



REGIONE BASILICATA

PROVINCIA DI POTENZA

COMUNE DI CANCELLARA



PROGETTO DEFINITIVO DI UN PARCO EOLICO E DELLE OPERE CONNESSE SITO NEL TERRITORIO DEL COMUNE DI CANCELLARA DI POTENZA COMPLESSIVA PARI A 32 MW

Proponente:

BUONVENTO s.r.l.

BUONVENTO s.r.l.

via Tiburtina, 1143 - 00156 ROMA
tel. +39 06 4111087 mail: office@buonvento srl.it

Dott. Luca RAINOLDI

Progettisti:



Responsabile opere civili:

**STUDIO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA
MARGIOTTA ASSOCIATI**

via N. Vaccaro, 37 - 85100 POTENZA (PZ)
tel. +39 0971 37512 mail: studio@associatimargiotta.it

Arch. Donata M.R. MARGIOTTA
Prof. Ing. Salvatore MARGIOTTA

Responsabile opere elettriche:

STUDIO ACQUASANTA

via D. Alighieri, 13/D - 75100 MATERA (MT)
tel. +39 0835 336718 mail: ing.acquasanta@gmail.com

Ing. Paolo ACQUASANTA
Ing. Eustachio SANTARSIA

Responsabile S.I.A.:

STUDIO ALESSANDRIA

via Circonvallazione Nomentana, 138 - 00162 ROMA
tel. +39 348 5145564 mail: f.ales@libero.it

Prof. arch. Francesco ALESSANDRIA



Responsabile geologia:

GEO-STUDIO DI GEOLOGIA E GEOINGEGNERIA

via del Seminario Maggiore, 35 - 85100 POTENZA (PZ)
tel. +39 0971 1800373 mail: studiogeopotenza@libero.it

Dott. geol. Antonio DE CARLO

SCALA: —	NOME FILE: A.8_Studio sugli effetti di shadow flickering.doc
CODICE ELABORATO: A.8	TITOLO ELABORATO: Studio sugli effetti di shadow flickering

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	Consegna progetto	06/2023	E.Di Giuseppe	D.Margiotta	S.Margiotta

Il presente documento e quelli in esso richiamati sono proprietà del proponente BUONVENTO srl ; come tali non possono essere divulgati né riprodotti in tutto o in parte, senza l'autorizzazione scritta della proprietà.

INDICE

1	PREMESSA	2
2	CENNI SUL FENOMENO DELLO SHADOW FLICKERING	3
3	CALCOLO DELLO SHADOW FLICKERING DI PROGETTO	5
3.1	Configurazione dell'impianto	5
3.2	individuazione dei ricettori sensibili	6
3.3	metodologia di calcolo	6
4	risultati.....	8
5	CONCLUSIONI.....	16
6	ALLEGATI	17

ELENCO TABELLE

Tabella 1:	Coordinate geografiche puntuali degli aerogeneratori di progetto	5
Tabella 2:	Estratto delle Specifiche Tecniche della turbina eolica Vestas VM136-4.0 MW	5
Tabella 3:	Individuazione dei ricettori sensibili	6
Tabella 4:	Analisi dei risultati sulle ore di ombreggiamento per ogni ricettore sensibile	9
Tabella 5:	Risultato di calcolo considerando il caso peggiore (WORST CASE)	10

ELENCO FIGURE

Figura 1:	Rappresentazione schematica del fenomeno dello shadow flicker	3
Figura 2:	Mappa di impatto potenziale da Shadow Flickering per il campo eolico in esame	11
Figura 3:	Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG01	12
Figura 4:	Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG02.....	12
Figura 5:	Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG03.....	13
Figura 6:	Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG04.....	13
Figura 7:	Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG05.....	14
Figura 8:	Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG06.....	14
Figura 9:	Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG07.....	15
Figura 10:	Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG08	15

CODE A.8	STUDIO SUGLI EFFETTI DI SHADOW FLICKERING	PAGE 2 di/of 17
-------------	---	--------------------

1 PREMESSA

La Società Buonvento S.R.L. intende realizzare un Parco Eolico nel Comune di Cancellara (PZ). L'iniziativa da realizzarsi è costituita da otto aerogeneratori del tipo Vestas V136- 4.0MW, con altezza al mozzo di 82 metri e diametro del rotore di 136 m. La presente analisi ha lo scopo di valutare in maniera tecnica l'eventuale impatto generato dall'evoluzione dell'ombra derivante dagli otto aerogeneratori previsti per l'installazione sull'area di progetto.

 <p>BUONVENTO s.r.l.</p> <p>Proponente</p>	 <p>MA STUDIO ARCHITETTI ASSOCIATI</p> <p>Progettista</p>
--	--

2 CENNI SUL FENOMENO DELLO SHADOW FLICKERING

Lo “shadow flicker” (letteralmente ombreggiamento intermittente) è l'espressione comunemente impiegata per descrivere l'effetto stroboscopico delle ombre proiettate dalle pale rotanti degli aerogeneratori eolici allorquando il sole si trova alle loro spalle (cfr. figura successiva). Il fenomeno si traduce in una variazione alternata di intensità luminosa che, a lungo andare, può provocare fastidio agli occupanti delle abitazioni (ricettori sensibili) le cui finestre risultano esposte al fenomeno stesso. Il fenomeno, ovviamente, risulta assente sia quando il sole è oscurato da nuvole o nebbia, sia quando, in assenza di vento, le pale del generatore non sono in rotazione.

