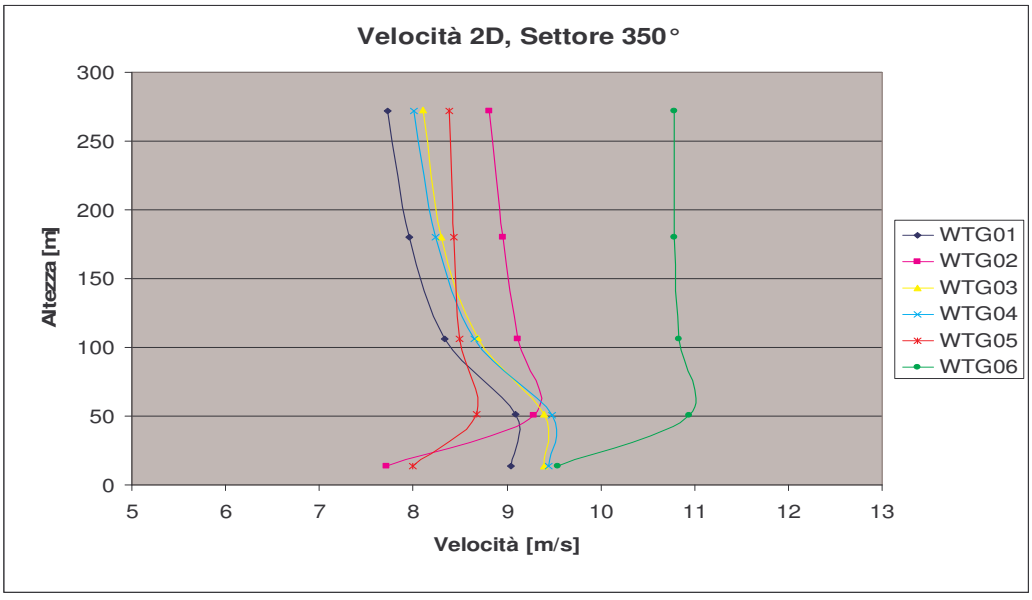


Figura 20 – Variazione della velocità media nel piano orizzontale in funzione della quota, settore 350°

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

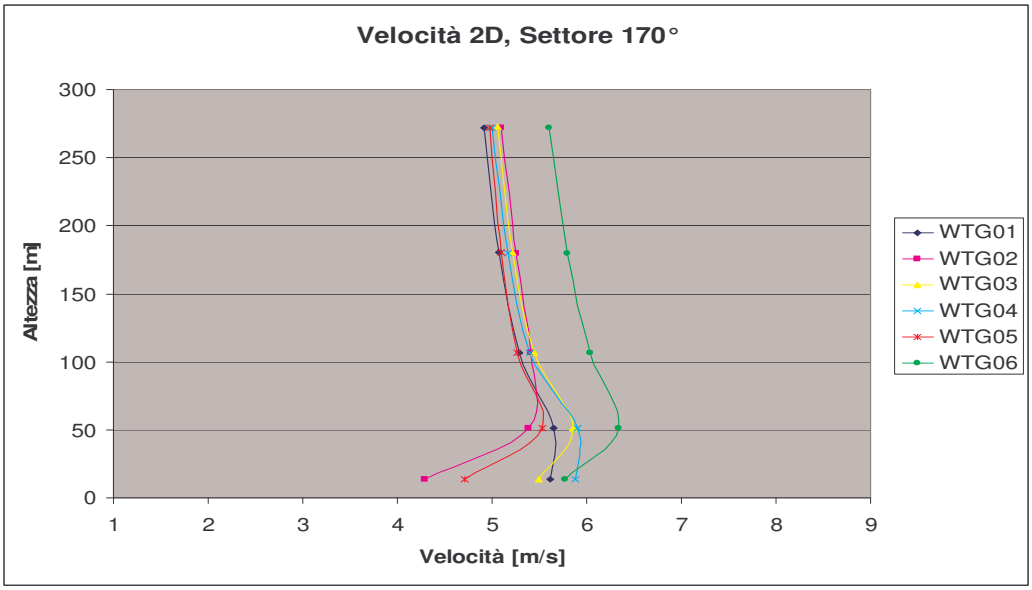


Figura 21 – Variazione della velocità media nel piano orizzontale in funzione della quota, settore 170°

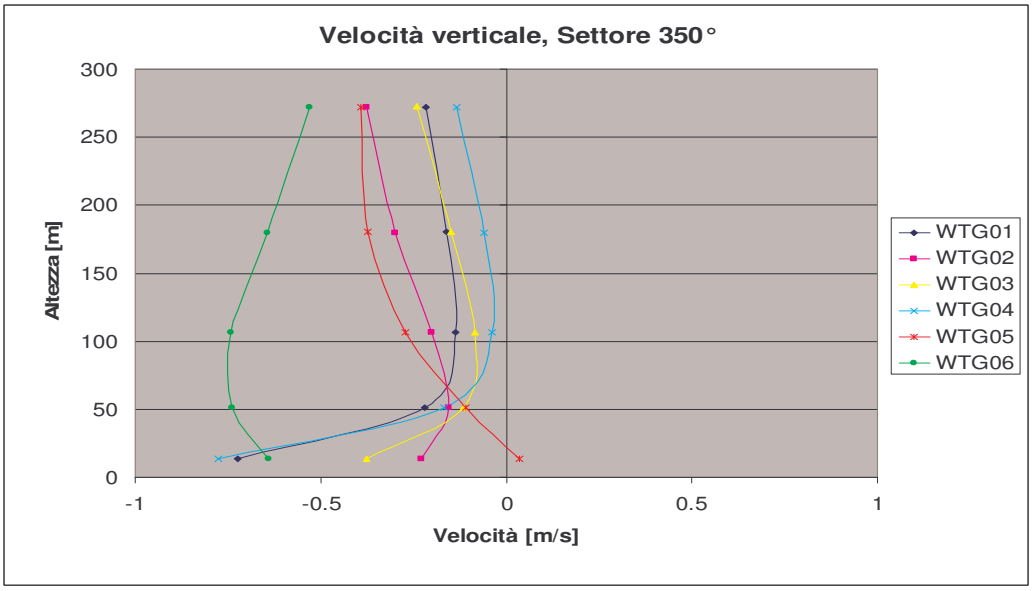


Figura 22 – Velocità verticale in funzione della quota, direzione del vento da 350°

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

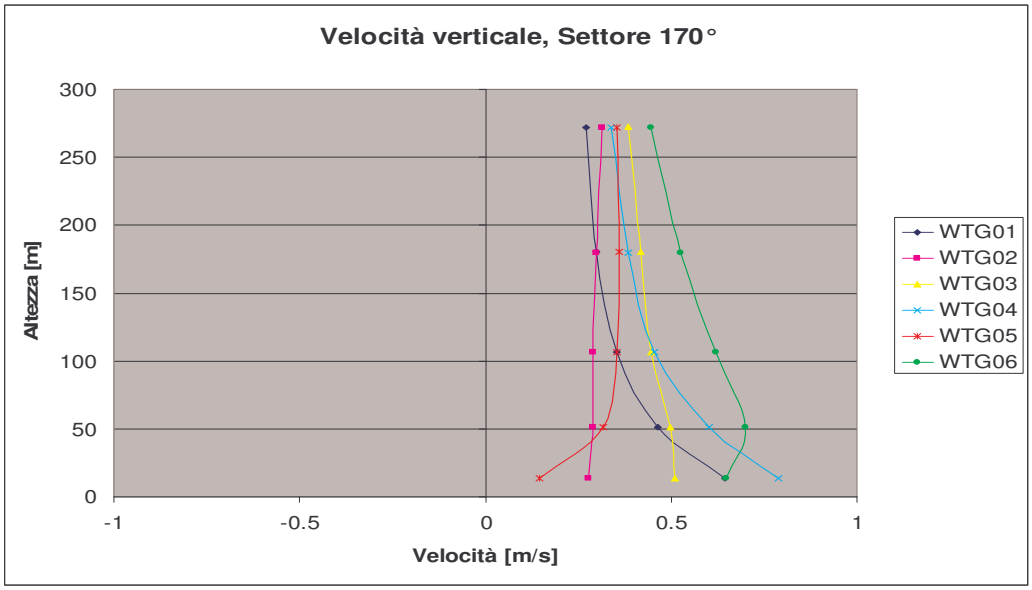


Figura 23 – Velocità verticale in funzione della quota, direzione del vento da 170°

