Fabbrica Energie Rinnovabili Alternative
GENERAZIONE POSSIBILE

**Fabbrica Energie Rinnovabili Alternative S.r.l.**
Piazza Cavour, 7 - 20121 Milano
T: +39 02 62690471 F: +39 02 32066804
info@ferasrl.it; www.ferasrl.it
P.IVA 13393960151

TÜV SÜD ISO 9001

Azienda con sistema di gestione qualità
certificato UNI EN ISO 9001:2008
certificatI n. 501008849 e 501008850



Regione **Liguria**
Comune di **Cairo Montenotte (SV)**
Proponente **F.E.R.A. S.r.l.**

# Parco eolico

# "Napoleone"

## Progetto Preliminare

## SCOPING

# 1.6 Studio del potenziale eolico

**Progettisti:**

**Dott.ssa Giulia Canavero**

Giulia Canavero

| Data | Rev. | Descrizione | Elaborato | Controllato | Approvato |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |
| 10.07.2013 | A | Prima emissione | E.Di Taranto | Canavero | Bertuccio |

Comm. 61 Elaborato: CSN-1.6-SPE_A_StudioPotenzialeEolico

E' vietata la riproduzione del presente documento, anche parziale, con qualsiasi mezzo, senza l'autorizzazione di F.E.R.A. S.r.l.

# *Indice*

**1. DESCRIZIONE DEL SITO 5**

**2. STAZIONI DI MISURA 7**

**2.1. STRUTTURA "0705" 9**

2.1.1. DESCRIZIONE STRUTTURA DI MISURA 9

**2.2. STRUTTURA ENERCON 13**

2.2.1. DESCRIZIONE STRUTTURA DI MISURA 13

**2.3. STRUTTURA 0723 16**

2.3.1. DESCRIZIONE STRUTTURA DI MISURA 16

**3. APPROCCIO METODOLOGICO UTILIZZATO 19**

**3.1. VALIDAZIONE DEI MODELLI DI CALCOLO 19**

**3.2. MODELLO OROGRAFICO UTILIZZATO 20**

**3.3. CORRELAZIONE TRA 0705 E "ENERCON" 20**

**4. DESCRIZIONE MODELLO DI SIMULAZIONE 21**

**5. LAYOUT E MAPPA DEL VENTO 22**

**6. AEROGENERATORI CONSIDERATI 24**

**7. RISULTATI ANALISI DI PRODUCIBILITÀ 25**

**8. CONCLUSIONI 26**

# *Indice delle figure*

Figura 1: Orografia a livello generale, il pallino nero indica il sito in esame ..... 5
Figura 2: Orografia a livello di dettaglio, il pallino nero indica il sito in esame..... 6
Figura 3: Posizione delle stazioni di misura ..... 7
Figura 4: Tipologia dei sensori installati..... 9
Figura 5: Andamento mensile medio .....10
Figura 6: Andamento giornaliero medio .....10
Figura 7: Rosa del vento in frequenza .....11
Figura 8: Grafico dell'intensità di turbolenza e tabella con i valori caratteristici .....12
Figura 9: Tipologia dei sensori installati .....13
Figura 10: Andamento mensile medio .....14
Figura 11: Andamento giornaliero medio .....14
Figura 12: Rosa del vento in frequenza .....15
Figura 13: Grafico dell'intensità di turbolenza e tabella con i valori caratteristici .....15
Figura 14: Tipologia dei sensori installati .....16
Figura 15: Andamento giornaliero medio .....17
Figura 16: Andamento mensile medio .....17
Figura 17: Rosa del vento in frequenza 0723 .....18
Figura 18: Grafico dell'intensità di turbolenza e tabella con i valori caratteristici .....18
Figura 19: modello orografico del terreno 20 X 20 con passo a 20 m e infittimento nell'area di layout con passo a 5 m .....20
Figura 20: Mappa del vento calcolata all'altezza di 60 m.....23

# *Indice delle tabelle*

Tabella 1:Coordinate aerogeneratori Traversine .....22
Tabella 2: caratteristiche aerogeneratori scelti .....24
Tabella 3: Coefficienti di riduzione della produzione applicati alla produzione lorda .....25

## 1. DESCRIZIONE DEL SITO

L'area interessata dall'impianto si trova nel Comune di Cairo Montenotte, località Cascinassa. Essa si sviluppa per circa 1200 m lungo un crinale posto a nord e parallelo al crinale dove è installato il parco eolico "Valbormida". Si estende a quote comprese tra i 790 e gli 820 m.s.l.m. L'area in oggetto risulta avere una complessità orografica media.

Il crinale di interesse si pone come barriera alle masse d'aria che, muovendosi sotto la spinta del gradiente di pressione che si forma tra la pianura padana e il bacino del mar ligure, accelerano sfruttando il salto creato dalle barriere orografiche come quella del sito in oggetto. Tale accelerazione investe proprio la parte sommitale del crinale generando venti di buona intensità. L'esposizione del sito alle componenti principali del vento risulta ottima.

L'area ha una copertura boscosa estesa, tipicamente cedua, che viene considerata nei modelli di calcolo fluidodinamici tramite apposito coefficiente di rugosità.

Dai dati meteorologici risulta una temperatura media annuale di circa 10.5° C.

In Figura 1 si può apprezzare la conformazione orografica nel raggio di circa 40 km intorno al sito in esame.

In Figura 2 è riportato un dettaglio maggiore in un intorno di circa 5 km rispetto al sito.




*Figura 1: Orografia a livello generale, il pallino nero indica il sito in esame*

