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

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
"Cascinassa"
Progetto Definitivo

1.11 Studio del Potenziale Eolico

Progettisti:

Dott.ssa Giulia Canavero

Giulia Canavero

Data	Rev.	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato
24.10.2018	B	Aggiornamento Elaborato	Ardenghi	Canavero	Bertuccio
24.05.2017	A	Prima emissione	Canavero	Canavero	Bertuccio

Comm. 61 **Elaborato:** CSN-1.11-B_Studio del potenziale eolico

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 8

2.1. STRUTTURA "0705" 10

2.1.1. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA 10

2.1.2. ANALISI DEI DATI MISURATI 10

2.2. STRUTTURA "0723" 13

2.2.1. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA 13

2.2.2. ANALISI DEI DATI MISURATI 13

2.3. STRUTTURA "ENECRO" 16

2.3.1. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA 16

2.3.2. ANALISI DEI DATI MISURATI 16

2.4. STRUTTURA "0737" 19

2.4.1. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA 19

2.4.2. ANALISI DEI DATI MISURATI 20

2.4.3. CORRELAZIONI 28

2.4.4. PROFILO VERTICALE DELLA VELOCITÀ 29

3. DESCRIZIONE DEL MODELLO DI SIMULAZIONE 31

3.1. MODELLO OROGRAFICO UTILIZZATO 31

3.2. LAYOUT E STIMA DELLA PRODUZIONE 32

4. CONCLUSIONI 33

1. DESCRIZIONE DEL SITO

L'area interessata dall'impianto si trova nel comune di Cairo Montenotte, località Cascinassa, il crinale è interno all'Appennino Ligure, non direttamente affacciato sulla linea di costa, a nord e parallelo al crinale dove è installato il parco eolico "Valbormida".

L'altezza media non eccessiva dell'Appennino alle spalle della città di Savona, permette un significativo deflusso di masse d'aria da e per il bacino della pianura Padana, anche a bassa quota.



Figura 1: Orografia 3D dell'area vasta, in nero il sito

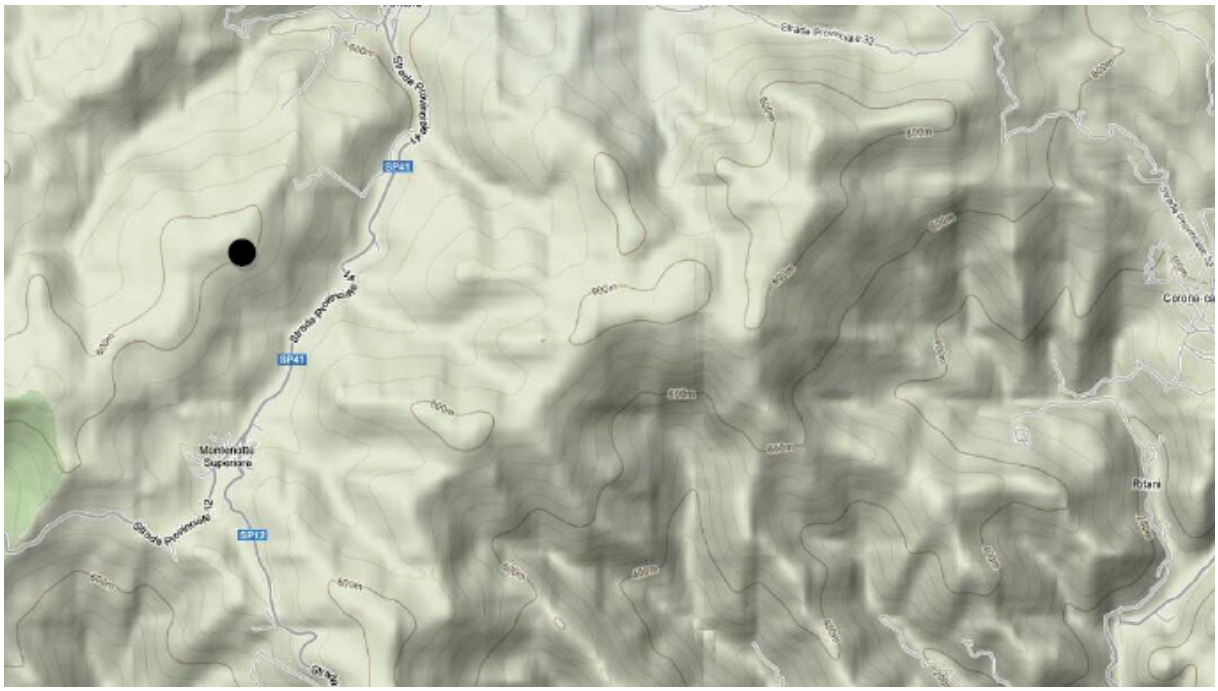


Figura 2: Orografia 3D di dettaglio

Il crinale in esame si estende con allineamento Sud-Est Nord-Ovest per circa 2.5*km*, rimanendo ad una quota di circa 800*m* sul livello del mare. L'andamento orografico risulta dolce e non sono presenti forti pendenze in prossimità della linea di crinale.

Nelle figure 1 e 2 si nota come ci siano circa 12*km* alla line di costa, e soprattutto in direzione Sud-Ovest sia presente un crinale di consistenza paragonabile, posto immediatamente sottovento.

La superficie risulta boscata.

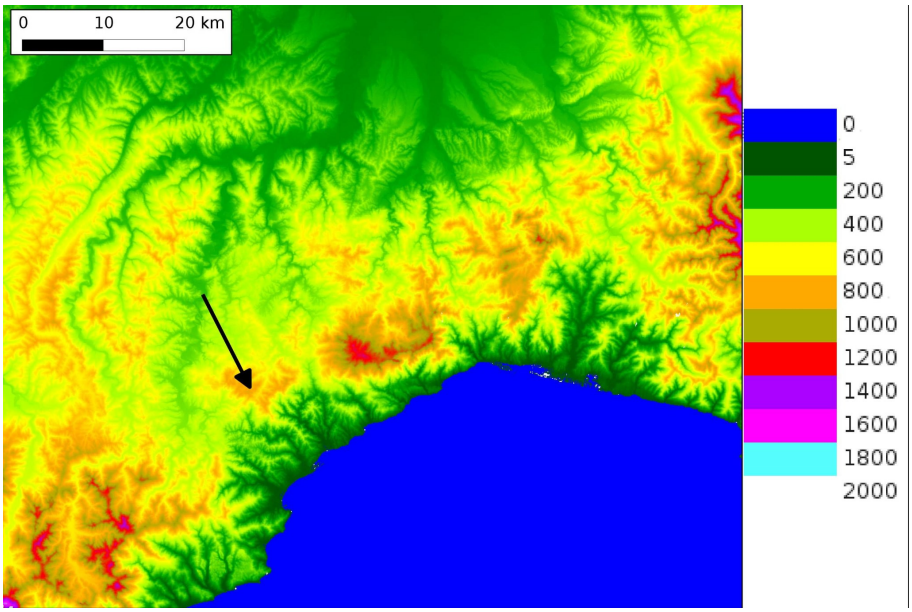


Figura 3 - Vista generale dell'orografia della zona geografica

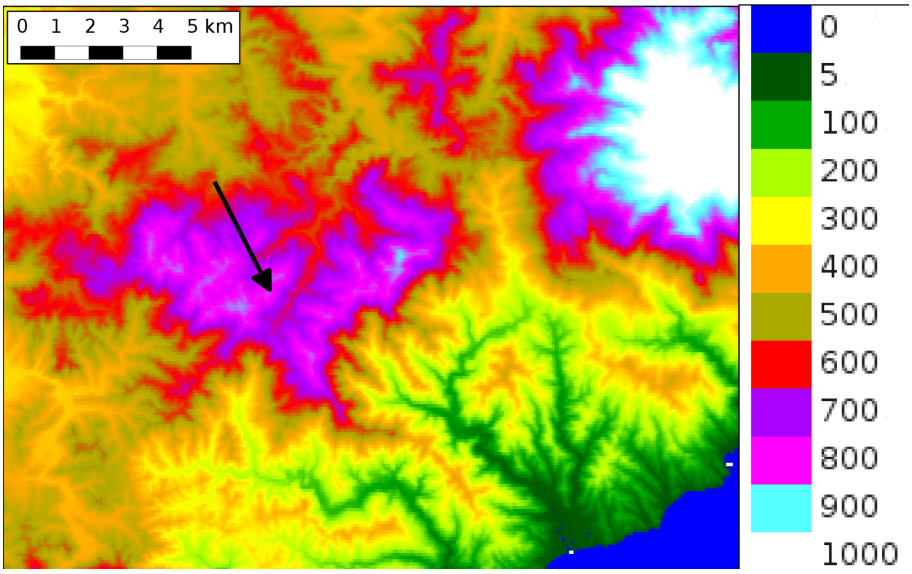


Figura 4 -Vista di dettaglio dell'orografia della zona geografica

2. STAZIONI DI MISURA

In prossimità del sito sono state effettuate numerose campagne di misura anemologiche.