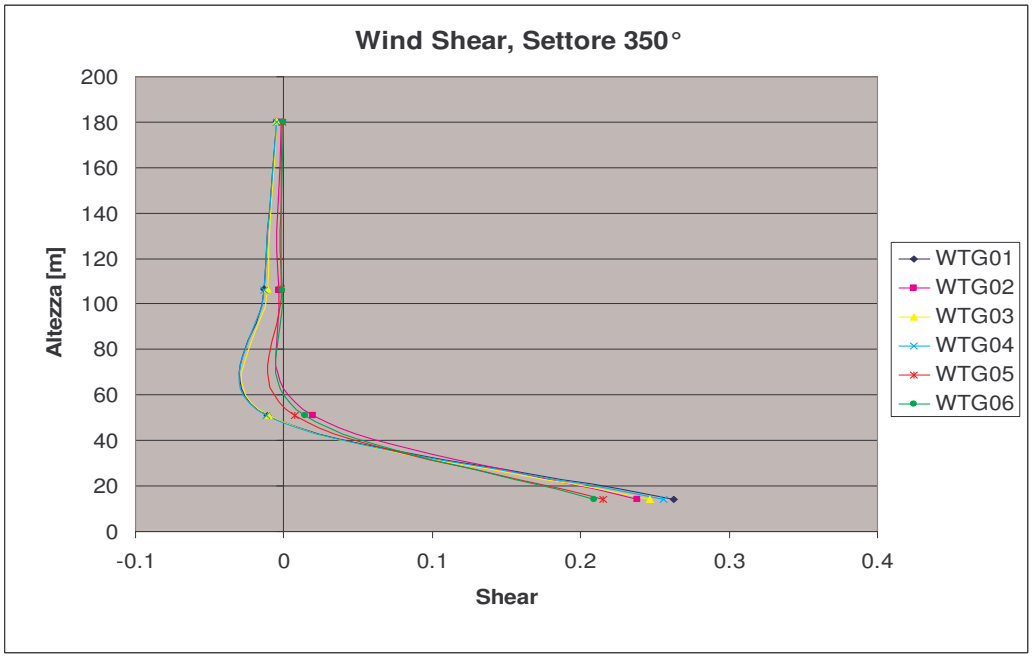


Figura 24 – Profilo verticale del "wind-shear" o gradiente verticale della velocità del vento, direzione del vento da 350°

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

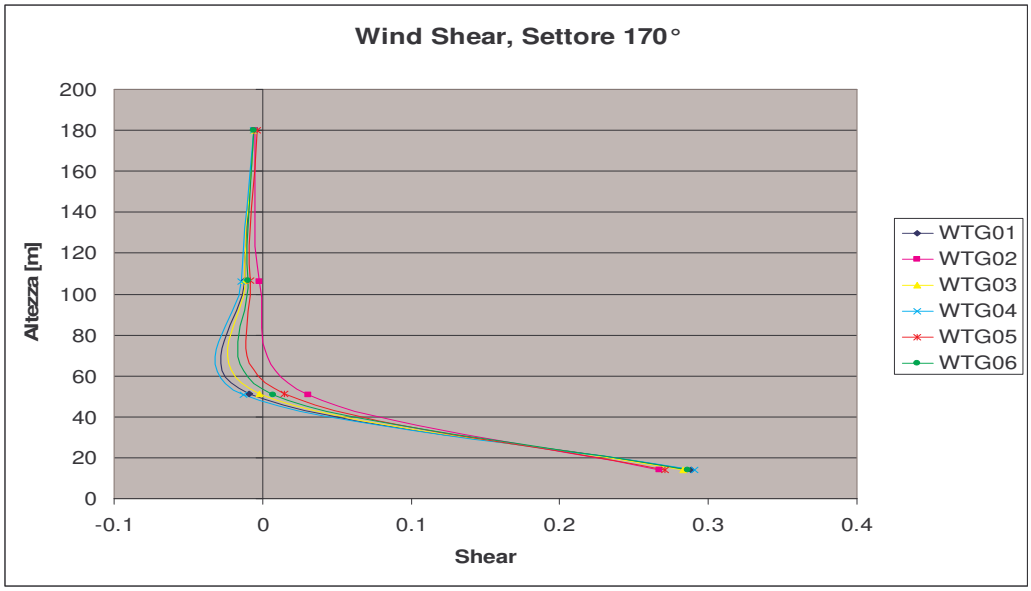


Figura 25 – Profilo verticale del "wind-shear" o gradiente verticale della velocità del vento, direzione del vento da 170°

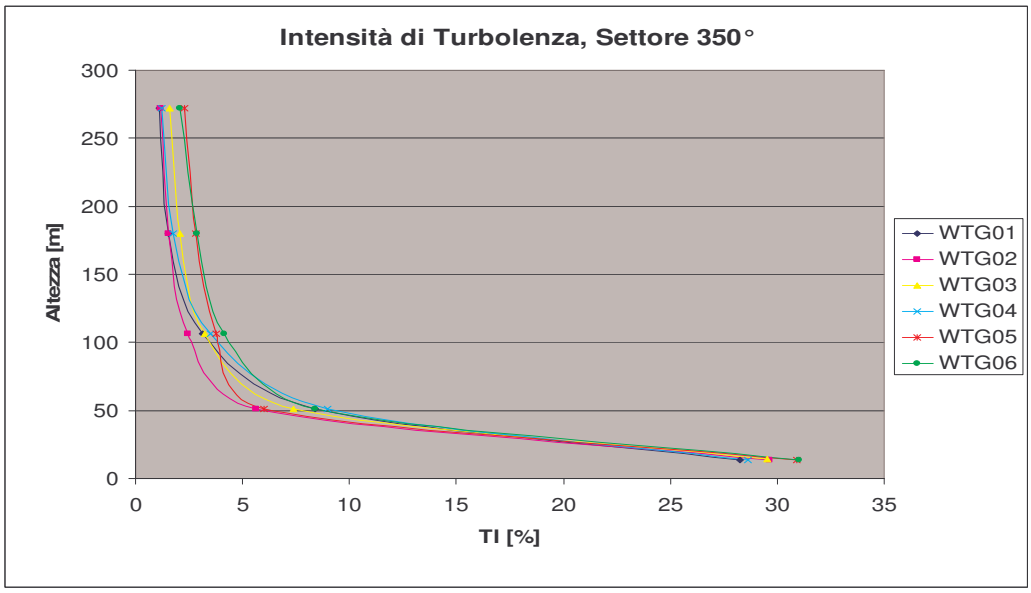


Figura 26 – Profilo verticale dei livelli di intensità turbolenta, direzione vento da 350°