In particolare, le frequenze che possono provocare un senso di fastidio sono comprese tra i 2.5 ed i 20 Hz (Verkuijlen and Westra, 1984) e, l'effetto sugli individui è simile a quello che si sperimenterebbe in seguito alle variazioni di intensità luminosa di una lampada ad incandescenza a causa di continui sbalzi della tensione della rete di alimentazione elettrica.



Figura 1: Rappresentazione schematica del fenomeno dello shadow flicker

I più recenti aerogeneratori tripala operano ad una velocità di rotazione inferiore ai 35 giri al minuto, corrispondente ad una frequenza di passaggio delle pale sulla verticale inferiore a 1.75 Hz, minore, quindi, della frequenza critica di 2.5 Hz. Inoltre, i generatori di grande potenza (dal MW in su) raramente superano la velocità di rotazione di 20 giri al minuto, corrispondente a frequenze di passaggio delle pale ampiamente minori di quelle ritenute fastidiose per la maggioranza degli individui.

Le relazioni spaziali tra un aerogeneratore ed un ricettore (abitazione), così come la direzione del vento risultano essere fattori chiave per la durata del fenomeno di shadow flicker.

Per distanze dell'ordine dei 300 m, il fenomeno in esame potrebbe verificarsi all'alba oppure al tramonto, ovvero in quelle ore in cui le ombre risultano molto lunghe per effetto della piccola elevazione solare. Al di là di una certa distanza l'ombra smette di essere un problema perché il rapporto tra lo spessore della pala ed il diametro del sole diventa molto piccolo.

A tal proposito, come è facile immaginare, la condizione più penalizzante corrisponde al caso in cui il piano del rotore risulta ortogonale alla congiungente ricettore – sole;

<p>BUONVENTO s.r.l.</p> <p>Proponente</p>	<p>MA STUDIO ARCHITETTO ASSOCIATI</p> <p>Progettista</p>
--	---

CODE A.8	STUDIO SUGLI EFFETTI DI SHADOW FLICKERING	PAGE 4 di/of 17
-------------	---	--------------------

infatti, in tali condizioni, l'ombra proiettata darà origine ad un cerchio di diametro pari al rotore del generatore eolico.

Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all'esterno, esso risulta evidente e fastidioso in quegli ambienti con finestrate rivolte verso le ombre.

In generale, l'area soggetta a shadow flicker non si estende oltre i 500÷1000 m dall'aerogeneratore e le zone a maggiore impatto ricadono entro i 300 m di distanza dalle macchine con durata del fenomeno dell'ordine delle 200 ore all'anno; il flickering, se presente, non supera in genere i 20/30 minuti di durata nell'arco di una giornata. L'intensità del fenomeno è definita come la differenza di luminosità che si percepisce in presenza ed in assenza di flickering in una data posizione.

In generale, si può affermare che:

- Avendo le pale una forma rastremata con lo spessore che cresce verso il mozzo; il fenomeno risulterà tanto più intenso quanto maggiore sarà la porzione di disco solare coperta dalla pala stessa e quanto minore la distanza dal ricevitore;
- L'intensità del flickering sarà minima quando l'ombra prodotta è generata all'estremità delle pale;
- Maggiori distanze tra generatore e ricevitore determinano ombre meno nette; in tal caso l'effetto flickering risulterà meno intenso e distinto.

 <p>BUONVENTO s.r.l.</p>	 <p>MA STUDIO ARCHITETTI ASSOCIATI</p>
Proponente	Progettista

3 CALCOLO DELLO SHADOW FLICKERING DI PROGETTO

3.1 CONFIGURAZIONE DELL'IMPIANTO

Il parco eolico di progetto prevede l'installazione di n.8 aerogeneratori VESTAS V136-4MW. La disposizione prevista delle turbine dislocate all'interno del territorio del Comune di Cancellara (PZ) è riportata nella tabella sottostante.