In figura 3 sono riportate le posizioni delle strutture di misura in relazione all'area di crinale in esame:

- "0705": stazione di misura di proprietà FERA. Struttura tubolare con altezza massima di misura posta a 40 m dal suolo
- "0710": stazione di misura di proprietà FERA. Struttura tubolare con altezza massima di misura posta a 40 m dal suolo
- "0712": stazione di misura di proprietà FERA. Struttura tubolare con altezza massima di misura posta a 30 m dal suolo
- "0723": stazione di misura di proprietà FERA. Struttura tubolare con altezza massima di misura posta a 38 m dal suolo
- "0737": stazione di misura di proprietà FERA. Struttura tubolare con altezza massima di misura posta a 40 m dal suolo
- "ENEPNT": stazione tralicciata di proprietà Enercon-FERA (di cui si dispongono i dati) con altezza di misura di 60 m dal suolo
- "ENECRO": stazione tralicciata di proprietà Enercon-FERA (di cui si dispongono i dati) con altezza di misura di 60 m dal suolo

In figura 4 vengono riportati i contributi energetici misurati dalle differenti stazioni. Si nota come per la stazione "ENEPNT" e "0737", la provenienza principale sia quella dal mare, al contrario delle stazioni poste su crinali prospicienti la linea di costa.

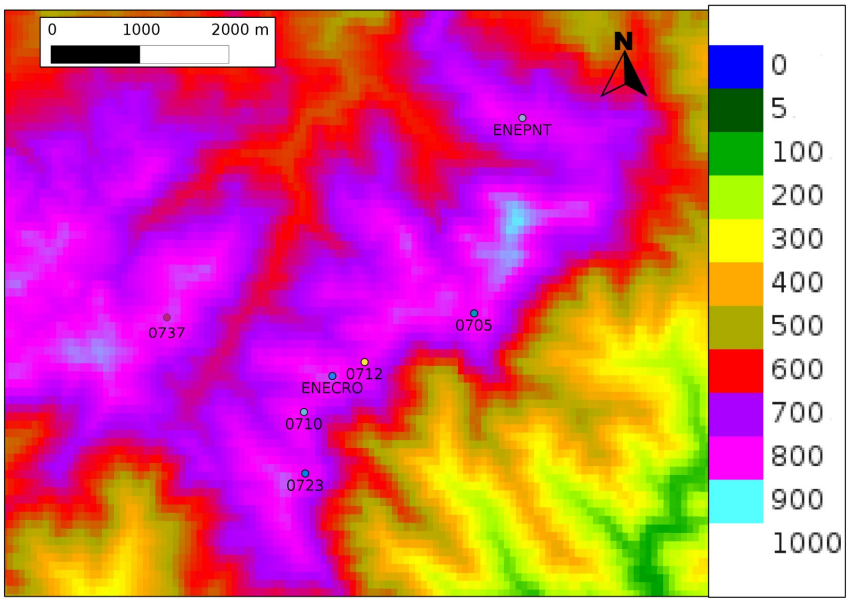


Figura 5 -Posizione delle campagne di misura effettuate

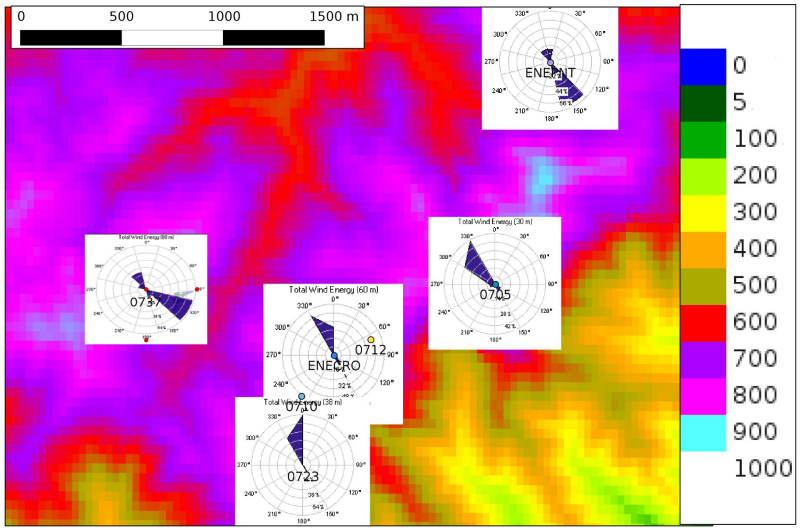


Figura 6 -Contributi energetici per settore di provenienza del vento

2.1. STRUTTURA "0705"

La struttura di misura con codice "0705" si trova in Regione Liguria, Provincia di Savona e Comune di Cairo Montenotte, alle coordinate UTM WGS84 32T 455410 m Est e 4916072 m Nord, ad una quota di 790 m s.l.m.

2.1.1. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

La struttura di misurazione è costituita da un sostegno tubolare, provvisto di supporti sensori di lunghezza 1.5*m* su cui sono montati 3 sensori calibrati di velocità ed 1 sensore di direzione. La configurazione utilizzata è in totale accordo con quanto richiesto della normativa IEC 61400.

I sensori di velocità installati sono del tipo NRG Maximum #40C nuovi e calibrati, i sensori di direzione sono del tipo NRG #200P nuovi (figura 6). I dati misurati sono registrati tramite Logger Nomad II della Secondwind su un supporto di memoria non volatile.

Vengono calcolate e registrate le seguenti grandezze:

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

Sensori di direzione: Direzione media sull'intervallo di 10 minuti;

Inoltre viene registrata la temperatura all'interno dell'involucro del Logger.



Figura 7 -Tipologia sensori installati

2.1.2. ANALISI DEI DATI MISURATI

La struttura ha iniziato a misurare il 15/05/2003 ed è stata dismessa il 29/09/2008