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

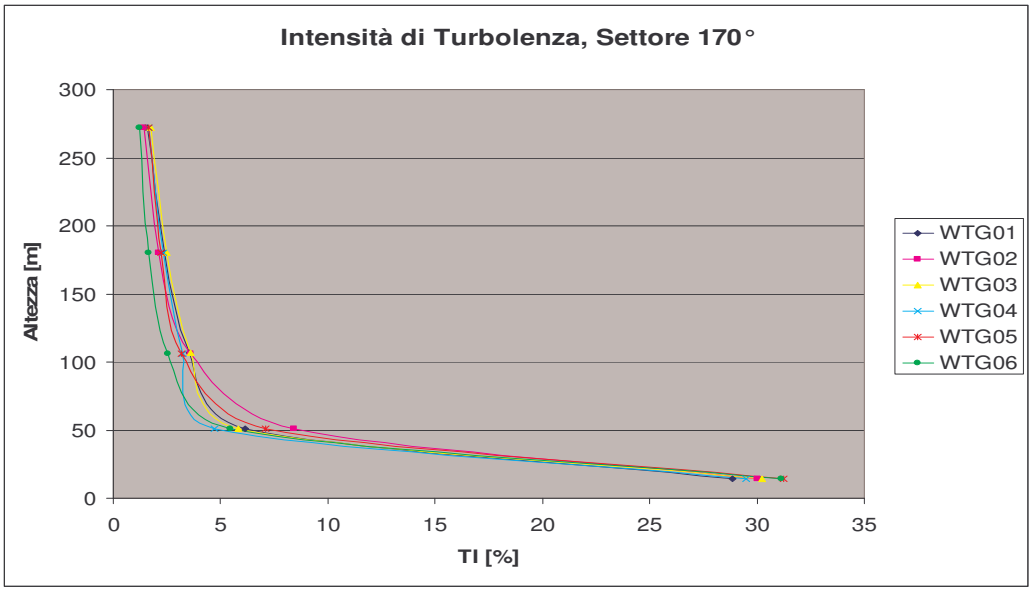


Figura 27 – Profilo verticale dei livelli di intensità turbolenta, direzione vento da 170°

I dati riportati nelle figure precedenti sono il risultato delle elaborazioni del software WindSim e tradotti in forma grafica mediante il software Excel.

Tali dati sono disponibili per tutti i settori, ma sono stati riportati solamente i settori corrispondenti alle direzioni prevalenti del vento.

Si osserva che:

- il profilo verticale di velocità ha una forma particolare, in entrambe i settori il massimo di velocità si ha ad un'altezza di 50-60 [m]. Questo fenomeno è dovuto allo speed-up, l'orografia agisce con effetto imbuto che incrementa la velocità della vena fluida
- nel settore 350° le velocità orizzontali medie all'altezza di 60 [m] vanno all'incirca da 8.5 [m/s] ai 11 [m/s] per quel che riguarda le WTG in studio (04,05 e 06)
- nel settore 170° le velocità orizzontali medie all'altezza di 60 [m] vanno all'incirca da 5.5 [m/s] ai 6.5 [m/s] per quel che riguarda le WTG in studio (04,05 e 06)
- i profili verticali per le diverse WTG hanno caratteristiche simili se queste si trovano in posizioni simili vedi le 03, 04 e 01, che si trovano al centro della cresta est
- inoltre è particolare la condizione della WTG 06, questa si trova nella cresta ovest che ha un orografia differente e ne influenzata soprattutto nel settore 350°. Tutto ciò caratteristica porta ad avere velocità molto elevate, in seguito verrà considerata una

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

sovrastima delle velocità nella posizione WTG06 dovuta alla distanza e alle diverse caratteristiche orografiche tra questa e l'anemometro.

- le velocità verticali alle altezze utili per il mozzo dell'aerogeneratore sono trascurabili, arrivano a circa 0.7 [m/s] in entrambe i settori principali.
- per tutti gli aerogeneratori si ha un profilo di wind shear che passa a valori negativi con valore minimo a 60 [m] di altezza, questo sottolinea la presenza di speed-up orografico nel sito in studio.
- l'intensità di turbolenza ha un profilo uniforme in per tutti gli aerogeneratori, a 60 [m] di altezza si hanno valori al di sotto del 9% in entrambe i settori, questo garantisce valori di turbolenza bassi per tutti gli aerogeneratori.

Tutte le variabili aerodinamiche prese in considerazione hanno andamenti nella norma e non si rilevano particolari problematiche all'installazione di qualsiasi aerogeneratore.

La definizione esatta della classe vento del sito sarà però oggetto di una successiva analisi coerentemente con quanto specificato nella Normativa IEC 61400-12-1.

5.3. Risultati di produzione

Di seguito, si riportano i risultati del calcolo della produzione del parco eolico, secondo il layout definitivo, per tutti i modelli di macchine applicabili.
Sono state fatte le seguenti assunzioni:

- Per il calcolo della produzione, si sono prese in considerazione le curve di potenza, certificate dal produttore.
- Per la stima della densità dell'aria, disponendo di misure valide di temperatura sul sito, si è tenuto conto della quota media del sito, pari a circa 950 [m], e dell'altezza hub degli aerogeneratori tra 60 e 65 [m]. Si è misurata su un periodo di 2 anni un valore di Temperatura Media di **9 [°C]**
- Il calcolo ha determinato un valore medio di densità dell'aria in sito, nel corso dell'anno di **1,11 [kg/m^3]**
- I dati di produzione sono integrati con le perdite di scia, calcolate con l'ausilio del software WindSim

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

- I dati vento considerati sono quelli risultanti dalla correlazione (paragrafi 3.3.3 e 3.3.4) ottenendo un che va dal 1 giugno 2004 al 31 maggio 2011, per un totale di **7 anni**
- Il modello digitale del terreno è quello di cui al paragrafo 4.4

Le perdite tecniche generali, considerate in aggiunta alle perdite per scia, sono state così calcolate:

→ **Perdita per disponibilità delle macchine:**

3% - dato coerente con le prestazioni delle moderne Wind Farm già operative. È un dato legato alla garanzia rilasciata dal singolo fornitore per siti non eccessivamente complessi e/o particolarmente isolati

→ **Perdite elettriche:**

2,8% - valore di massima delle perdite dovute ai sistemi elettrici, incide molto poiché a progetto vi è un lungo tratto di cavidotto

→ **Degrado delle pale:**

1% - la produzione delle turbine può essere influenzata da diversi fattori di usura (es.: stratificazione di insetti, sporco sulle pale e sfogliamento delle pale dovuto al loro naturale degrado). Questi fenomeni, col tempo, vanno a variare il profilo aerodinamico delle pale e le prestazioni della turbina.

→ **Manutenzione della Sottostazione:**

0,2% - descrive l'impossibilità di consegnare l'energia prodotta in rete per fuori servizio della sottostazione. Usualmente si considera equivalente ad un giorno di manutenzione ordinaria all'anno.

→ **Ghiaccio:**

1% - Visto il clima rigido dell'area, la produzione dell'impianto verrà molto probabilmente bloccata per alcuni periodi a causa della formazione di ghiaccio sulle pale.

Si arriva così ad un totale del 8% di perdite generali oltre alle perdite per scia.