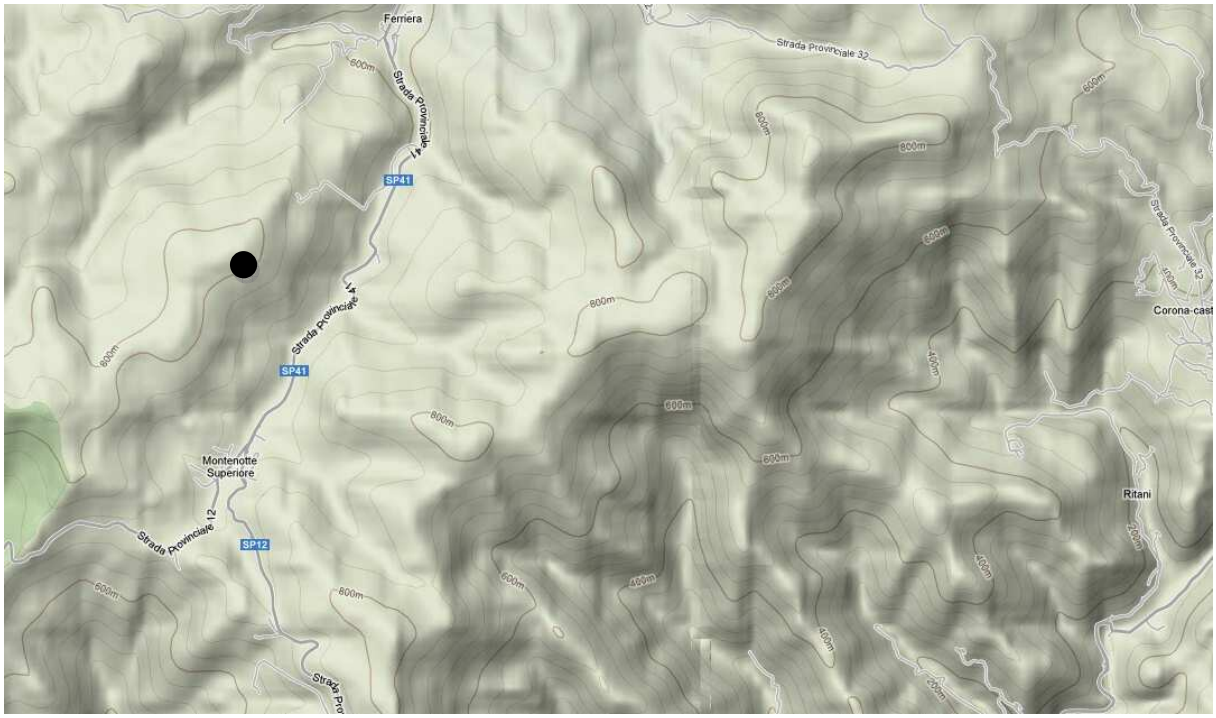



*Figura 2: Orografia a livello di dettaglio, il pallino nero indica il sito in esame*

## 2. STAZIONI DI MISURA

Sono stati esaminati i dati provenienti da varie strutture anemometriche che, nel corso del tempo, sono state installate lungo i crinali adiacenti al fine di caratterizzare nel miglior modo possibile il campo di vento insistente sul sito e di capire in che modo varia il flusso, sia in termini di intensità che di direzione, in tutta l'area.
Di seguito un riassuntivo delle campagne anemometriche condotte in zone limitrofe:

- "0710": Stazione di misura di proprietà FERA s.r.l.. Struttura di tipo tubolare con altezza massima di misura posta a 40 m dal suolo.
- "Enercon 60 m": Stazione tralicciata di proprietà Enercon (di cui si dispongono i dati) con altezza di misura di 60 m dal suolo.
- "0712": Stazione di misura tubolare di proprietà FERA s.r.l. con altezza di misura di 30 m dal suolo.
- "0705": Stazione di misura tubolare di proprietà FERA s.r.l. con altezza di misura di 30 m dal suolo.
- "0723": Stazione di misura tubolare di proprietà FERA s.r.l. con altezza di misura di 40 m dal suolo.
- Dati di produzione dell'impianto eolico "Valbormida" e "Naso di Gatto".

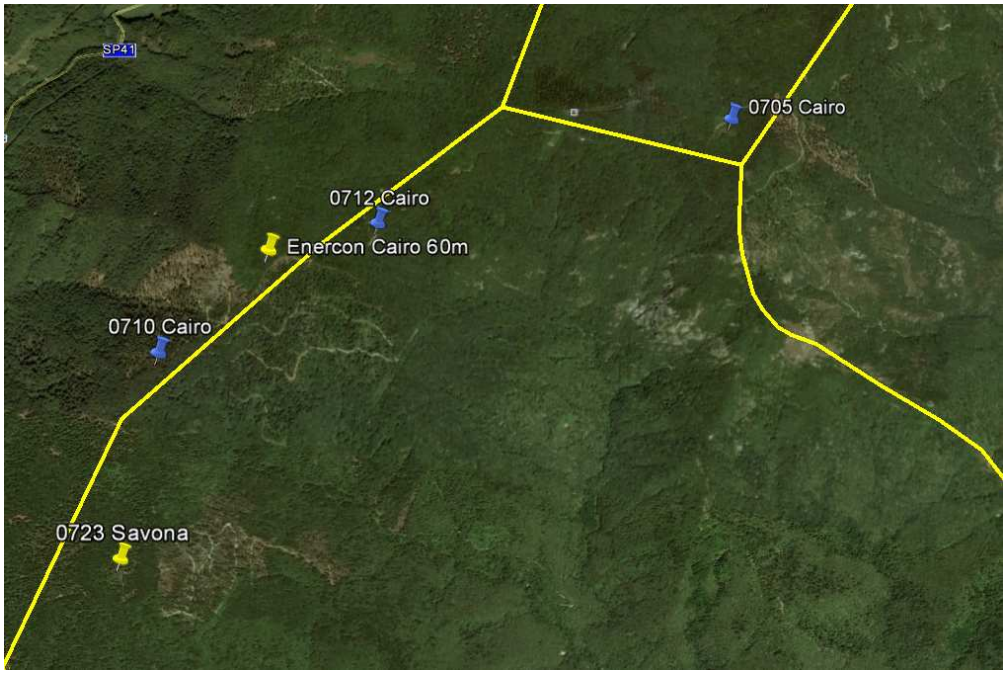



*Figura 3: Posizione delle stazioni di misura*

Le strutture anemometriche che saranno prese in considerazione in questo studio sono:

- 0705
- Enercon
- 0723

Le altre saranno prese in considerazione solo come confronto e validazione delle strutture scelte per eseguire i calcoli di produzione.

Di seguito le caratteristiche tecniche e i valori misurati da ognuna delle due stazioni sopra elencate.

### 2.1. STRUTTURA "0705"

La struttura di misura con codice "0705" si trova in Regione Liguria, nel Comune di Cairo Montenotte, alle coordinate UTM WGS84 32T 455410 m Est e 4916072 m Nord, ad una quota media di 790 m s.l.m.. Ha iniziato a misurare il 15/05/2003 ed è stata dismessa il 26/09/2008.

2.1.1. DESCRIZIONE STRUTTURA DI MISURA

La struttura di misurazione è costituita da un sostegno tubolare, provvisto di supporti sensori di lunghezza 1,5m su cui sono montati 3 sensori calibrati di velocità e 1 sensori di direzione. La configurazione utilizzata è in totale accordo con quanto richiesto dalla normativa IEC 61400.

I sensori di velocità installati sono del tipo NRG Maximum #40C calibrati. Il sensore di direzione è del tipo NRG #200P nuovo.

I dati misurati sono registrati tramite Logger Nomad II della Secondwind su un supporto di memoria non volatile. Sono calcolate e memorizzate le seguenti grandezze:

- **Sensori di velocità:** Velocità media sull'intervallo di 10 minuti, valore massimo e deviazione standard sullo stesso intervallo di tempo;
- **Sensori di direzione:** Direzione media sull'intervallo di 10 minuti e deviazione standard sullo stesso intervallo di tempo;

E' inoltre registrata la temperatura all'interno dell'involucro del Logger.

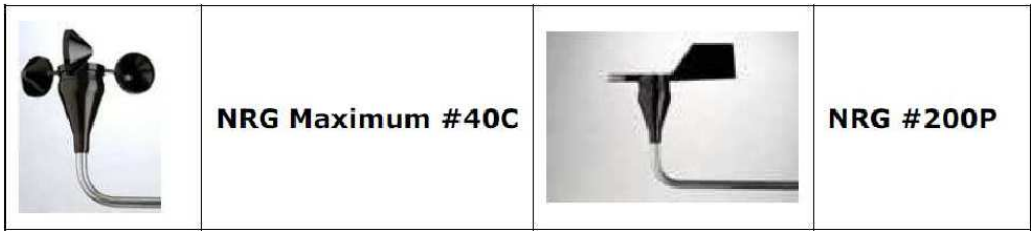



*Figura 4: Tipologia dei sensori installati*

In Figura 5 e in Figura 6 è possibile notare l'andamento mensile medio e l'andamento giornaliero medio delle misurazioni di 0705 mediate sull'anno.