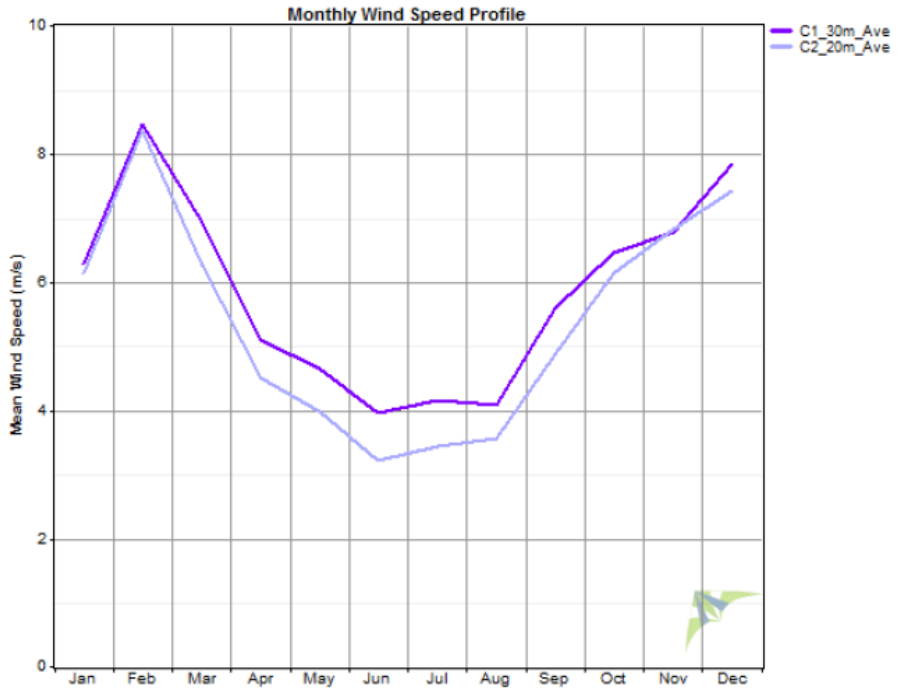


Figura 8 : Andamento mensile medio

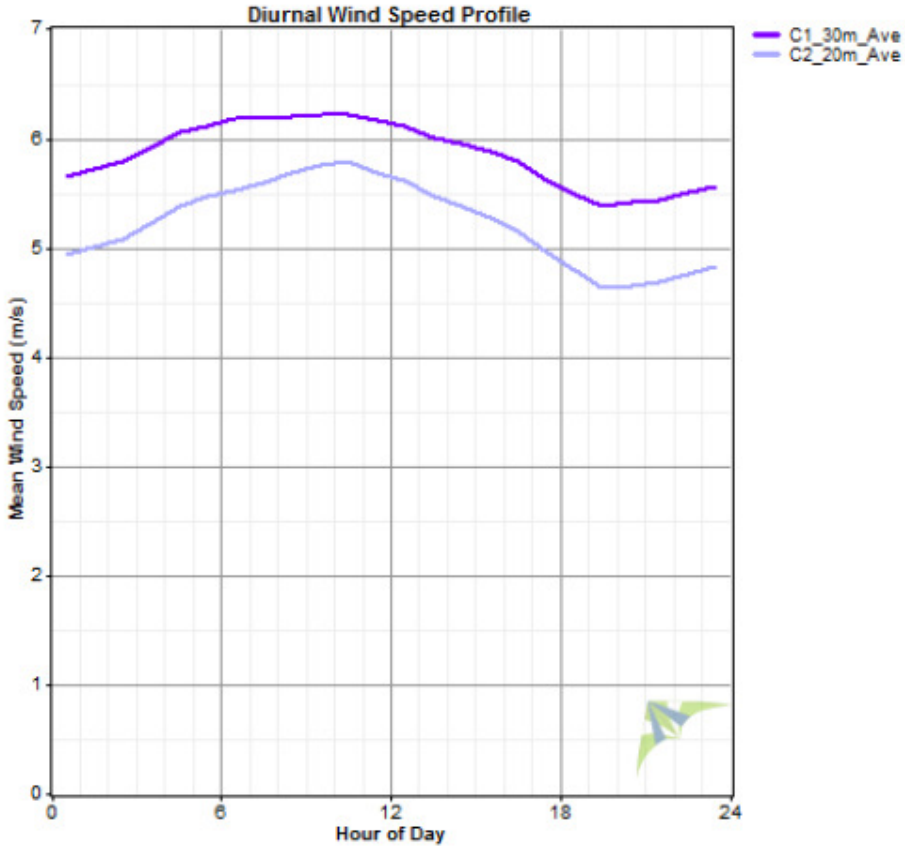


Figura 9 : Andamento giornaliero medio

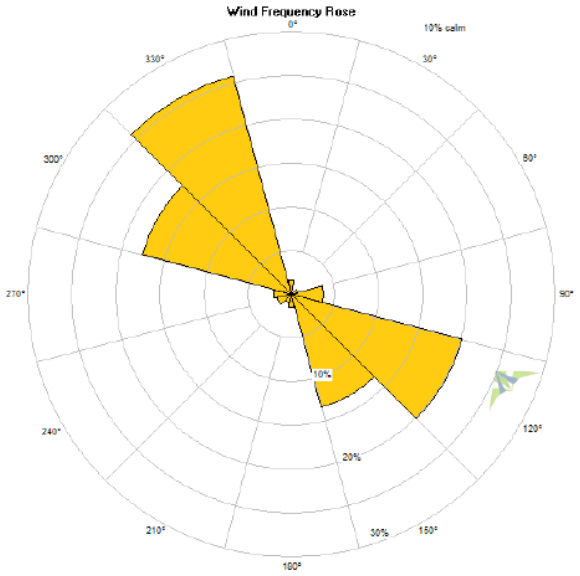
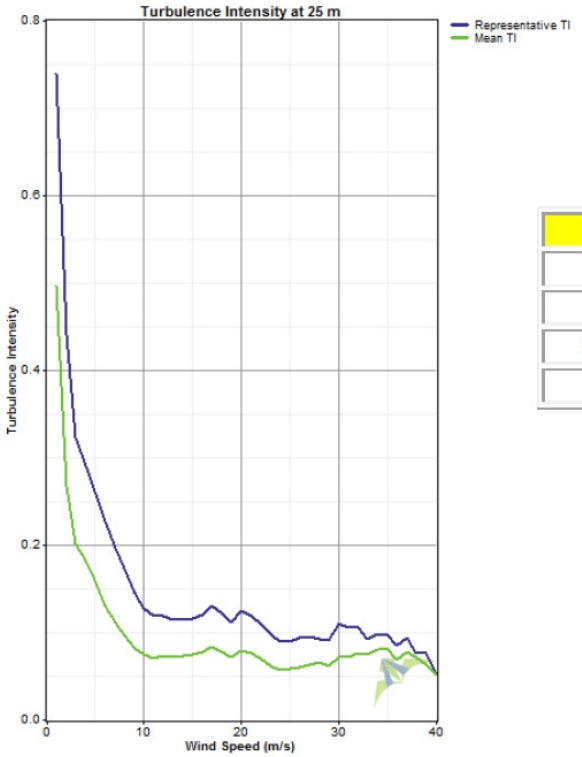


Figura 10 : Rosa del vento in frequenza



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 11: Intensità di turbolenza e tabella relativa

Le direzioni del vento principali sono NW e SE; la turbolenza in sito risulta molto bassa rientrando nella categoria C stabilita dalla normativa IEC.

2.2. STRUTTURA "0723"

La struttura di misura con codice "0723" si trova in Regione Liguria, Provincia di Savona e Comune di Savona, alle coordinate UTM WGS84 32T 453516 m Est e 4914278 m Nord, ad una quota di 780 m s.l.m.

2.2.1. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

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 ed 1 sensore di direzione. La configurazione utilizzata è in totale accordo con quanto richiesto della normativa IEC 61400.

I sensori di velocità installati sono del tipo NRG Maximum #40C nuovi e calibrati, i sensori di direzione sono del tipo NRG #200P nuovi (figura 6). I dati misurati sono registrati tramite Logger Nomad II della Secondwind su un supporto di memoria non volatile.

Vengono calcolate e registrate le seguenti grandezze:

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

Sensori di direzione: Direzione media sull'intervallo di 10 minuti;

Inoltre viene registrata la temperatura all'interno dell'involucro del Logger.



Figura 12 -Tipologia sensori installati

2.2.2. ANALISI DEI DATI MISURATI

La struttura ha iniziato a misurare il 19/03/2009 ed il set di dati considerato si ferma al giorno 019/04/2013

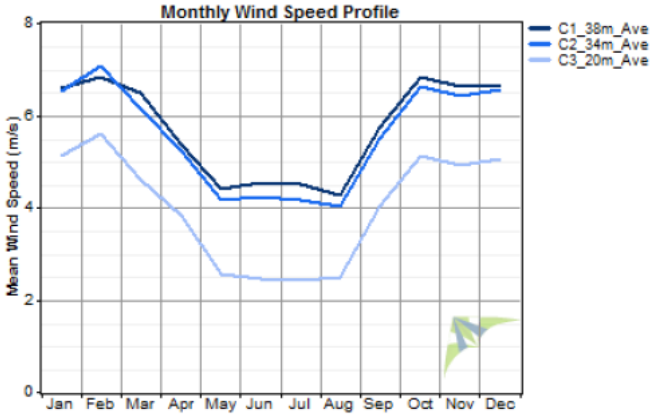


Figura 16: Andamento mensile medio

Figura 13 : Andamento mensile medio

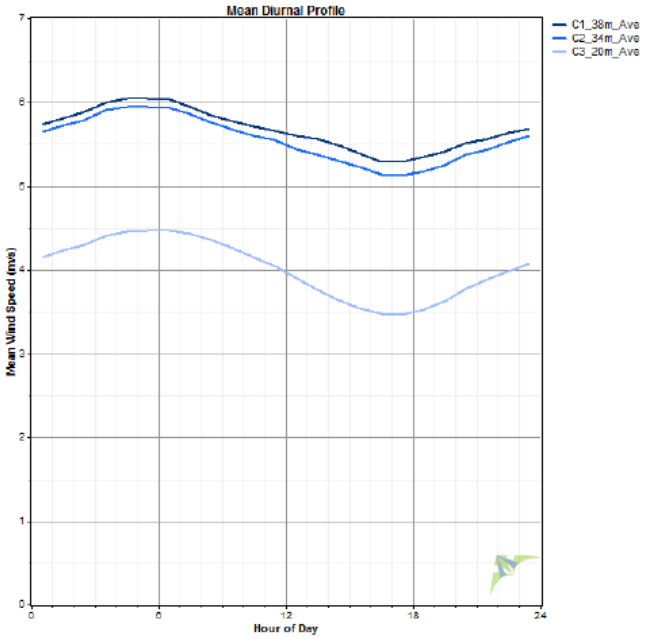


Figura 14 : Andamento giornaliero medio

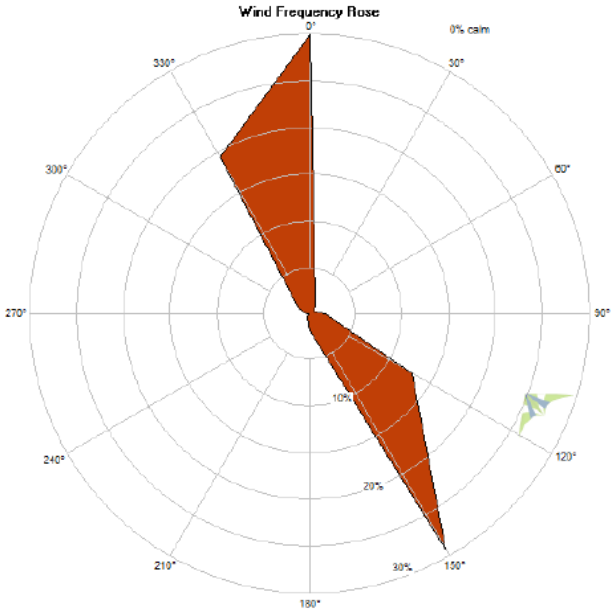
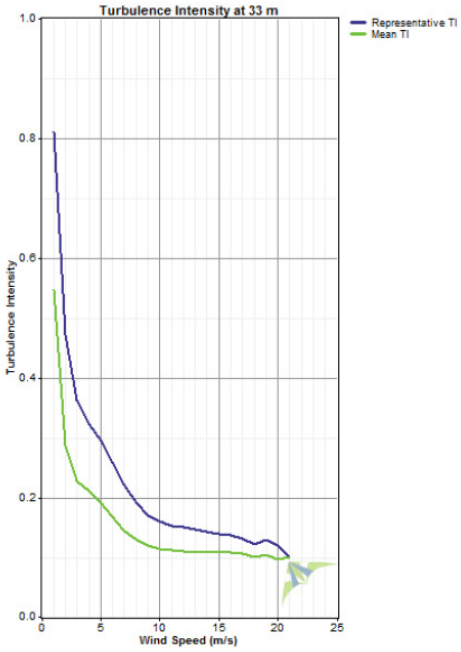


Figura 15: Rosa del vento in frequenza



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 16: Intensità di turbolenza e tabella relativa

Le direzioni del vento principali sono N e SE; la turbolenza in sito risulta molto bassa rientrando nella categoria C stabilita dalla normativa IEC.