Considerando la dimensione dell'area disponibile, nel rispetto dei vincoli, si è partiti da un layout di 3 aerogeneratori installati e funzionanti; sono state aggiunte altre 3 macchine facendo caso alle interferenze reciproche tra gli aerogeneratori.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

Di seguito sono riportate le tabelle con le produzioni stimate per l'impianto in studio: specchietto riassuntivo col confronto delle diverse macchine e stima di produzione dei singoli aerogeneratori.

N°	Modello	Potenza [MW]	Rotore [m]	Hub [m]	AEP scia [MWh/Anno]	AEP P50 [MWh/Anno]	Heq P50
3	Enercon E53	810	53	60	7339	6619	2724
3	Enercon E48	810	48	60	6706	6047	2489
3	Vestas V52	850	52	65	6463	5827	2285
3	Gamesa G58	850	58	65	7731	6973	2734

Tabella 5 – Risultati produzione con differenti modelli di aerogeneratori

Aerogeneratore	X	Y
WTG_01	1441560	4899474
WTG_02	1441816	4899389
WTG_03	1441174	4899592
WTG_04	1441352	4899544
WTG_05	1440981	4899686
WTG_06	1440332	4899576

Tabella 6 – Posizioni delle turbine nel layout definitivo in coordinate Gauss Boaga, sono evidenziate le posizioni del parco Rialto 2 rispetto a quelle già installate

5.3.1. Modelli di aerogeneratori testati

Dal modello testato con generatori **ENERCON E53**, con le seguenti caratteristiche:

- Diametro del rotore: **53 [m]**
- Altezza di torre (hub): **60 [m]**
- Potenza massima di ciascun aerogeneratore: **810 [kW]**

Si ricava la tabella di produzione:

Aerogeneratore E53	AEP lorda [MWh/Anno]	AEP scia [MWh/Anno]	Scia	AEP P50 [MWh/Anno]	Ore equivalenti P50 [h]
WTG_01	2414.1	2413.8	0.01%	2220.7	2742
WTG_02	2323.1	2323.1	0.00%	2137.3	2639
WTG_03	2447.6	2447.3	0.01%	2251.5	2780
WTG_04	2516.3	2515.9	0.02%	2314.6	2858
WTG_05	2167.9	2167.7	0.01%	1994.3	2462
WTG_06	2655	2655	0.00%	2309.9	2852
Impianto:			0.01%	6618.8	2724

Tabella 7 – Risultati di produzione con l'aerogeneratore ENERCON E53 - Hub 60 [m]

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

Dal modello testato con generatori **ENERCON E48**, con le seguenti caratteristiche:

- Diametro del rotore: **48 [m]**
- Altezza di torre (hub): **60 [m]**
- Potenza massima di ciascun aerogeneratore: **810 [kW]**

Si ricava la tabella di produzione:

Aerogeneratori E53 e E48	AEP lorda [MWh/Anno]	AEP scia [MWh/Anno]	Scia	AEP P50 [MWh/Anno]	Ore equivalenti P50 [h]
WTG_01	2414.1	2413.8	0.01%	2220.7	2742
WTG_02	2323.1	2323.1	0.00%	2137.3	2639
WTG_03	2447.6	2447.3	0.01%	2251.5	2780
WTG_04	2299.2	2298.9	0.01%	2115.0	2611
WTG_05	1959	1958.8	0.01%	1802.1	2225
WTG_06	2448.4	2448.4	0.00%	2130.1	2630
Impianto:			0.01%	6047.2	2489

Tabella 8 – Risultati di produzione con l'aerogeneratore ENERCON E48- Hub 60 [m]

Dal modello testato con generatori **VESTAS V52**, con le seguenti caratteristiche:

- Diametro del rotore: **52 [m]**
- Altezza di torre (hub): **65 [m]**
- Potenza massima di ciascun aerogeneratore: **850 [kW]**

Si ricava la tabella di produzione:

Aerogeneratori E53 e V52	AEP lorda [MWh/Anno]	AEP scia [MWh/Anno]	Scia	AEP P50 [MWh/Anno]	Ore equivalenti P50 [h]
WTG_01	2414.1	2413.8	0.01%	2220.7	2742
WTG_02	2323.1	2323.1	0.00%	2137.3	2639
WTG_03	2447.6	2447.3	0.01%	2251.5	2780
WTG_04	2206.1	2205.8	0.01%	2029.3	2387
WTG_05	1879	1878.7	0.02%	1728.4	2033
WTG_06	2378.4	2378.4	0.00%	2069.2	2434
Impianto:			0.01%	5826.9	2285

Tabella 9 – Risultati di produzione con l'aerogeneratore VESTAS V52 - Hub 65 [m]

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

Dal modello testato con generatori **GAMESA G58**, con le seguenti caratteristiche:

- Diametro del rotore: **58 [m]**
- Altezza di torre (hub): **65 [m]**
- Potenza massima di ciascun aerogeneratore: **850 [kW]**

Si ricava la tabella di produzione:

Aerogeneratori E53 e G58	AEP lorda [MWh/Anno]	AEP scia [MWh/Anno]	Scia	AEP P50 [MWh/Anno]	Ore equivalenti P50 [h]
WTG_01	2414.1	2413.8	0.01%	2220.7	2742
WTG_02	2323.1	2323.1	0.00%	2137.3	2639
WTG_03	2447.6	2447.3	0.01%	2251.5	2780
WTG_04	2643.9	2643.5	0.02%	2432.0	2861
WTG_05	2300.1	2299.8	0.01%	2115.8	2489
WTG_06	2787.3	2787.3	0.00%	2425.0	2853
Impianto:			0.01%	6972.8	2734

Tabella 10 – Risultati di produzione con l'aerogeneratore GAMESA G58 - Hub 65 [m]

5.3.2. Risultati delle simulazioni

Dai risultati ottenuti, i migliori modelli risulta essere le turbine Enercon E53 con 60 [m] di hub e le Gamesa G58 con 65 [m] di hub, in entrambe i casi si prevedono circa 2730 ore equivalenti all'anno al P50.

Le perdite per scia sono decisamente trascurabili e le posizioni scelte per il layout del nuovo impianto non influiscono sugli aerogeneratori già installati.

La produzione energetica è decisamente buona, questo sottolinea il fatto che il sito è a macchine con le caratteristiche scelte.

Il presente studio prosegue quindi nell'analisi dell'incertezza in modo da ottenere la previsione statistica del P90.

Il calcolo verrà eseguito utilizzando le Enercon E53 poiché sono molto performanti e sono quelle che più probabilmente verranno installate, in quanto dello stesso modello di quelle scelte per il Parco Eolico di Rialto già in esercizio.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

5.4. Analisi dell'errore e P90

Nel capitolo 5.3 sono state considerate descritte nel dettaglio le cause delle perdite tecniche, il calcolo descritto porta a **perdite tecniche** previste dell' **8%**.

Questo valore ha portato, nel caso di aerogeneratori Enercon E53, ai risultati presenti in Tabelle 7.

Per ottenere P90 e P75 è necessario analizzare l'intero calcolo della produzione definendo le possibili fonti di errore e associandogli le incertezze che generano.

La prima fonte d'incertezza è sicuramente l'acquisizione dei dati vento, la seguente tabella riassume le incertezze legate alla calibrazione, al tipo di anemometri, al montaggio degli stessi e al tipo di struttura utilizzata:

Misura del vento	
Calibrazione	2.00%
Anemometri	1.00%
Montaggio	1.00%
Stazione anemometrica	1.50%
Totale	2.87%

Tabella 11 – Incertezze legate alla misura del vento

Quest'incertezza va unita alle incertezze dovute all'analisi e all'elaborazione dei dati.