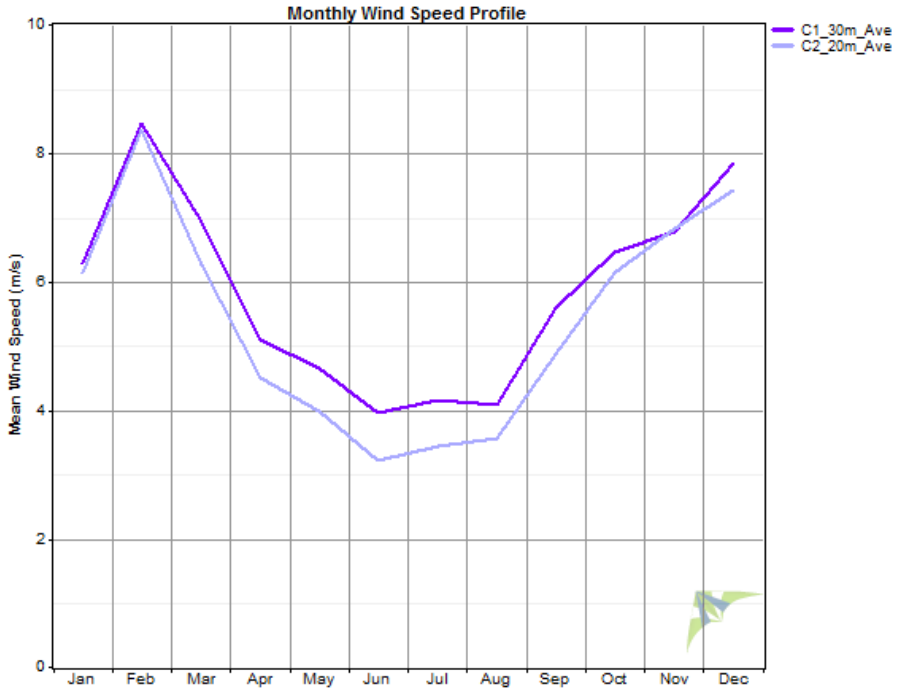



*Figura 5: Andamento mensile medio*

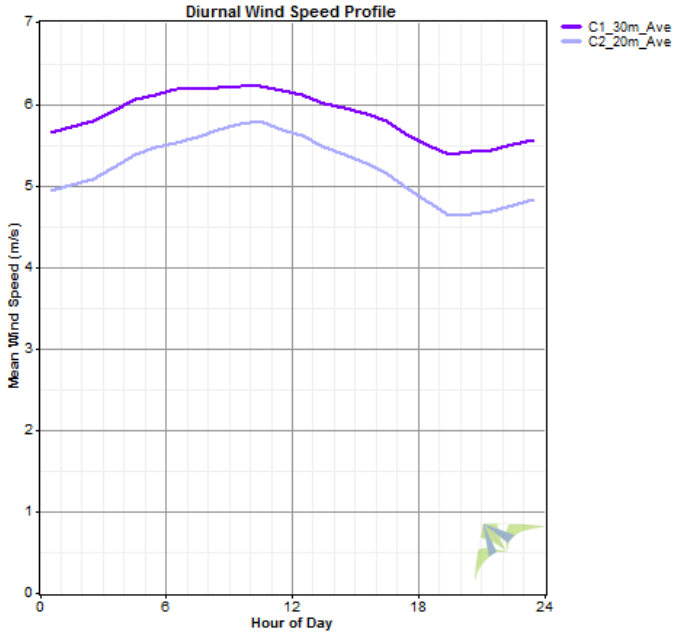



*Figura 6: Andamento giornaliero medio*

La Figura 7 mostra chiaramente che le direzioni del vento principali sono NW e SE.

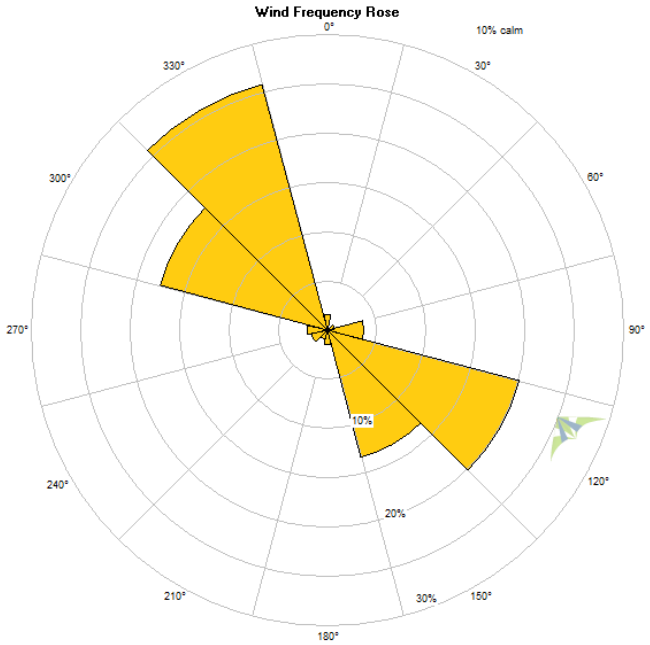
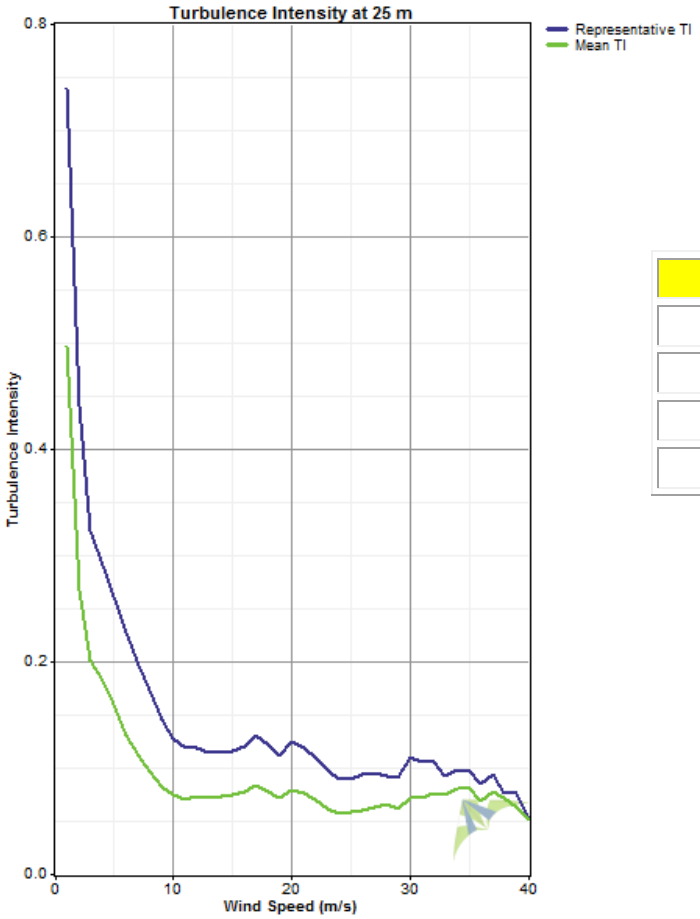