2.3. STRUTTURA "ENECRO"

La struttura di misura con codice "ENECRO" si trova in Regione Liguria, Provincia di Savona e Comune di Cairo Montenotte, alle coordinate UTM WGS84 32T 453820 m Est e 4915373 m Nord, ad una quota di 8320 s.l.m..

2.3.1. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

La struttura di misurazione è costituita da un sostegno tralicciato, provvisto di supporti sensori di lunghezza 1.5*m* su cui sono montati 3 sensori calibrati di velocità ed 2 sensori di direzione. La configurazione utilizzata è in totale accordo con quanto richiesto della normativa IEC 61400.

I sensori di velocità installati sono del tipo NRG Maximum #40C nuovi e calibrati, i sensori di direzione sono del tipo NRG #200P nuovi (figura 6). I dati misurati sono registrati tramite Logger Nomad II della Secondwind su un supporto di memoria non volatile.

Vengono calcolate e registrate le seguenti grandezze:

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

Sensori di direzione: Direzione media sull'intervallo di 10 minuti;

Inoltre viene registrata la temperatura all'interno dell'involucro del Logger.



Figura 17 -Tipologia sensori installati

2.3.2. ANALISI DEI DATI MISURATI

La struttura ha iniziato a misurare il 6/09/2007 ed è stata dismessa il 1/10/2008

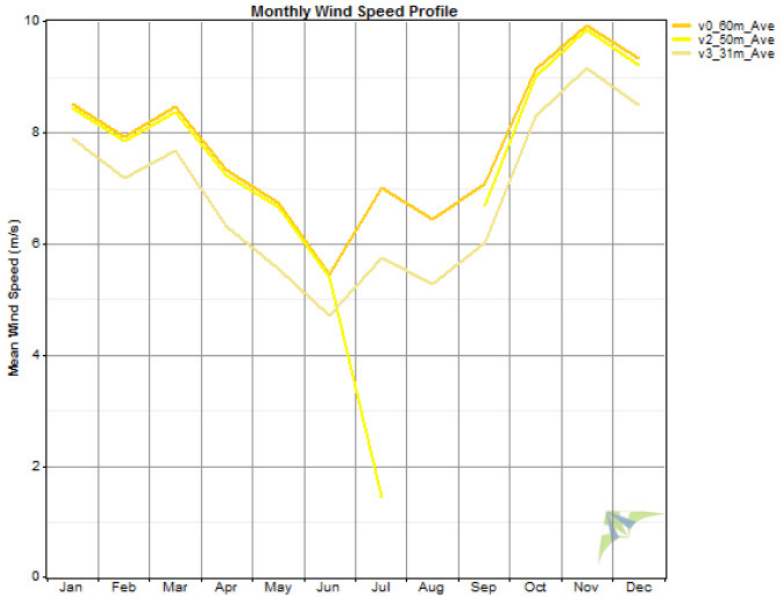


Figura 18: Andamento mensile medio

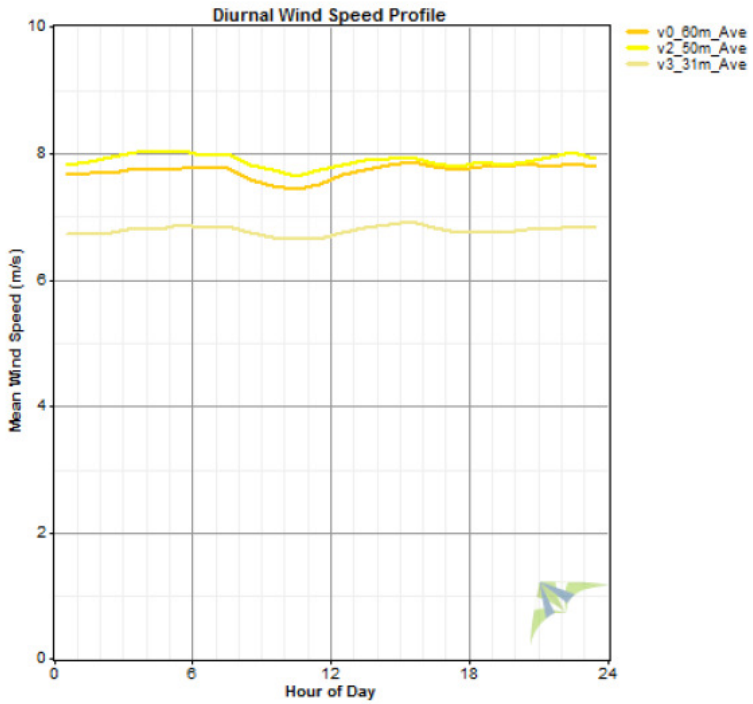


Figura 19: Andamento giornaliero medio

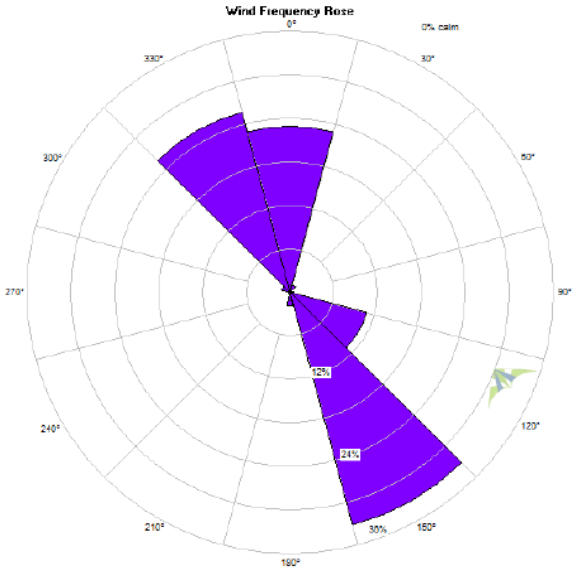
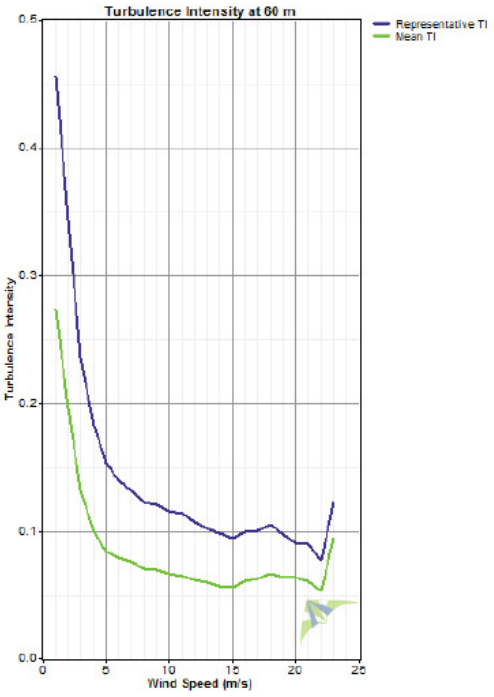


Figura 20: Rosa del vento in frequenza



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 21: Intensità di turbolenza e tabella relativa

Le direzioni del vento principali sono NW e SE; la turbolenza in sito risulta molto bassa rientrando nella categoria C stabilita dalla normativa IEC.

2.4. STRUTTURA "0737"

La struttura di misura con codice "0737" si trova in Regione Liguria, Provincia di Savona e Comune di Cairo Montenotte, alle coordinate UTM WGS84 32T 451965*m* Est e 4916026*m* Nord, ad una quota di 837*m* s.l.m.

2.4.1. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

La struttura di misurazione è costituita da un sostegno tubolare, provvisto di supporti sensori di lunghezza 1.5*m* su cui sono montati 4 sensori calibrati di velocità ed 1 sensore di direzione. La configurazione utilizzata è in totale accordo con quanto richiesto della normativa IEC 61400.

La configurazione della struttura di misura è visibile in figura 5.

I sensori di velocità installati sono del tipo NRG Maximum #40C nuovi e calibrati, i sensori di direzione sono del tipo NRG #200P nuovi (figura 6). I dati misurati sono registrati tramite Logger NRG9210 su un supporto di memoria non volatile.