Elaborazioni Dati	
Misura del vento	2.87%
Filtraggio	1.50%
Periodo di misura	1.00%
Correlazione	5.00%
Totale	6.04%

Tabella 12 – Incertezze legate all'elaborazione dei dati

Vi sono inoltre incertezze dovute alla variabilità statistica del vento, grazie all'estensione della serie di dati è stato possibile considerarla in modo diretto, ottenendo la variazione statistica su 1 e 10 anni.

Nel caso a **1 anno** l'incertezza dovuta alla variabilità statistica viene considerata del 4% che porta ad un'incertezza sulle velocità di **7.25%**.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

Mentre nel caso a **10 anni** tale incertezza risulta del 1.26% che porta ad un'incertezza sulle velocità di **6.17%**.

L'incertezza sulle velocità deve essere "tradotta" in incertezza dell'energia prodotta.

Apportando una variazione dell'1% sulle velocità si ottiene una variazione nella produzione del 1.31%.

Portando ad avere un errore del **9.46%** nel caso a 1 anno e **8.06%** nel caso a 10 anni.

L'errore dovuto all'analisi del vento deve quindi essere unito all'incertezza del calcolo della produzione vedi tabella 13.

Incertezze di calcolo		
Modellizzazione	7.00%	
Scia	0.50%	
Curve di potenza	1.00%	
	1 anno	*10 anni*
Totale	11.82%	10.73%

Tabella 13 – Incertezze legate al calcolo della produzione

A partire da queste incertezze si ottiene la previsione di produzione riassunta nella seguente tabella.

Layout con Enercon E53 - Hub 60 [m]					
Potenza nominale impianto		2.43	MW		
Produzione lorda al valore P50 (comprese perdite di scia)		7.19	GWh/anno		
Perdite tecniche generali		8%			
Produzione netta al valore P50		6.62	GWh/anno		
INCERTEZZA TOTALE	**Incertezza**	**Dev. Standard**			
		Prod. Lorda	**Prod. Netta**		
Predizione di 1 anno	11.82%	0.85	0.78	GWh/anno	
Predizione di 10 anni	10.73%	0.77	0.71	GWh/anno	

Livello di Confidenza [PoE]	**Periodo di 1 anno**			**Periodo di 10 anni**		
	Prod. Lorda [GWh/anno]	**Prod. Netta [GWh/anno]**	**Ore equiv. [ore/anno]**	**Prod. Lorda [GWh/anno]**	**Prod. Netta [GWh/anno]**	**Ore equiv. [ore/anno]**
50%	7.19	6.62	2724	7.19	6.62	2724
75%	6.62	6.09	2507	6.67	6.14	2527
90%	6.10	5.62	2311	6.20	5.71	2349

Tabella 14 – tabella riassuntiva previsione di produzione Enercon E53 - Hub 60[m]

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

Si nota che il P90, produzione con livello di confidenza del 90%, sia per il caso di previsione a 1 anno che per quello a 10 anni è superiore a **2200** ore equivalenti, rispettivamente **2311** e **2349** ore annue.

I valori ottenuti sono molto soddisfacenti e sottolineano che a livello anemologico il sito è adatto all'impianto eolico in questione.

5.5. Considerazioni finali

Dati Vento

I dati vento disponibili sono sufficienti ai fini di uno studio anemologico dettagliato (micrositing).

Nell'approccio descritto i dati di vento sono stati elaborati mediante WindSim, in particolare per il calcolo della ventosità del sito e della produzione degli aerogeneratori e dell'analisi delle grandezze aerodinamiche coinvolte.

I valori di ventosità medi rilevati sono molto buoni. Infatti vi è un'elevata frequenza di rilevazioni di velocità del vento comprese tra 3 e 25 [m/s], e queste sono particolarmente interessanti poiché corrisponde al range di funzionamento degli aerogeneratori commercializzati

Layout del sito:

Il layout del parco eolico prevede l'installazione di 3 aerogeneratori della potenza di 800-850 [kW] con rotore di diametro massimo di 58 [m] e altezza torre (hub) massima di 65 [m], per una potenza complessiva del Parco eolico di 2.4-2.55 [MW].

Il layout è inserito nell'area di un impianto installato e già in funzione, quindi è stato importante considerare le interferenze reciproche dei due impianti.

Oltre a questo nel processo di ottimizzazione del layout si sono considerati vari aspetti di seguito indicati.

Anemologia:

Si è ottimizzata la posizione degli aerogeneratori in modo opportuno, con l'obiettivo di minimizzare le perdite per effetto scia e di avere un adeguato valore di produzione netta.

Inoltre in segutio si potranno ulteriormente affinare i calcoli soprattutto per definire esattamente la Vref e Iref e quindi la classe di vento del sito. Solo a questo punto sarà corretto definire il modello di aerogeneratore installabile.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

Morfologia e geologia:

A valle di differenti sopralluoghi in sito, si sono circoscritte le aree di fattibilità per l'installazione delle turbine, la relativa realizzazione delle piazzole nella fase di cantiere e la successiva rimozione prima dell'entrata in esercizio. Studi geologici - geotecnici più approfonditi, contribuiranno alla corretta definizione e al dimensionamento delle fondazioni da utilizzare e quindi alla scelta dell'aerogeneratore più indicato per il sito oggetto del presente studio.

Produzione parco eolico:

La stima di produzione del parco eolico è stata ottenuta mediante utilizzo del software WindSim, che per le sue caratteristiche di non-linearità nel metodo di calcolo meglio si adatta ad un sito mediamente complesso come quello oggetto del presente studio

Sono state considerate le perdite dovute alla scia e le perdite tecniche generali (disponibilità macchine, perdite elettriche ed altro).

Dal layout definitivo con una potenza installabile di 2.4 [MW] complessivi, si ha una produzione media netta complessiva (P50) molto buona che porta a un soddisfacente numero di ore equivalenti.

Inoltre nel caso delle Enercon E53 da 800 [kW] con 60 [m] di hub si è eseguita la propagazione dell'errore ottenendo una produzione con livello di confidenza del 90% (P90) superiore alle 2200 ore vento.

Sulla base di queste considerazioni, e dello studio effettuato, si ritiene che considerando gli spazi disponibili, i limiti e i vincoli presenti, il sito in oggetto abbia un potenziale eolico più che soddisfacente.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

Allegati

Allegato 1 – Estratto del Report d'installazione Anemometri

Postazione 1 (P1)					
Descrizione:					
Tipo di Supporto	Braccio Geowind			mt	50
Orientamento Supporto	Ovest				
Tipo di Sensore	Anemometro		s/n	35064	
Cavo Connessione	Belden Schermato 2 Poli		mt.	6	
Data connessione	11/04/2007	ora	13.00		
Attendibilità dati dal	11/04/2007	ora	17.00		
Controllo Connessione Elettrica	**OK**	Timbro e Firma Responabile Installazione			

Postazione 2					
Descrizione:					
Tipo di Supporto	Braccio Geowind			mt	50
Orientamento Supporto	Est				
Tipo di Sensore	Banderuola		s/n	non disponibile	
Cavo Connessione	Belden 4 Poli Schermato		mt.	48	
Data connessione	11/04/2007	ora	13.30		
Attendibilità dati dal	11/04/2007	ora	17.00		
Controllo Connessione Elettrica	**OK**	Timbro e Firma Responabile Installazione			