*Figura 7: Rosa del vento in frequenza*

La turbolenza in sito risulta mosso bassa rientrando nella categoria C stabilita dalla normativa IEC. In Figura 8 è riportato il grafico della turbolenza e nella tabella a fianco i parametri caratteristici misurati.




| *Quantity* | *Value* |
|---|---|
| Records in 15 m/s bin | 1,320 |
| Mean TI at 15 m/s | 0.075 |
| Representative TI at 15 m/s | 0.117 |
| IEC3 turbulence category | C |

*Figura 8: Grafico dell'intensità di turbolenza e tabella con i valori caratteristici*

## 2.2. STRUTTURA ENERCON

La struttura di misura con codice "Enercon" si trova in Regione Liguria, nel Comune di Cairo Montenotte, alle coordinate UTM WGS84 32T 453820 m Est e 4915373 m Nord, ad una quota media di 820 m s.l.m., ha iniziato a registrare il giorno 06 Settembre 2007 ed ha terminato il giorno 01/10/2008.

### 2.2.1. DESCRIZIONE STRUTTURA DI MISURA

La struttura di misurazione è costituita da un sostegno tralicciato, provvisto di supporti sensori di lunghezza 1,5m su cui sono montati 3 sensori calibrati di velocità e 2 sensori di direzione. La configurazione utilizzata è in totale accordo con quanto richiesto dalla normativa IEC 61400.
I sensori di velocità installati sono del tipo NRG Maximum #40C calibrati. Il sensore di direzione è del tipo NRG #200P nuovo.
I dati misurati sono registrati tramite Logger Nomad II della Secondwind su un supporto di memoria non volatile. Sono calcolate e memorizzate le seguenti grandezze:

**Sensori di velocità:** Velocità media sull'intervallo di 10 minuti, valore massimo e deviazione standard sullo stesso intervallo di tempo;

**Sensori di direzione:** Direzione media sull'intervallo di 10 minuti e deviazione standard sullo stesso intervallo di tempo;

E' inoltre registrata la temperatura all'interno dell'involucro del Logger.

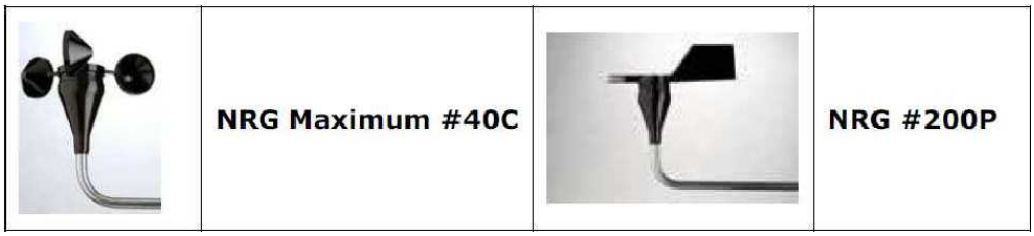



*Figura 9: Tipologia dei sensori installati*

In Figura 10 e in Figura 11 è possibile notare l'andamento mensile medio e l'andamento giornaliero medio delle misurazioni di 0705 mediate sull'anno.

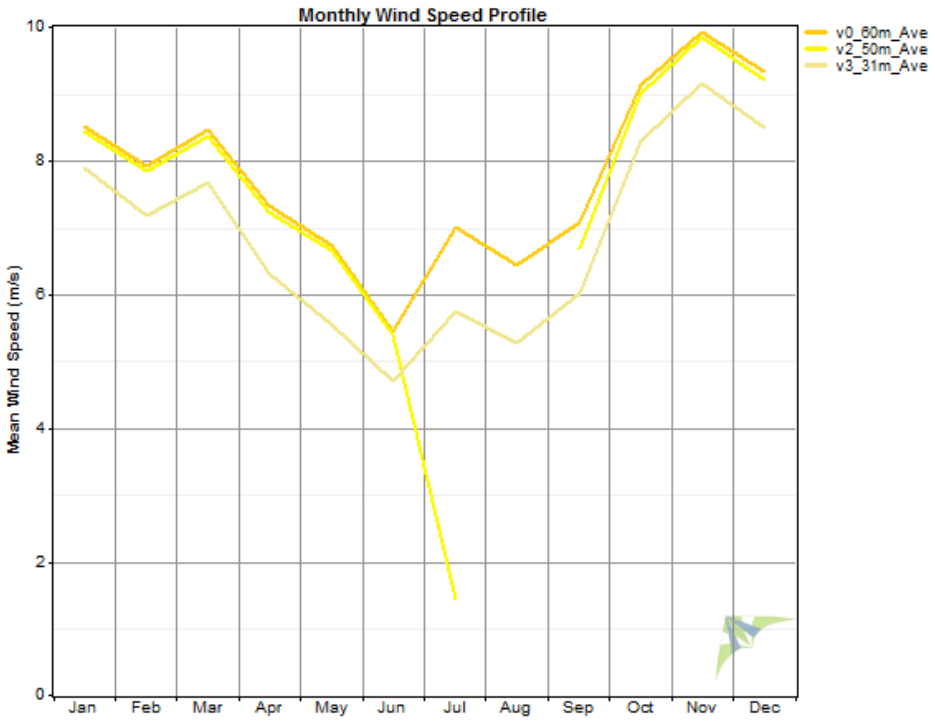



*Figura 10: Andamento mensile medio*

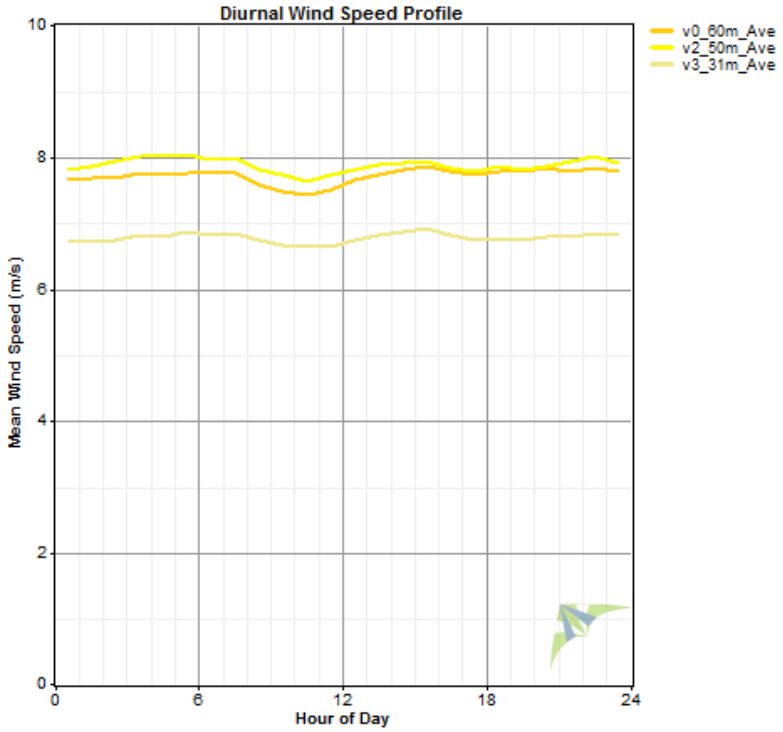



*Figura 11: Andamento giornaliero medio*

La Figura 12 mostra che le direzioni principali sono NW e SE.