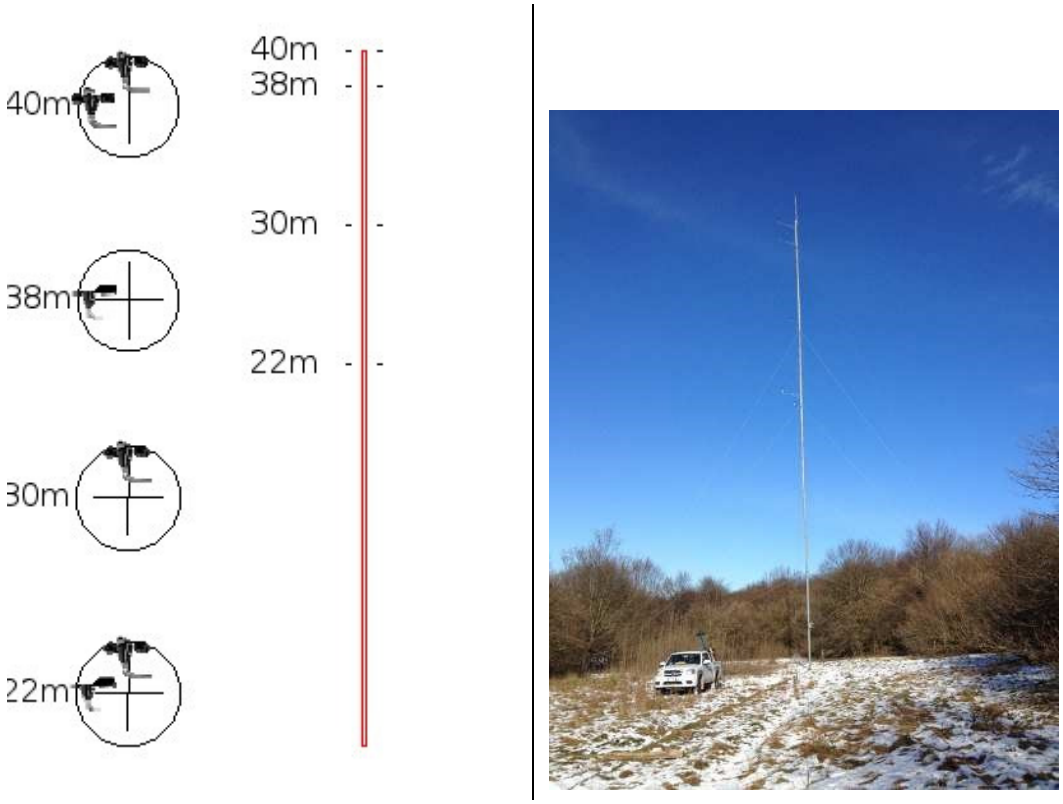


Figura 22 -0737: Schema struttura anemometrica

Vengono calcolate e registrate le seguenti grandezze:

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

Sensori di direzione: Direzione media sull'intervallo di 10 minuti;

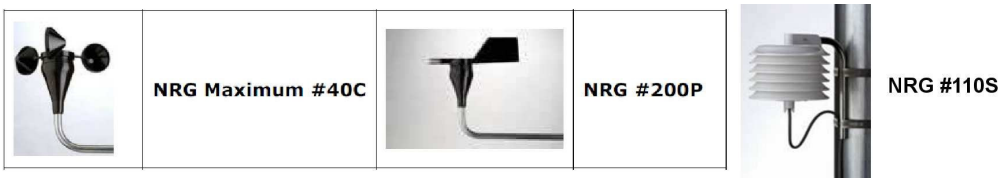


Figura 23 -Tipologia sensori installati

2.4.2. ANALISI DEI DATI MISURATI

La struttura "0737" ha iniziato le registrazioni il giorno 27 Novembre 2013, ed è tuttora in funzione.

La serie temporale è stata controllata per eliminare le misurazioni che risultano affette da formazione di ghiaccio o da malfunzionamenti. Nelle tabelle seguenti sono riportate le medie mensili misurate per ogni quota e con le rispettive disponibilità.

*Tabella 1 - Velocità mensili alla quota di 40.0*m

Anno	Mese	Disponibilità %	Media $\frac{m}{s}$	Max 10min	Max Max
2013	Nov	11.9	6.74	12.29	17.87
2013	Dic	92.8	6.00	19.31	34.56
2014	Gen	77.1	5.06	13.23	35.70
2014	Feb	96.0	5.52	13.68	22.80
2014	Mar	92.7	6.23	14.27	36.46
2014	Apr	100.0	5.34	13.50	23.56
2014	Mag	100.0	5.69	14.38	23.18
2014	Giu	8.9	3.92	6.63	9.52
2014	Lug	53.4	4.43	13.35	20.90
2014	Ago	96.8	5.05	14.41	20.90
2014	Set	100.0	4.70	13.12	17.49
2014	Ott	100.0	5.31	14.00	22.42
2014	Nov	100.0	4.84	16.77	31.15
2014	Dic	67.8	5.83	11.82	17.11

2015	Gen	0.0	0.00	0.00	0.00
2015	Feb	0.0	0.00	0.00	0.00
2015	Mar	78.6	6.16	14.32	21.66
2015	Apr	91.7	5.49	13.82	23.94
2015	Mag	100.0	5.86	14.77	21.66
2015	Giu	100.0	4.30	12.57	19.01
2015	Lug	100.0	4.98	12.75	18.25
2015	Ago	100.0	4.44	11.12	16.73
2015	Set	100.0	5.85	13.78	20.52
2015	Ott	100.0	6.34	14.85	21.28
2015	Nov	100.0	6.36	17.40	30.01
2015	Dic	100.0	4.19	11.76	16.73

Tabella 2 - Velocità mensili alla quota di 40.0m

Anno	Mese	Disponibilità %	Media $\overline{ms}$	Max 10min	Max Max
2016	Gen	87.7	6.07	12.77	19.39
2016	Feb	95.1	6.31	16.49	24.70
2016	Mar	100.0	6.74	13.92	29.63
2016	Apr	100.0	6.22	13.97	21.66
2016	Mag	100.0	5.23	13.65	20.14
2016	Giu	100.0	4.86	14.02	22.42
2016	Lug	100.0	5.07	15.08	24.32
2016	Ago	100.0	5.23	12.68	18.63
2016	Set	100.0	4.63	11.86	19.01
2016	Ott	100.0	5.86	16.05	23.18
2016	Nov	99.1	5.30	18.38	33.43
2016	Dic	0.0	0.00	0.00	0.00
Totale		89.5	5.45		

In figura 7 è riportata una sintesi dell'andamento stagionale della velocità del vento misurata alle varie quote.

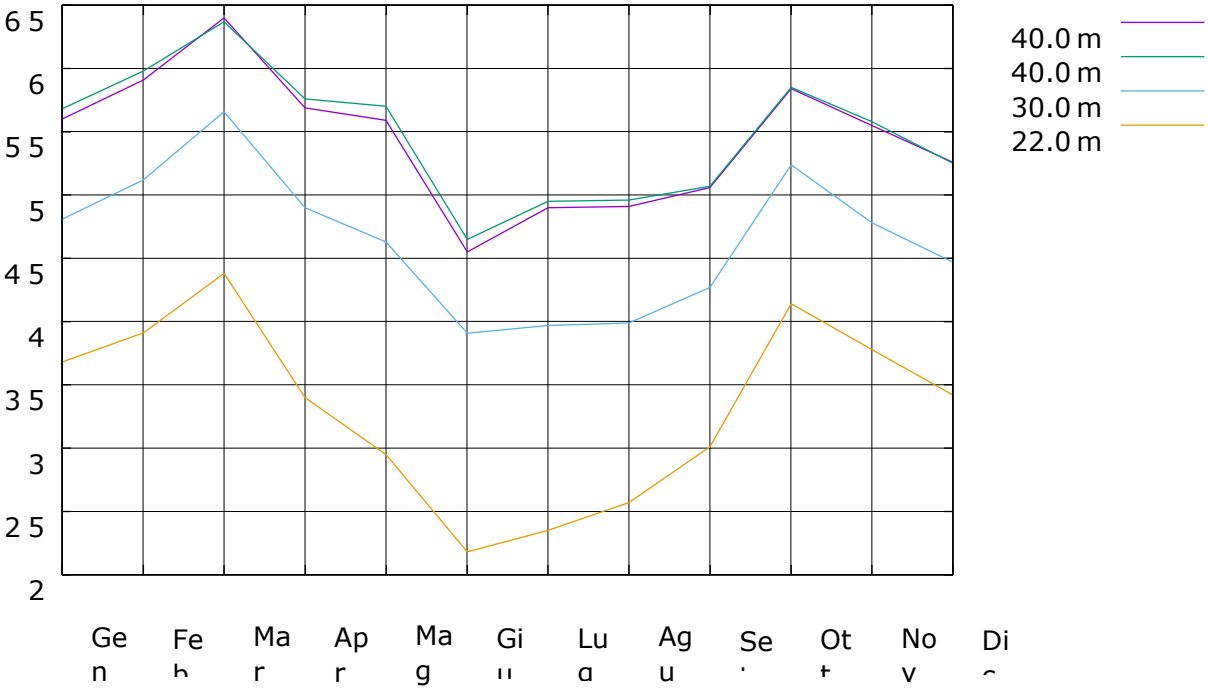
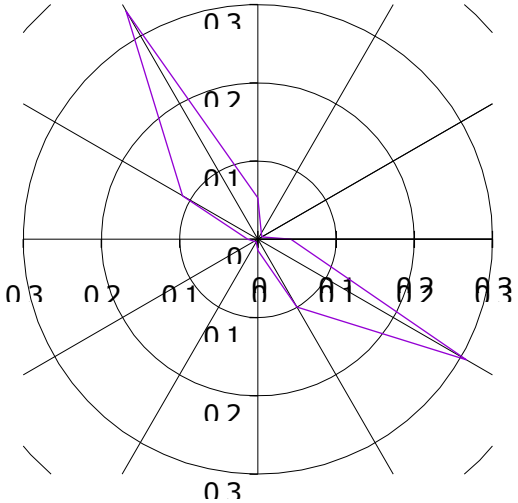


Figura 24 -0737: Andamento stagionale della ventosità misurata

In figura 8 sono riportate la rosa del vento in frequenza e il contributo energetico del vento suddiviso per settore di provenienza.