Postazione 3					
Descrizione:					
Tipo di Supporto	Braccio Geowind			mt	40
Orientamento Supporto	Ovest				
Tipo di Sensore	Anemometro		s/n	35063	
Cavo Connessione	Belden Schermato 2 Poli		mt.	6	
Data connessione	11/04/2007	ora	13.00		
Attendibilità dati dal	11/04/2007	ora	17.00		
Controllo Connessione Elettrica	**OK**	Timbro e Firma Responabile Installazione			

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

Postazione 4					
Descrizione:					
Tipo di Supporto	Braccio Geowind			mt	40
Orientamento Supporto	Est				
Tipo di Sensore	Banderuola		s/n	non disponibile	
Cavo Connessione	Belden 4 Poli Schermato		mt.	38	
Data connessione	11/04/2007	ora	14.00		
Attendibilità dati dal	11/04/2007	ora	17.00		
Controllo Connessione Elettrica	**OK**	Timbro e Firma Responabile Installazione			

Postazione 5					
Descrizione:					
Tipo di Supporto	Braccio Geowind			mt	30
Orientamento Supporto	Ovest				
Tipo di Sensore	Anemometro		s/n	35062	
Cavo Connessione	Belden Schermato 2 Poli		mt.	30	
Data connessione	11/04/2007	ora	13.00		
Attendibilità dati dal	0.00	ora	17.00		
Controllo Connessione Elettrica	**OK**	Timbro e Firma Responabile Installazione			

Postazione 6					
Descrizione:					
Tipo di Supporto	NRG			mt	13
Orientamento Supporto	SUD				
Tipo di Sensore	TERMOMETRO		s/n		
Cavo Connessione	NRG SCHERMATO TRIPOOLARE		mt.		
Data connessione	30/04/2007	ora	10.00		
Attendibilità dati dal	NO	ora	NO		
Controllo Connessione Elettrica	**OK**	Timbro e Firma Responabile Installazione			

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

Allegato 2 – Certificati di Calibrazione degli Anemometri

Anemometro 50 [m] MPE 50

OTECH ENGINEERING INC.
630 Peña Drive, Suite 200
Davis, CA 95618
530.757.2264
www.otechwind.com

ANEMOMETER CALIBRATION REPORT

This document reports that a wind tunnel calibration was performed for the cup anemometer listed below and that this anemometer performs within ±1% of the manufacturing control specifications. Prior to calibration, the anemometer was also subjected to a minimum five minute 'run-in', as suggested from IEC 61400-12-1, to account for any bearing temperature variability due to mechanical friction.

Model No: NRG #40
Serial No: 35064
Test Date: 12/04/06, 9:33 AM
Test Speed Range: 4 - 26 m/s

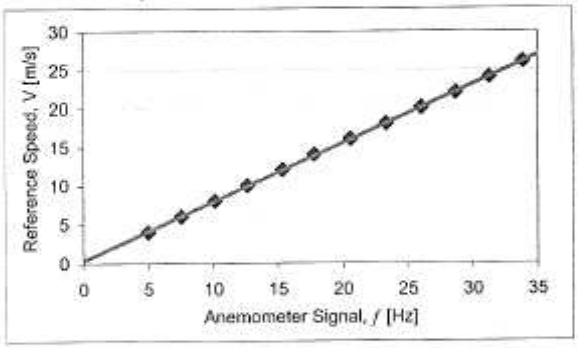
Sensor Output: AC Sine Wave
Conditioner: NRG #3070 SCM Card
Conditioner Power Supply: 12 VDC
Conditioner Output: 0 - 10VDC Square Wave

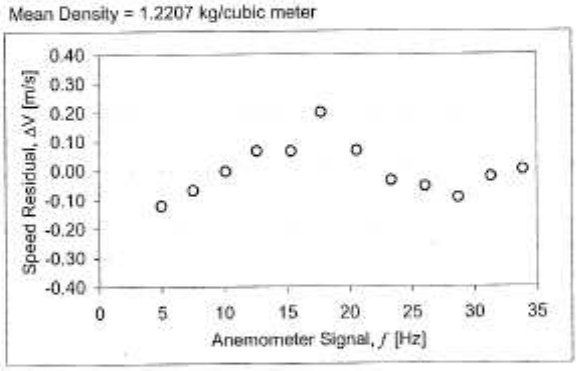
Wind Tunnel Test Facility
Type: Eiffel (open circuit, suction)
Test Section Size: 0.61 m x 0.61 m x 1.22 m
Manufacturer: Engineering Laboratory Design, Inc.

Measuring Equipment
Reference Speed: United Sensor Type PA Pitot-Static Tube sensed by an MKS Barotron Type 220D Differential Pressure Transducer (NIST traceable)
Amb. Pressure: Setra Model 270 Barometer (NIST Traceable)
Amb. Temperature: OMEGA HX94 SS RH Probe (NIST Traceable)
Relative Humidity: OMEGA HX94 SS RH Probe (NIST Traceable)

Data Acquisition
Hardware: National Instruments PCI-MIO-16E-4 A/D Board with SC-2345
Software: National Instruments LabVIEW 8.0

Test Conditions
Diff Pressure Transducer Position Correction = 1
Blockage Correction = 1
Mean Ambient Pressure = 102310 Pa
Mean Ambient Temperature = 18.05 deg C
Mean Relative Humidity = 37.3% RH
Mean Density = 1.2207 kg/cubic meter

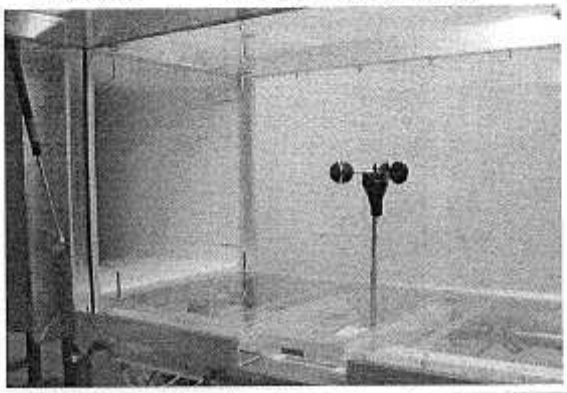




Calibration Transfer Function:

V [m/s] = 0.7591 f [Hz] + 0.3748

r = 0.99999 std. err. estimate = 0.0929 m/s



Manufacturer's Certification

Slope+k value = 0.7601 m/s per Hz
Fixed intercept, k = 0.35 m/s
% deviation from consensus 'slope+k' value = -0.63%

Reference Speed [m/s]	Anemometer Output [Hz]	Residual [m/s]	Speed Uncertainty
4.026	4.970	-0.122	0.483%
8.055	10.123	-0.003	0.479%
12.072	15.323	0.066	0.470%
16.063	20.578	0.068	0.471%
20.087	26.043	-0.056	0.465%
24.116	31.307	-0.023	0.463%
26.096	33.882	0.002	0.472%
22.065	28.699	-0.094	0.464%
18.038	23.316	-0.035	0.469%
14.045	17.746	0.199	0.474%
10.014	12.612	0.067	0.473%
6.027	7.537	-0.068	0.495%

*** references available upon request*

40_sn35064_2006-12-04.pdf

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

Successiva sostituzione

OTECH ENGINEERING INC.

630 Peña Drive, Suite 800
Davis, CA 95618
530.757.2264
www.otechwind.com

ANEMOMETER CALIBRATION REPORT

Customer: NRG Systems, Inc.