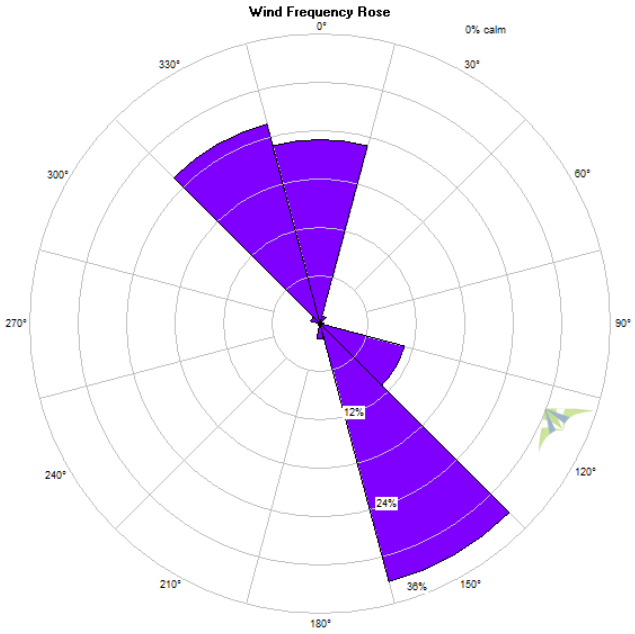
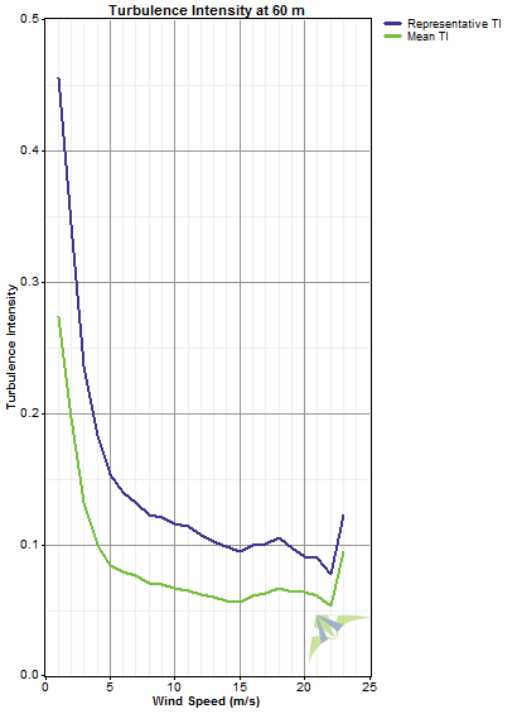



*Figura 12: Rosa del vento in frequenza*

La turbolenza in sito risulta mosso bassa rientrando nella categoria C stabilita dalla normativa IEC. In Figura 13 è riportato il grafico della turbolenza e nella tabella a fianco i parametri caratteristici misurati.




| *Quantity* | *Value* |
|---|---|
| Records in 15 m/s bin | 1,045 |
| Mean TI at 15 m/s | 0.056 |
| Representative TI at 15 m/s | 0.094 |
| IEC3 turbulence category | C |

*Figura 13: Grafico dell'intensità di turbolenza e tabella con i valori caratteristici*

### 2.3. STRUTTURA 0723

La struttura di misura con codice "0723" si trova in Regione Liguria, nel Comune di Savona, alle coordinate UTM WGS84 32T 453516 m Est e 4914278 m Nord, ad una quota media di 780 m s.l.m.. Ha iniziato a misurare il 19/03/2009 ed è, ad oggi, funzionante. Il set di dati considerato si ferma al giorno 01/04/2013.

2.3.1. DESCRIZIONE STRUTTURA DI MISURA

La struttura di misurazione, di altezza 38 m, è costituita da un sostegno tubolare, provvisto di supporti sensori di lunghezza 1,5 m su cui sono montati 3 sensori calibrati di velocità e 1 sensori di direzione. La configurazione utilizzata è in totale accordo con quanto richiesto dalla normativa IEC 61400.

I sensori di velocità installati sono del tipo NRG Maximum #40C calibrati. Il sensore di direzione è del tipo NRG #200P nuovo.

I dati misurati sono registrati tramite Logger Nomad II della Secondwind su un supporto di memoria non volatile. Sono calcolate e memorizzate le seguenti grandezze:

- **Sensori di velocità:** Velocità media sull'intervallo di 10 minuti, valore massimo e deviazione standard sullo stesso intervallo di tempo;
- **Sensori di direzione:** Direzione media sull'intervallo di 10 minuti e deviazione standard sullo stesso intervallo di tempo;

E' inoltre registrata la temperatura all'interno dell'involucro del Logger.

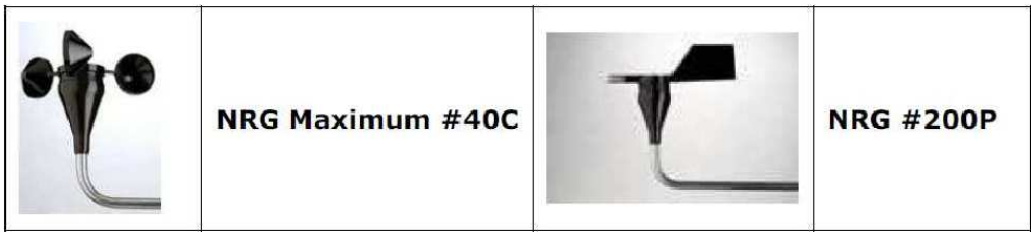



*Figura 14: Tipologia dei sensori installati*

In Figura 15 e in Figura 16 è possibile notare l'andamento mensile medio e l'andamento giornaliero medio delle misurazioni di 0723 mediate sull'anno.