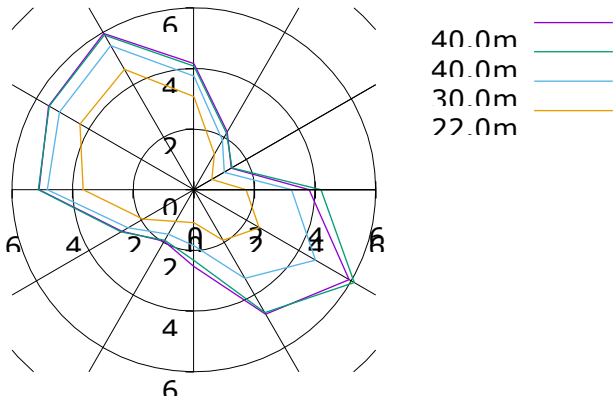


Figura 25 -0737: rosa del vento in frequenza e velocità media per settore di direzione

Le direzioni regnanti (a maggiore frequenza) sono ben definite. Nel dettaglio la componente di Nord-Ovest si riduce rispetto a quanto misurato sui siti più vicini alla costa, mentre aumenta l'importanza in termini energetici della componente di Sud-Est.

Tabella 3 - Velocità mensili alla quota di 40.0m

Anno	Mese	Disponibilità %	Media $m\ s^{-1}$	Max 10min	Max Max
2013	Nov	11.9	6.57	11.96	17.01
2013	Dic	92.8	5.90	18.88	34.43
2014	Gen	77.1	5.12	13.30	22.31
2014	Feb	96.0	5.53	13.86	22.69
2014	Mar	92.7	6.19	14.43	28.37
2014	Apr	100.0	5.39	13.40	18.91
2014	Mag	100.0	5.79	14.02	22.31
2014	Giu	8.9	3.94	6.57	9.82
2014	Lug	53.4	4.46	13.60	21.18
2014	Ago	96.8	5.22	14.59	21.56
2014	Set	100.0	4.69	12.99	17.01

2014	Ott	100.0	5.33	13.86	21.56
2014	Nov	100.0	4.86	16.74	30.26
2014	Dic	67.8	5.82	11.80	17.01
2015	Gen	0.0	0.00	0.00	0.00
2015	Feb	0.0	0.00	0.00	0.00
2015	Mar	78.6	6.04	14.05	21.56
2015	Apr	91.7	5.48	14.61	23.83
2015	Mag	100.0	5.98	15.92	22.31
2015	Giu	100.0	4.33	12.48	18.91
2015	Lug	100.0	5.08	13.18	18.53
2015	Ago	100.0	4.43	11.65	17.01
2015	Set	100.0	5.89	13.92	20.80
2015	Ott	100.0	6.35	14.77	21.56
2015	Nov	100.0	6.39	17.18	29.13
2015	Dic	100.0	4.27	11.65	18.15

In figura 9 è riportata la distribuzione in frequenza annuale relativa alla misurazione effettuata a 40m dal suolo. Sovrapposta alla distribuzione in frequenza viene riportata la curva di weibull che meglio approssima tale distribuzione. Si nota come le velocità si mantengono a regimi medi, mentre sono trascurabili i contributi al di sopra dei 15$\frac{m}{s}$.

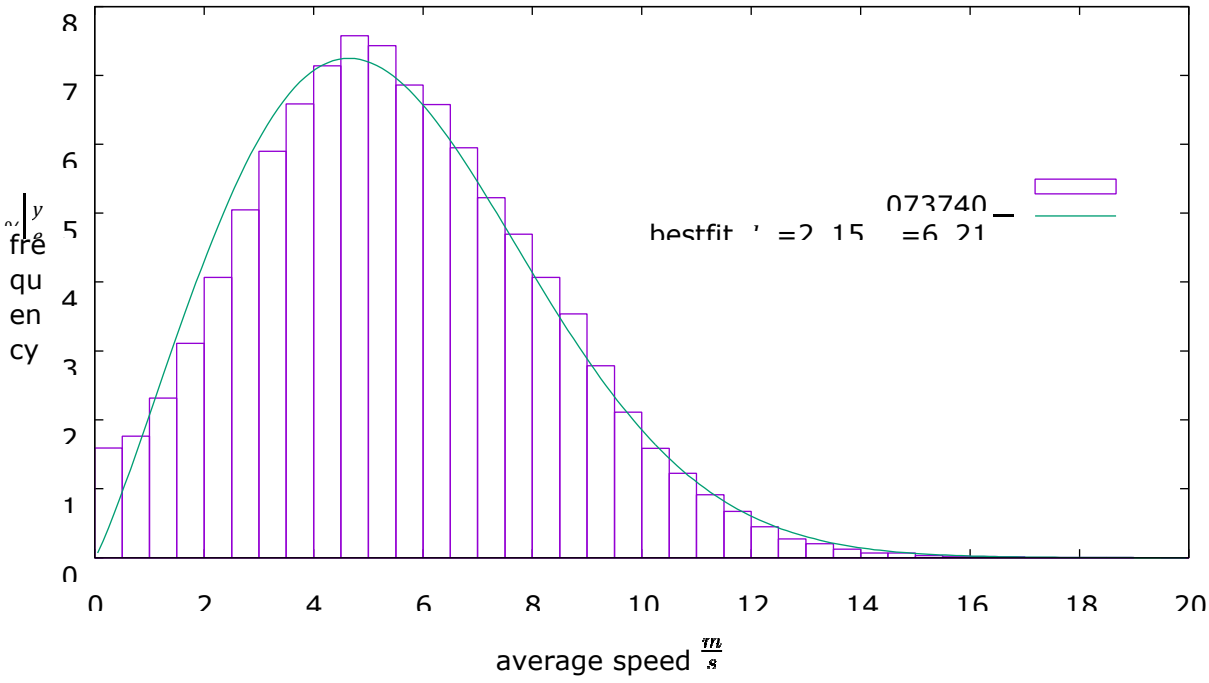


*Figura 26 - 0737: distribuzione in frequenza annuale della velocità misurata a 40*m *dal suolo.*

La disposizione dei sostegni dei sensori è tale da minimizzare gli effetti di ombreggiamento sulle misurazioni da parte della struttura di sostegno.

Tabella 4 - Velocità mensili alla quota di 40.0m

Anno	Mese	Disponibilità %	Media $m\,s^{-1}$	Max 10min	Max Max
2016	Gen	85.8	6.19	12.67	20.42
2016	Feb	95.1	6.44	16.36	24.21
2016	Mar	100.0	6.80	14.47	21.56
2016	Apr	100.0	6.39	14.59	22.69
2016	Mag	100.0	5.33	13.39	19.66
2016	Giu	100.0	5.02	15.14	22.69
2016	Lug	100.0	5.09	14.94	23.07
2016	Ago	100.0	5.23	13.09	18.53
2016	Set	100.0	4.63	11.96	19.66
2016	Ott	100.0	5.87	15.98	21.93
2016	Nov	99.1	5.37	19.88	33.67
2016	Dic	0.0	0.00	0.00	0.00
Totale		89.5	5.49		

Tabella 5 - Velocità mensili alla quota di 30.0m

Anno	Mese	Disponibilità %	Media $m\,s^{-1}$	Max 10min	Max Max
2013	Nov	11.9	5.87	10.76	16.72
2013	Dic	92.8	5.07	14.69	28.17
2014	Gen	77.1	4.40	11.75	17.87
2014	Feb	96.0	4.83	11.96	20.92
2014	Mar	92.7	5.45	11.76	21.30
2014	Apr	100.0	4.61	12.67	20.16