This document reports that a wind tunnel test was performed for the anemometer listed below in accordance with transfer function protocols defined by ASTM D 5096-02, ISO 17713-1, and IEC 61400-12-1. The following data and transfer function is the relationship between the reference wind speed measurement in the wind tunnel test section and the unadjusted signal output from the instrument under test (IUT) given the prescribed speed range.

IUT Model No: NRG #40
IUT Serial No: 179500060013
IUT Output: AC Sine Wave

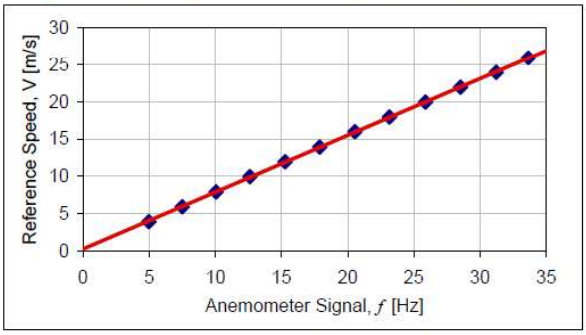
Test Date and Time: 2/20/08 7:59 PM
Test Speed Range: 4 - 26 m/s

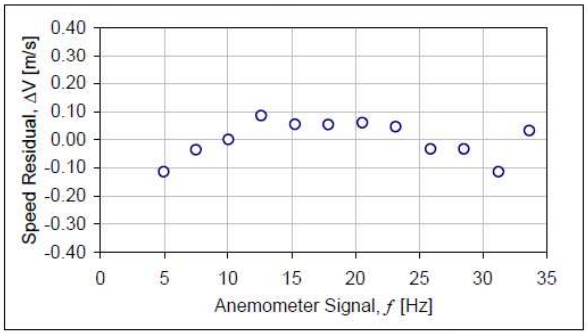
Wind Tunnel Test Facility
Otech Tunnel ID : WT2B
Type : Eiffel (open circuit, suction)
Test Section Size : 0.61 m x 0.61 m x 1.22 m
Manufacturer : Engineering Laboratory Design, Inc.

Data Acquisition
Hardware : National Instruments CDAQ-9172 USB 2.0 chassis with NI 9205 32-chan 16-bit AI module
Software : National Instruments LabVIEW 8.2.1
Signal Reduction Method for IUT: FFT to determine frequency

Measuring Equipment
Reference Speed : Four United Sensor Type PA Pitot-static tubes sensed by an MKS Barotron Type 220D Differential Pressure Transducer (NIST traceable)
Amb. Pressure : Setra Model 270 Barometer (NIST traceable)
Amb. Temperature : OMEGA HX94 SS Probe (NIST traceable)
Relative Humidity : OMEGA HX94 SS Probe (NIST traceable)

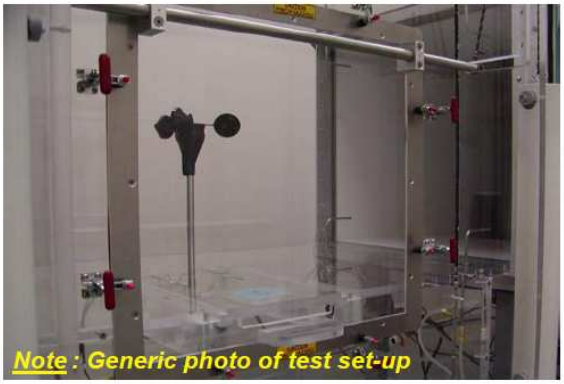
Test Conditions
Reference Speed Position Correction = 1
Reference Speed Blockage Correction = 1
Mean Ambient Pressure = 101300 Pa
Mean Ambient Temperature = 23 deg C
Mean Relative Humidity = 37.5% RH
Mean Density = 1.1871 kg/cubic meter





Transfer Function Test Results: **V [m/s] = 0.761 f [Hz] + 0.29**

r = 0.99996 std. err. estimate = 0.0702 m/s



Reference Speed [m/s]	Anemometer Output [Hz]	Residual [m/s]	Ref. Speed Uncertainty
3.966	4.976	-0.114	0.511%
7.930	10.037	0.001	0.501%
11.964	15.270	0.054	0.472%
15.980	20.541	0.060	0.468%
19.951	25.885	-0.034	0.467%
23.928	31.219	-0.114	0.466%
25.922	33.648	0.032	0.472%
21.948	28.510	-0.034	0.477%
17.955	23.157	0.046	0.473%
13.942	17.871	0.054	0.474%
9.963	12.599	0.085	0.470%
5.951	7.484	-0.036	0.619%

References available upon request. 179500060013_2008-02-20.pdf

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

Anemometro 40 [m] MPE 50

OTECH ENGINEERING INC.
630 Peña Drive, Suite 200
Davis, CA 95618
530.757.2264
www.otechwind.com

ANEMOMETER CALIBRATION REPORT

This document reports that a wind tunnel calibration was performed for the cup anemometer listed below and that this anemometer performs within ±1% of the manufacturing control specifications. Prior to calibration, the anemometer was also subjected to a minimum five minute 'run-in', as suggested from IEC 61400-12-1, to account for any bearing temperature variability due to mechanical friction.

Model No: NRG #40
Serial No: 35063
Test Date: 12/04/06, 9:21 AM
Test Speed Range: 4 - 26 m/s

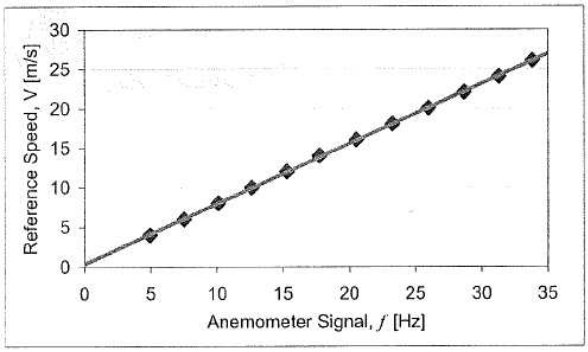
Sensor Output: AC Sine Wave
Conditioner: NRG #3070 SCM Card
Conditioner Power Supply: 12 VDC
Conditioner Output: 0 - 10VDC Square Wave

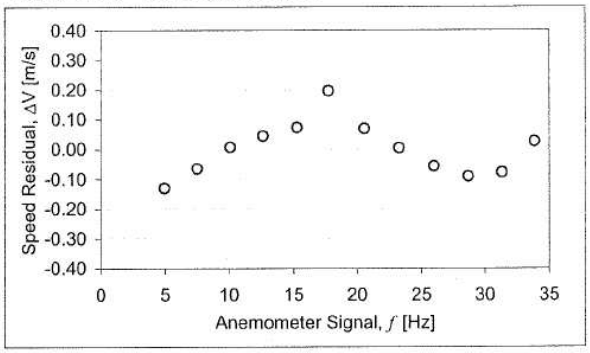
Wind Tunnel Test Facility
Type: Eiffel (open circuit, suction)
Test Section Size: 0.61 m x 0.61 m x 1.22 m
Manufacturer: Engineering Laboratory Design, Inc.