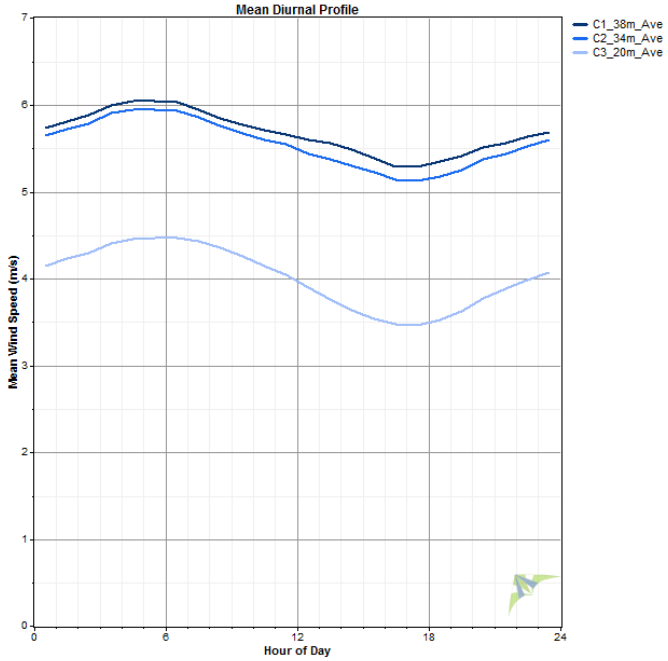



*Figura 15: Andamento giornaliero medio*

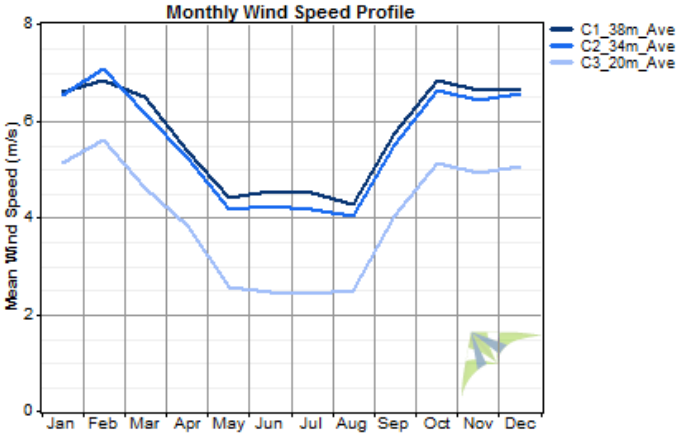



*Figura 16: Andamento mensile medio*

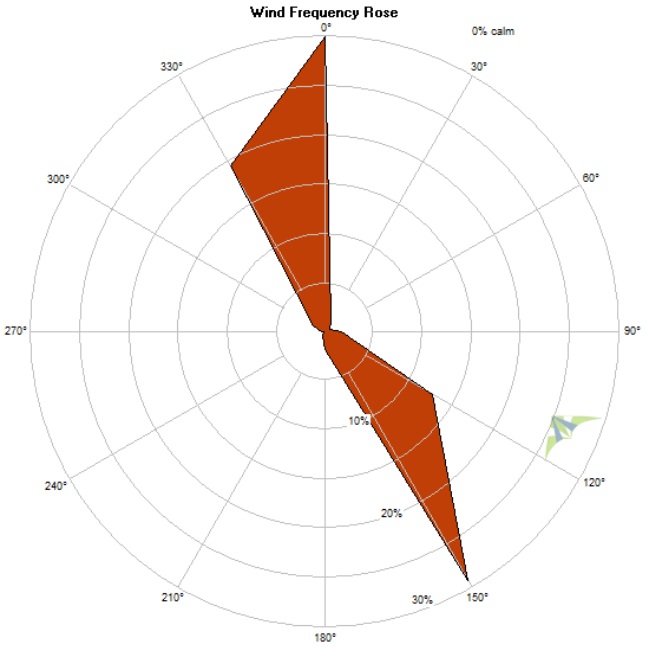
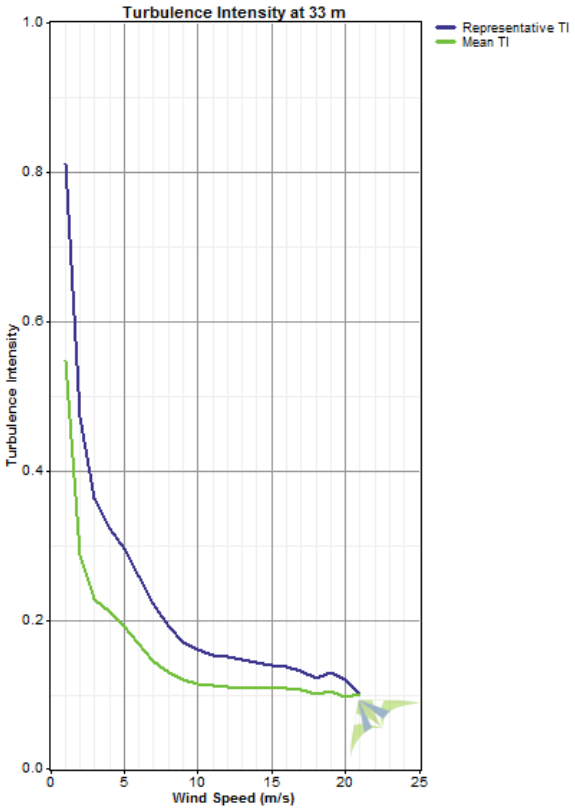



*Figura 17: Rosa del vento in frequenza 0723*




| *Quantity* | *Value* |
|---|---|
| Records in 15 m/s bin | 1,349 |
| Mean TI at 15 m/s | 0.107 |
| Representative TI at 15 m/s | 0.138 |
| IEC3 turbulence category | C |

*Figura 18: Grafico dell'intensità di turbolenza e tabella con i valori caratteristici*

# 3. APPROCCIO METODOLOGICO UTILIZZATO

I dati vento analizzati hanno permesso di caratterizzare, con buona approssimazione, le caratteristiche anemologiche del sito in esame.
Di seguito sono riassunti i principali risultati ottenuti dall'analisi dei dati vento.

## 3.1. VALIDAZIONE DEI MODELLI DI CALCOLO

Lo studio del regime anemologico insistente sul sito di Traversine-Cascinassa è stato condotto considerando l'ampio set di dati provenienti dalle misurazioni anemologiche condotte nel tempo nell'area e dai dati di produzione (SCADA) registrati dagli aerogeneratori dei parchi funzionanti di Savona – "Naso di Gatto" e Cairo Montenotte – "Valbormida".
I dati di produzione dei parchi eolici di Naso di Gatto e Valbormida sono serviti per "tarare" e "validare" i modelli anemologici costruiti per calcolare le produzioni degli impianti funzionanti dai dati ricavati dalle misurazioni effettuate, presso questi siti, dagli anemometri installati nel corso del tempo. Questa operazione è consistita nel tarare i profili verticali misurati allo scopo di ottenere una produzione energetica paragonabile a quella misurata dagli aerogeneratori dei due parchi funzionanti.
I profili "tarati" sono stati poi utilizzati per ricavare il regime anemologico insistente sul sito di Traversine-Cascinassa.
Successivamente si è introdotto nel modello generale le serie di dati scelte. Il software di calcolo consente di introdurre e di elaborare più serie di dati alle quali saranno attribuite delle percentuali relative al livello di confidenza che si decide, soggettivamente, di attribuire a ciascuna di esse. Sulla base di questi valori percentuali attribuiti e a seconda del tipo di metodo selezionato per pesare, sulla base delle distanze dagli anemometri agli aerogeneratori, le serie inserite, si è calcolato il campo di vento insistente sul sito. Maggior peso (circa il 70 %) è stato attribuito alla serie di dati correlata 0705-Enercon in funzione dell'estensione temporale (5,4 anni) e della distanza dal sito Traversine – Cascinassa (circa 2 Km). Minor peso (circa il 30 %), invece, è stato attribuito alla serie 0723 che è stata considerata in quanto rappresentativa dell'anemologia della parte meridionale dell'area di studio, sulla base di questi presupposti, quindi, si è scelta l'opzione di bilanciamento delle serie: "Average weighted by distance of turbine from anemometer".