2014	Mag	100.0	4.70	13.04	22.45
2014	Giu	100.0	4.29	20.72	37.33
2014	Lug	70.7	3.83	9.80	20.54
2014	Ago	96.8	3.87	9.58	18.25
2014	Set	100.0	4.10	12.08	17.49
2014	Ott	100.0	4.63	13.15	20.92
2014	Nov	100.0	4.11	11.32	26.26
2014	Dic	67.8	5.08	10.87	17.11
2015	Gen	0.0	0.00	0.00	0.00
2015	Feb	0.0	0.00	0.00	0.00
2015	Mar	0.0	0.00	0.00	0.00
2015	Apr	31.7	4.91	11.29	22.07
2015	Mag	100.0	4.84	11.76	20.54
2015	Giu	100.0	3.55	11.60	17.87
2015	Lug	100.0	3.90	9.34	17.11
2015	Ago	100.0	3.70	8.67	14.44
2015	Set	100.0	4.83	11.19	18.63
2015	Ott	100.0	5.75	13.73	21.30
2015	Nov	100.0	5.40	15.99	28.93
2015	Dic	100.0	3.51	11.07	15.96

Tabella 6 - Velocità mensili alla quota di 30.0m

Anno	Mese	Disponibilità %	Media $\overline{m\ s}$	Max 10min	Max Max
2016	Gen	87.7	5.17	11.82	19.78
2016	Feb	95.1	5.42	15.47	25.50
2016	Mar	100.0	5.86	13.00	19.78
2016	Apr	100.0	5.18	12.38	20.54
2016	Mag	100.0	4.36	12.27	19.40
2016	Giu	100.0	3.88	10.70	21.30
2016	Lug	100.0	4.14	13.73	23.21

2016	Ago	100.0	4.39	11.54	19.40
2016	Set	100.0	3.89	10.38	16.34
2016	Ott	100.0	5.33	14.73	21.68
2016	Nov	99.1	4.71	15.39	29.31
2016	Dic	0.0	0.00	0.00	0.00
Totale		86.6	4.65		

Tabella 7 - Velocità mensili alla quota di 22.0m

Anno	Mese	Disponibilità %	Media $\overline{ms}$	Max 10min	Max Max
2013	Nov	11.9	4.78	9.19	14.62
2013	Dic	92.8	3.86	12.73	30.39
2014	Gen	77.1	3.39	10.11	26.26
2014	Feb	42.2	3.35	9.01	24.76
2014	Mar	92.7	4.06	10.22	17.62
2014	Apr	100.0	3.34	10.84	16.87
2014	Mag	100.0	2.99	10.73	19.50
2014	Giu	8.9	2.10	4.95	8.24
2014	Lug	38.1	2.61	7.43	13.87
2014	Ago	96.8	2.16	6.64	14.62
2014	Set	100.0	3.03	10.02	16.12
2014	Ott	100.0	3.59	11.10	20.25
2014	Nov	100.0	3.32	8.37	25.13
2014	Dic	67.8	4.05	9.45	16.87
2015	Gen	0.0	0.00	0.00	0.00
2015	Feb	0.0	0.00	0.00	0.00
2015	Mar	78.6	4.64	11.25	20.63
2015	Apr	91.7	3.22	9.62	17.62
2015	Mag	100.0	3.04	9.59	16.87
2015	Giu	100.0	2.20	9.42	16.87

2015	Lug	100.0	2.11	7.39	13.12
2015	Ago	100.0	2.54	7.12	11.61
2015	Set	100.0	3.24	9.12	16.50
2015	Ott	100.0	4.59	11.28	21.00
2015	Nov	100.0	4.03	13.65	28.14
2015	Dic	100.0	2.59	9.84	14.99

Tabella 8 - Velocità mensili alla quota di 22.0m

Anno	Mese	Disponibilità %	Media $\overline{ms}$	Max 10min	Max Max
2016	Gen	87.7	3.94	10.34	19.88
2016	Feb	95.1	4.16	13.06	22.50
2016	Mar	100.0	4.46	11.21	18.75
2016	Apr	100.0	3.62	10.70	18.75
2016	Mag	100.0	2.83	10.11	19.12
2016	Giu	100.0	2.17	7.67	14.62
2016	Lug	100.0	2.48	11.16	21.38
2016	Ago	100.0	3.00	9.41	18.00
2016	Set	100.0	2.75	8.45	14.62
2016	Ott	100.0	4.25	11.80	18.75
2016	Nov	99.1	3.86	11.19	24.01
2016	Dic	0.0	0.00	0.00	0.00
Totale		87.7	3.31		

2.4.3. CORRELAZIONI

E stata fatta una correlazione con i dati misurati nello stesso intervallo di tempo dalla struttura "0723", posta a circa 2*km* in direzione Sud-Est rispetto alla posizione "0737". Sul sito di riferimento "0723" è stato scelto il sensore di velocità posto a 40*m* dal suolo e confrontato con il sensore *C*1 posto a 40*m* sul sito *target* "0737". Sono stati utilizzati su entrambe le strutture i sensori di direzione più alti. La sovrapposizione temporale disponibile inizia il giorno 27/11/2013 alle 11:10 e termina il 28/01/2015. In tabella 9 sono riportati i coefficienti così ottenuti:

Tabella 9 - Correlazione: target "0737", riferimento "0723"

nDirezione	N. Punti	slope	R2	dir off-set
0	2691	0.787	0.65	-19
30	45	0.857	0.07	-19
60	19	1.009	0.03	-24
90	321	1.076	0.09	1
120	9668	1.094	0.47	-2
150	3117	1.211	0.50	-5
180	201	0.870	0.65	111
210	58	0.855	0.58	104
240	233	0.822	0.65	73
270	1275	0.876	0.65	40
300	3743	0.792	0.65	19
330	13965	0.734	0.62	-12
No dir	35336	0.837	0.44	

Dai valori di tabella 9 si riscontra come sulla posizione della struttura "0737", la componente dal mare di provenienza Sud-Est risulta più consistente rispetto a quanto misurato sulla posizione "0723". L'opposto invece accade per la componente con provenienza di Nord-Ovest.

Questo comportamento è da imputarsi al fatto che il crinale di Cascinassa non è affacciato al mare: le masse d'aria in espansione verso il mare prima di accelerare verso la costa devono ancora superare il crinale dell'impianto di Cairo-Savona. Al contrario le masse d'aria in attraversamento dal mare verso la pianura, superato il crinale di Cascinassa sono relativamente libere di espandere verso valle.

2.4.4. PROFILO VERTICALE DELLA VELOCITÀ

Si utilizza un modello matematico per ricavare la velocità a quote superiori rispetto alle quote di misura massime disponibili. Il modello matematico usato per l'interpolazione in quota delle velocità è riportato nell'equazione 1, dove V_1 è la velocità alla quota h_1, V_0 è la velocità alla quota di misura h_0, d è il valore della *displacement height* e a è il parametro del modello.

$$V_1 = V_0 * \left(\frac{h_1 - d}{h_0 - d}\right)^{\alpha} \quad (1)$$

In figura 10 è riportato il campo di velocità in prossimità del suolo così come calcolato da un modello matematico in condizioni di vento da Nord sulla Liguria, infine in figura 11 è riprodotta in laboratorio una schematizzazione dell'espansione dopo un ostacolo e si percepisce come l'accelerazione in prossimità dell'ostacolo si trasmette anche sopravento ma a quote sempre più elevate mano a mano che ci si allontana dal termine dell'ostacolo.

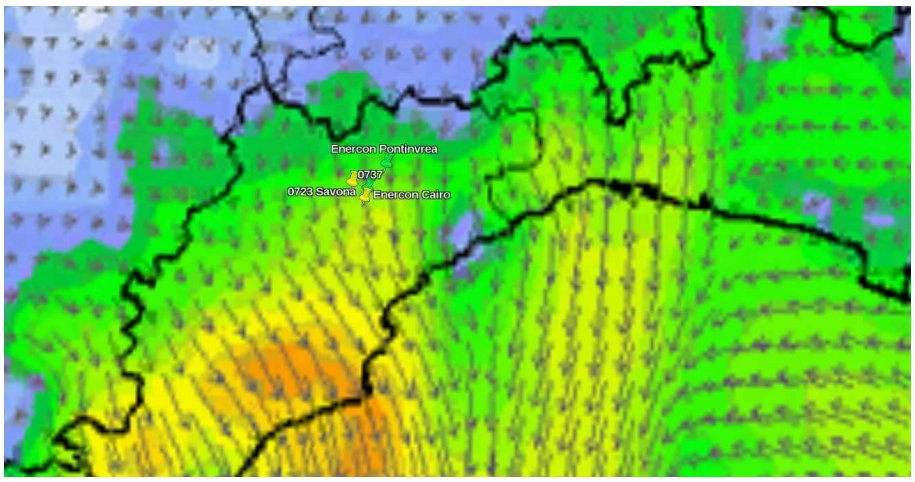


Figura 27 - Campo di velocità calcolata in prossimità del suolo da un modello meteorologico in condizioni di vento da Nord sulla Liguria.