Measuring Equipment
Reference Speed: United Sensor Type PA Pitot-Static Tube sensed by an MKS Barotron Type 220D Differential Pressure Transducer (NIST traceable)
Amb. Pressure: Setra Model 270 Barometer (NIST Traceable)
Amb. Temperature: OMEGA HX94 SS RH Probe (NIST Traceable)
Relative Humidity: OMEGA HX94 SS RH Probe (NIST Traceable)

Data Acquisition
Hardware: National Instruments PCI-MIO-16E-4 A/D Board with SC-2345
Software: National Instruments LabVIEW 8.0

Test Conditions
Diff Pressure Transducer Position Correction = 1
Blockage Correction = 1
Mean Ambient Pressure = 102312 Pa
Mean Ambient Temperature = 17.65 deg C
Mean Relative Humidity = 37.2% RH
Mean Density = 1.2225 kg/cubic meter

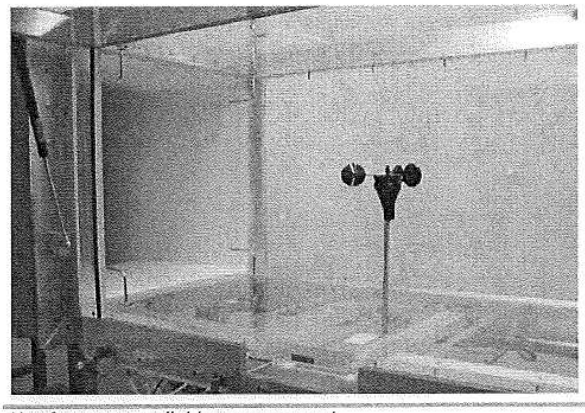




Calibration Transfer Function:

V [m/s] = 0.7593 f [Hz] + 0.3905

r = 0.99999 std. err. estimate = 0.0949 m/s



Manufacturer's Certification

Slope+k value = 0.761 m/s per Hz
Fixed intercept, k = 0.35 m/s
% deviation from consensus 'slope+k' value = -0.51%

Reference Speed [m/s]	Anemometer Output [Hz]	Residual [m/s]	Speed Uncertainty
4.024	4.957	-0.131	0.488%
8.049	10.078	0.007	0.479%
12.062	15.276	0.073	0.465%
16.057	20.543	0.069	0.468%
20.063	25.983	-0.056	0.463%
24.078	31.299	-0.078	0.462%
26.103	33.829	0.026	0.460%
22.065	28.665	-0.091	0.460%
18.057	23.262	0.004	0.470%
14.055	17.739	0.196	0.461%
10.024	12.629	0.044	0.471%
6.038	7.522	-0.065	0.492%

*** references available upon request*

40_sn35063_2006-12-04.pdf

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.

Anemometro 30 [m] MPE 50

OTECH ENGINEERING INC.
630 Peña Drive, Suite 200
Davis, CA 95618
530.757.2264
www.otechwind.com

ANEMOMETER CALIBRATION REPORT

This document reports that a wind tunnel calibration was performed for the cup anemometer listed below and that this anemometer performs within ±1% of the manufacturing control specifications. Prior to calibration, the anemometer was also subjected to a minimum five minute 'run-in', as suggested from IEC 61400-12-1, to account for any bearing temperature variability due to mechanical friction.

Model No: NRG #40
Serial No: 35062
Test Date: 12/04/06, 9:11 AM
Test Speed Range: 4 - 26 m/s

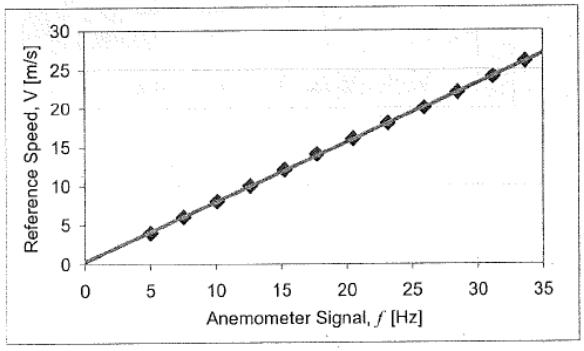
Sensor Output: AC Sine Wave
Conditioner: NRG #3070 SCM Card
Conditioner Power Supply: 12 VDC
Conditioner Output: 0 - 10VDC Square Wave

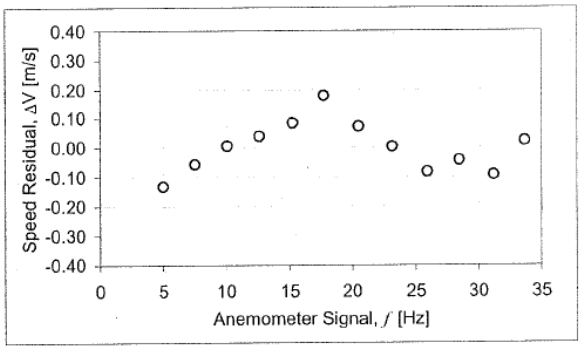
Wind Tunnel Test Facility
Type: Eiffel (open circuit, suction)
Test Section Size: 0.61 m x 0.61 m x 1.22 m
Manufacturer: Engineering Laboratory Design, Inc.

Measuring Equipment
Reference Speed: United Sensor Type PA Pitot-Static Tube sensed by an MKS Barotron Type 220D Differential Pressure Transducer (NIST traceable)
Amb. Pressure: Setra Model 270 Barometer (NIST Traceable)
Amb. Temperature: OMEGA HX94 SS RH Probe (NIST Traceable)
Relative Humidity: OMEGA HX94 SS RH Probe (NIST Traceable)

Data Acquisition
Hardware: National Instruments PCI-MIO-16E-4 A/D Board with SC-2345
Software: National Instruments LabVIEW 8.0

Test Conditions
Diff Pressure Transducer Position Correction = 1
Blockage Correction = 1
Mean Ambient Pressure = 102314 Pa
Mean Ambient Temperature = 17.15 deg C
Mean Relative Humidity = 37.1% RH
Mean Density = 1.225 kg/cubic meter

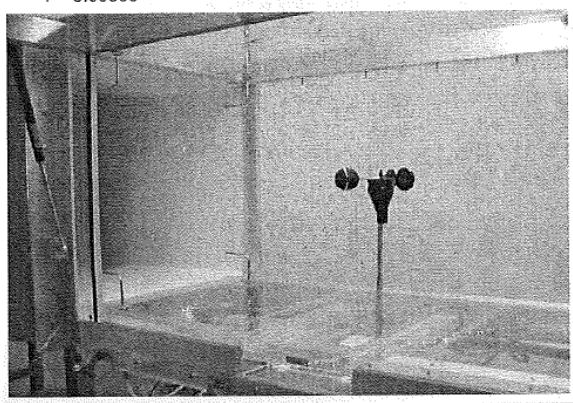




Calibration Transfer Function:

V [m/s] = 0.7639 f [Hz] + 0.3326

r = 0.99999 std. err. estimate = 0.0918 m/s



Manufacturer's Certification

Slope+k value = 0.7632 m/s per Hz
Fixed intercept, k = 0.35 m/s
% deviation from consensus 'slope+k' value = -0.22%

Reference Speed [m/s]	Anemometer Output [Hz]	Residual [m/s]	Speed Uncertainty
4.024	5.005	-0.132	0.483%
8.043	10.086	0.006	0.474%
12.060	15.242	0.084	0.472%
16.050	20.481	0.072	0.474%
20.054	25.923	-0.082	0.462%
24.074	31.199	-0.093	0.460%
26.067	33.657	0.023	0.459%
22.039	28.469	-0.043	0.466%
18.014	23.142	0.003	0.463%
14.043	17.713	0.179	0.469%
10.010	12.617	0.039	0.466%
6.031	7.534	-0.057	0.480%

*** references available upon request*

40_sn35062_2006-12-04.pdf

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.'s exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. MARCOPOLO ENGINEERING S.p.A.. reserves the right to modify it at any time.