### 3.2. MODELLO OROGRAFICO UTILIZZATO

Il modello orografico introdotto nel modello di calcolo ha una estensione di 20km x 20km e centro sul layout proposto. La definizione dell'orografia di larga scala è stata impostata a una isoipsa ogni 20m di dislivello. Si è poi infittita l'area di layout con un modello che prevede una isoipsa ogni 5 m di dislivello. Di seguito una immagine del modello del terreno utilizzato.

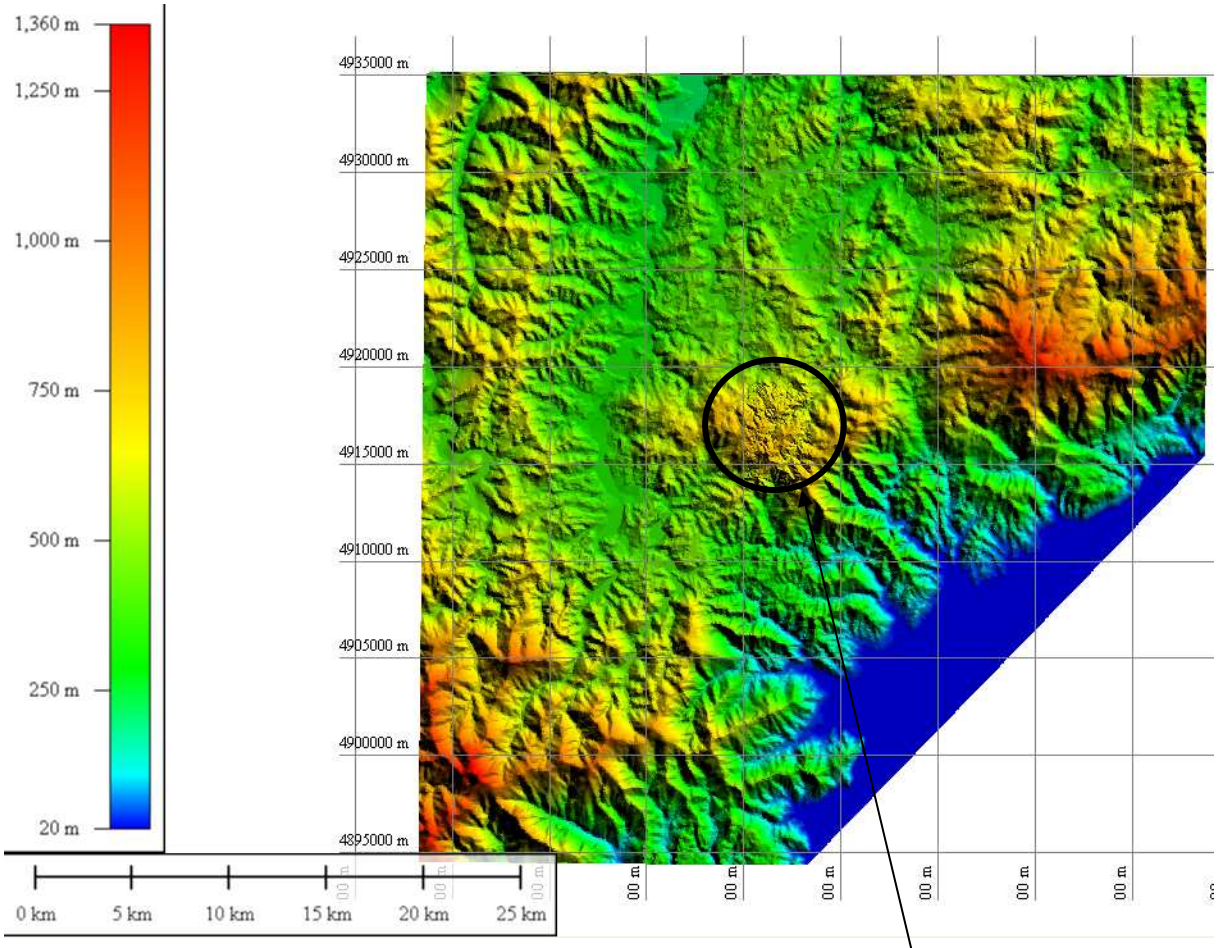



*Figura 19: modello orografico del terreno 20 X 20 con passo a 20 m e infittimento nell'area di layout con passo a 5 m*

### 3.3. CORRELAZIONE TRA 0705 E "ENERCON"

La serie storica di lungo periodo è stata ottenuta prendendo a riferimento la stazione "0705" e correlando questa con la stazione "Enercon". Complessivamente si ottengono 5,4 anni di dati, a quota mozzo, nel punto dell'anemometro Enercon, che possono essere considerati ampiamente sufficienti per un'analisi di lungo periodo. La serie temporale correlata, sintetizzata quindi sulla posizione della struttura "Enercon" permette di definire

con estrema precisione, una velocità media annuale del vento a 60 m dal suolo di 7.4 m/s.

## 4. DESCRIZIONE MODELLO DI SIMULAZIONE

Per ottenere la stima della producibilità elettrica relativa al parco eolico proposto nel seguente progetto è stato impostato un modello di simulazione fluidodinamica. Di seguito sono riportati i passaggi e le ipotesi seguite:

1. Le serie temporali misurate dai vari anemometri sono state utilizzate per tarare i modelli previsionali per ognuno dei due parchi funzionanti al fine di ottenere produzioni energetiche, da modello, quanto più allineate a quelle misurate dagli aerogeneratori funzionanti.
2. Le serie di dati tarate sono state introdotte nel modello di calcolo generale
3. E' stato creato un modello digitale del terreno con estensione di 20km x 20km e centro sul layout proposto. La definizione dell'orografia è stata impostata a una isoipsa ogni 20m di dislivello. L'area di layout è stata infittita con isoipse con passo 5 m.
4. Tramite software di simulazione fluidodinamica lineare, si è proceduto a calcolare la distribuzione in frequenza della velocità per l'altezza mozzo nei punti torre individuati dal layout.
5. Tramite la curva di potenza fornita dalla ditta costruttrice si è integrata la produzione elettrica lorda.
6. La produzione elettrica netta è stata ottenuta aggiungendo il 10% di perdite imputabili a :
   - Perdite elettriche dal generatore al punto di consegna.
   - Degrado della pala.
   - Fermi macchina per manutenzione.