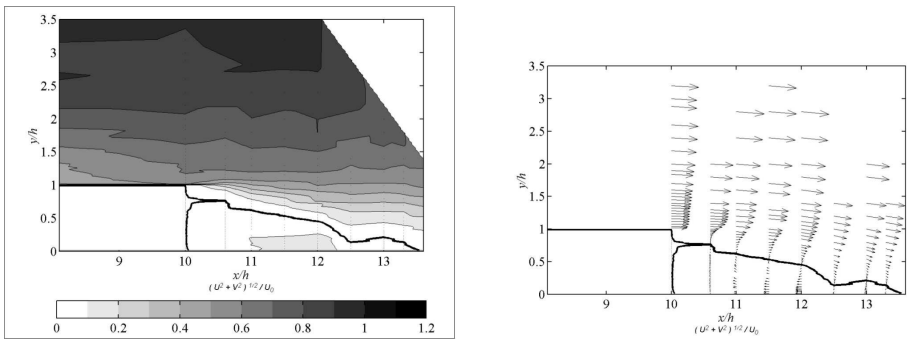


Figura 28 - Campo di velocità simulato per un back facing step*.*

3. DESCRIZIONE DEL MODELLO DI SIMULAZIONE

La simulazione è stata condotta utilizzando il software di simulazione fluidodinamica lineare "WindFarm". Risolvere linearmente le equazioni del flusso con una orografia complessa può provocare errori nella modellazione anche significativi per le posizioni più distanti dalla stazione di misura.

3.1. MODELLO OROGRAFICO UTILIZZATO

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

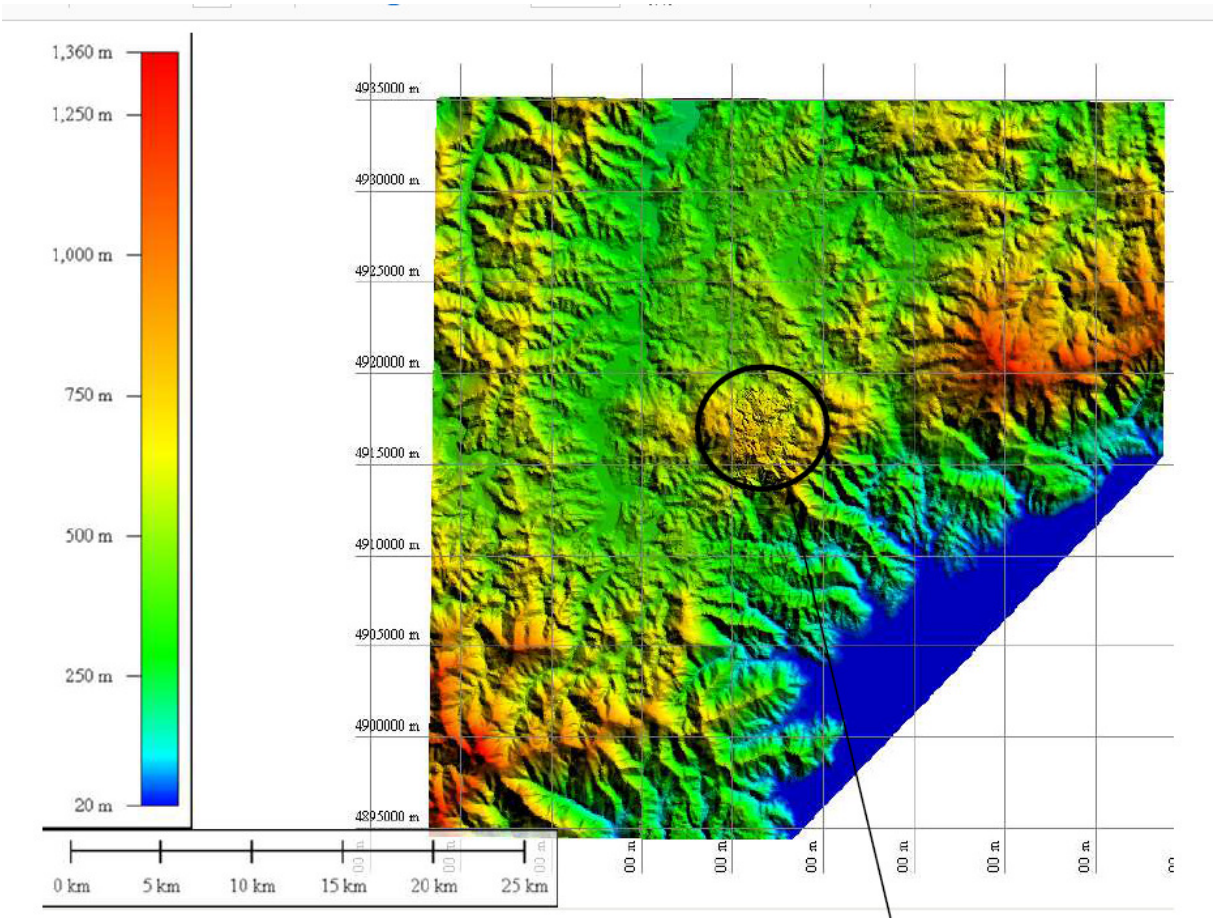


Figura 29: Modello orografico del terreno 20 x 20 e infittimento nell'area di progetto con passo a 5 m

Le misurazioni effettuate dalla struttura "0737" sono state utilizzate, con le ipotesi fatte al paragrafo 2.1.4, per ricavare distribuzioni in frequenza per le quote di 80*m* e 100*m* dal

suolo. Tali distribuzioni in frequenza sono state ottenute andando ad eliminare l'eventuale errore stagionale dovuto alla non perfetta completezza delle annualità.

3.2. LAYOUT E STIMA DELLA PRODUZIONE

Sono state condotte simulazioni con varie tipologie di turbine, che presentano diametro massimo 126 m, altezza massima al mozzo pari a 99 m (ad eccezione della turbina 1 che prevede altezza massima pari a 135 m) e potenza nominale pari a 4 MW.

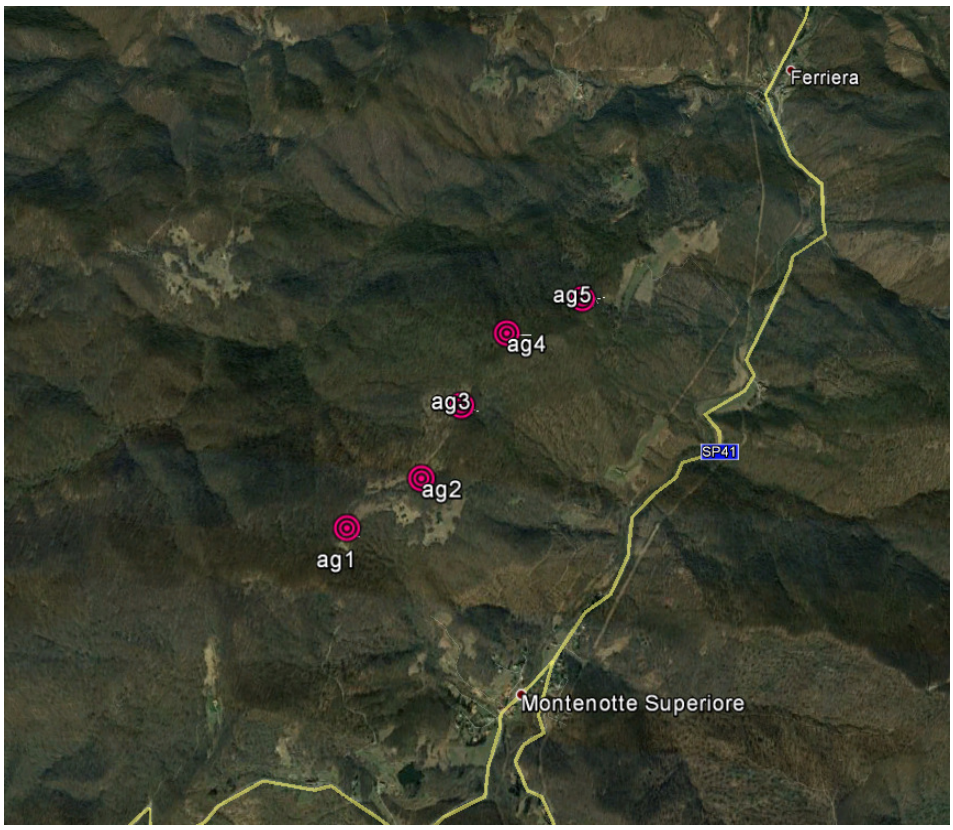


Figura 30 - Layout su ortofoto

Sulla base del modello di wind analisys impostato e dei nuovi modelli di aerogeneratori, sempre più performanti, nonostante la potenza nominale delle singole macchine sia passata da 4,2 MW a 4 MW si è verificato che la produzione rimarrà pari a circa **55,650 GWh/anno.**

4. CONCLUSIONI

Il sito in esame è un crinale secondario rispetto alla linea ultima della costa ma anche rispetto all'inizio della pianura a Nord.

Le misurazioni pluriennali effettuate sul sito confermano caratteristiche ottimali per lo sfruttamento eolico e la disposizione proposta per gli aerogeneratori permette di sfruttare la risorsa eolica in modo efficiente: i valori di produzione elettrica previsti per l'impianto (circa 55,650 GWh/anno) giustificano la bontà del sito in esame.