## 5. LAYOUT E MAPPA DEL VENTO

Le posizioni proposte per gli aerogeneratori in progetto garantiscono perdite per interferenza aerodinamica prossime a zero per quasi tutti gli aerogeneratori, questo grazie al fatto che il crinale, e quindi il layout dell'intero parco, risulta orientato ottimamente rispetto alle direzioni principali di provenienza del vento che sono NW e SE.
Sono stati considerati 10 aerogeneratori posizionati lungo la linea di crinale nel rispetto delle distanze minime.
Il layout considerato per i calcoli energetici ha le seguenti coordinate:

| ID | Easting | Northing | Altitude |
|---|---|---|---|
| 1 | 451305 | 4915543 | 838 |
| 2 | 451527 | 4915605 | 817 |
| 3 | 451617 | 4915840 | 806 |
| 4 | 451800 | 4915964 | 802 |
| 5 | 451992 | 4916087 | 816 |
| 6 | 452084 | 4916296 | 813 |
| 7 | 452188 | 4916479 | 821 |
| 8 | 452341 | 4916618 | 814 |
| 9 | 452500 | 4916736 | 796 |
| 10 | 452623 | 4916900 | 772 |

*Tabella 1:Coordinate aerogeneratori Traversine*

Di seguito si riporta il layout su mappa del vento calcolata all'altezza di 60 m:

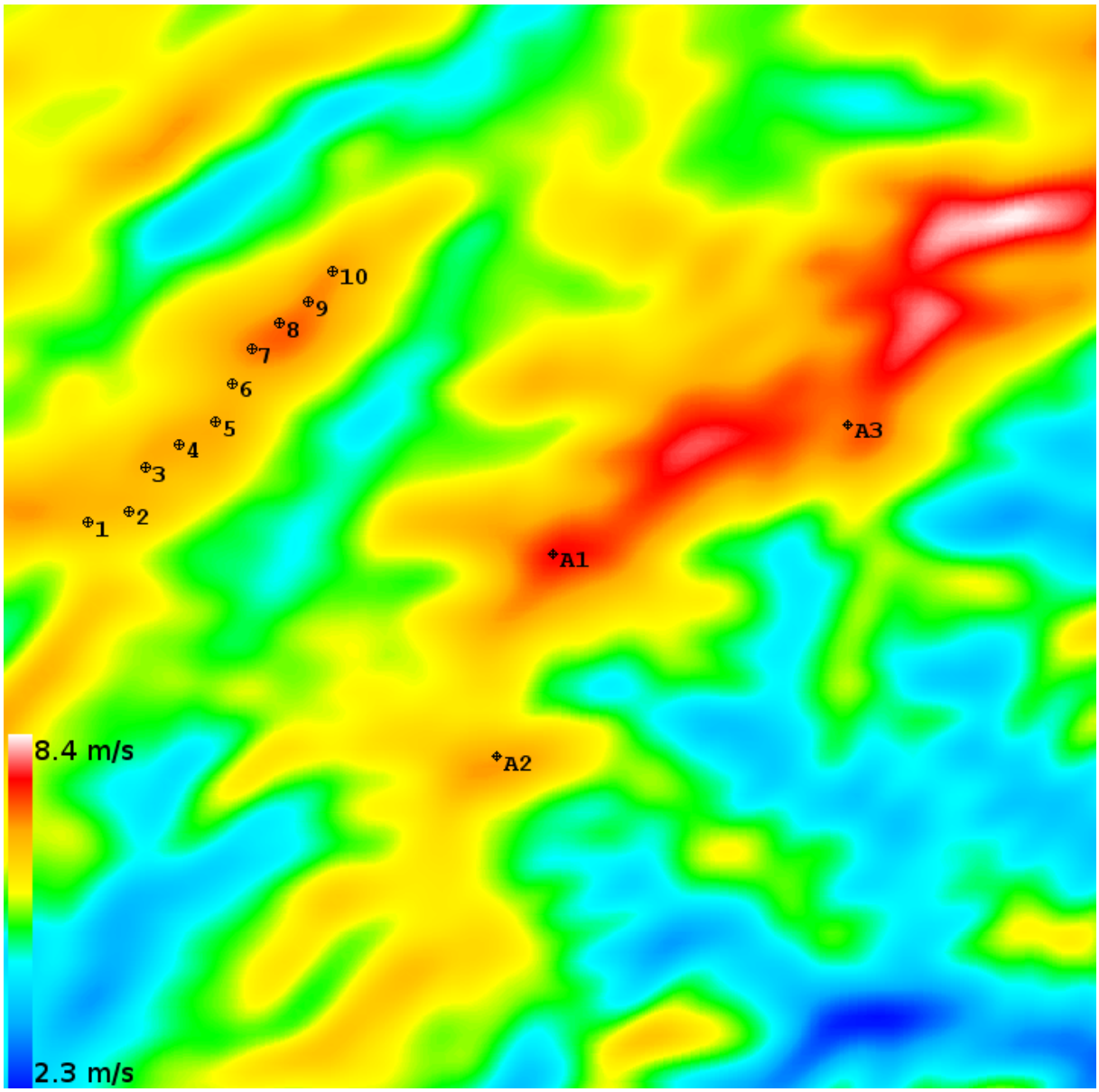



*Figura 20: Mappa del vento calcolata all'altezza di 60 m*

## 6. AEROGENERATORI CONSIDERATI

Le tipologie di aerogeneratori prese in esame in questo studio sono riassunte nella tabella seguente.

| ***Aerogeneratore*** | ***Potenza MW*** | ***Diametro Rotore m*** | ***Altezza mozzo m*** |
|---|---|---|---|
| Enercon E82 | 2.3 | 82 | 98 |
| Enercon E92 | 2.35 | 92 | 98 |
| MM92 | 2 | 92 | 90 |
| MM100 | 2 | 100 | 95 |
| V100 | 1.8 | 100 | 95 |

*Tabella 2: caratteristiche aerogeneratori scelti*

Al fine di eliminare gli effetti di attrito che la copertura boscosa presente sul sito ha sul flusso di vento, si è deciso di introdurre una altezza di displacement di 10 m. Questo accorgimento implica che l'altezza del mozzo degli aerogeneratori sopra elencati è stata abbassata di 10 m.

## 7. RISULTATI ANALISI DI PRODUCIBILITÀ

Di seguito si riportano le produzioni elettriche previste con il 50 % della probabilità di essere superate per la tipologia di aerogeneratori selezionati.
La produzione stimata è tra 54970 e 64155 GWh.

Il valore di produzione lorda a cui bisogna applicare i seguenti coefficienti di riduzione della produzione per ottenere la produzione netta:

| | |
|---|---|
| Disponibilità | 2% |
| Perdite elettriche | 2% |
| Ghiaccio e degrado della pala | 4% |

*Tabella 3: Coefficienti di riduzione della produzione applicati alla produzione lorda*

## 8. CONCLUSIONI

L'analisi eseguita ha definito il potenziale eolico del sito di "Traversine-Cascinassa", situato in Regione Liguria, Comune di Cairo Montenotte.

L'impostazione del modello fluidodinamico è stata basata sui dati provenienti da anemometri prossimi e dai dati di produzione misurati dagli aerogeneratori dei due parchi eolici funzionanti in prossimità del sito. L'abbondanza di dati disponibili ha permesso di costruire un modello di previsione attendibile. Tuttavia essendo la distanza minima degli anemometri utilizzati per il calcolo, dal sito di Traversine, superiore ai due chilometri, si necessita di confermare i risultati proposti in questa analisi con calcoli di produzione effettuati utilizzando dati anemometrici misurati in sito.

I risultati ottenuti dimostrato l'ottimo potenziale eolico dell'area in esame e la possibilità di sfruttamento tramite l'installazione di aerogeneratori. La disposizione degli aerogeneratori unita alla ottima esposizione del crinale fa si che gli aerogeneratori subiscano effetti scia prossimi a zero.