Turbina	Latitudine	Longitudine	Altezza
WTG01	40°42'46,30'' N	15°54'33,10'' E	804,73 m
WTG02	40°42'36,02'' N	15°54'49,65'' E	811,03 m
WTG03	40°42'50,78'' N	15°55'1,69'' E	837,30 m
WTG04	40°43'2,89'' N	15°54'49,89'' E	805,32 m
WTG05	40°42'33,63'' N	15°55'16,78'' E	786,65 m
WTG06	40°42'38,91'' N	15°55'49,86'' E	713,05 m
WTG07	40°42'53,30'' N	15°55'44,65'' E	724,93 m
WTG08	40°42'52,27'' N	15°55'24,28'' E	792,60 m

Tabella 1: Coordinate geografiche puntuali degli aerogeneratori di progetto

Di seguito è riportata una scheda riassuntiva delle principali caratteristiche della turbina Vestas V136 da 4MW

Potenza nominale	4,0 MW
n.°pale	3
Diametro del rotore a tre pale	136 m
Area spazzata	14.527 m ²
Altezza torre al mozzo	82,0 m
Altezza massima turbina (altezza della torre più raggio pala) m.	150 m
Tipo di torre	Tubolare
Velocità vento di avvio	3,0 m/s
Velocità vento nominale	12,0 m/s
Velocità vento di stacco	25,0 m/s
Temperatura di funzionamento	-40 °C ÷ 50 °C
Frequenza	50/60 Hz

Tabella 2: Estratto delle Specifiche Tecniche della turbina eolica Vestas VM136-4.0 MW

 BUONVENTO s.r.l. Proponente	 MA STUDIO ARCHITETTI ASSOCIATI Progettista
--	--

3.2 INDIVIDUAZIONE DEI RICETTORI SENSIBILI

Al fine di valutare le possibili interferenze tra l'effetto Shadow Flickering delle turbine ed i recettori sensibili è stata eseguita una scrupolosa analisi dei fabbricati presenti nell'area di interesse. Si è considerato nella simulazione la presenza di finestre di altezza 1 metro e larghezza 1 metro posizionate ad altezza dal suolo di 2 metri e disposte su tutte le facciate degli edifici.

Di seguito sono riportati i diversi ricettori sensibili (abitazioni) con le relative coordinate e la loro destinazione d'uso:

Ricettori con destinazione d'uso Abitazione (H1,...H12)

Comune: Cancellara (PZ)

ID	Destinazione d'uso Catastale	Tipologia	Foglio	Particella	Ore
H1	A02	Abitazione	35	227	0.00
H2	A02	Abitazione	34	236	0.00
H3	A02	Abitazione	34	169	0.00
H4	A03	Abitazione	14	578	0.00
H5	A03	Abitazione	14	388	0.00
H6	A03	Abitazione	14	952	0.00
H7	A02	Abitazione	14	446	0.00
H8	A02	Abitazione	14	589	0.00
H9	A02	Abitazione	22	316	0.00
H10	A02	Abitazione	22	315	0.00
H11	A02	Abitazione	31	99	36.70
H12	A04	Abitazione	31	107	0.00
H13	A03	Abitazione	31	103	33.00
H14	A02	Abitazione	22	315	0.00

Tabella 3: Individuazione dei ricettori sensibili

3.3 METODOLOGIA DI CALCOLO

L'analisi dell'impatto da shadow flickering prodotto da un campo eolico è realizzata, generalmente, attraverso l'impiego di specifici applicativi che modellano il fenomeno in esame. I pacchetti software impiegati per la progettazione di impianti eolici contengono moduli specifici per il calcolo e l'analisi del fenomeno di flickering. L'analisi si basa sull'impiego di un modello digitale del terreno dell'area oggetto di progettazione, sulle posizioni (E, N, quota) degli aerogeneratori e dei ricettori sensibili, nonché sui dati che correlano la posizione del sole nell'arco dell'anno con le condizioni operative delle turbine nello stesso arco di tempo.

 BUONVENTO s.r.l. Proponente	 STUDIO ARCHITETICI ASSOCIATI Progettista
--	--

CODE A.8	STUDIO SUGLI EFFETTI DI SHADOW FLICKERING	PAGE 7 di/of 17
-------------	---	--------------------

Al fine di calcolare la posizione relativa del sole nell'arco di un anno rispetto al parco eolico ed ai ricettori è necessario definire la longitudine, la latitudine ed il fuso orario dell'area interessata dal progetto.

Nello specifico è stato impiegato il modulo shadow flickering del software WindFarm 5 (ReSoft Limited©). Esso consente di analizzare la posizione del sole nell'arco di un anno per identificare i tempi in cui ogni turbina può proiettare ombre sulle finestre delle abitazioni vicine. In particolare, il modello permette di:

- Calcolare il potenziale per le ombre intermittenti alle finestre delle abitazioni;
- Mostrare un calendario grafico degli eventi di flickering;
- Mostrare un elenco dettagliato di ciascun evento di ombreggiamento (ora di inizio, di fine, durata del fenomeno, aerogeneratore/i coinvolti ecc...);
- Creare mappe di impatto potenziale che mostrano le ore d'ombra intermittente per l'intero parco eolico o per le singole macchine (curve di isodurata) nell'arco dell'anno.

Al di là di una certa distanza l'ombra smette di essere un problema perché il rapporto tra lo spessore della pala e il diametro del sole diventa piccolo. Poiché non vi è un valore generalmente accettato per questa distanza massima, WindFarm permette di specificare il limite in metri o multipli del diametro della turbina o dell'altezza della pala stessa.

In particolare, il modello numerico utilizzato, al pari degli altri presenti sul mercato, produce in output una mappa di impatto nel caso più penalizzante (WORST CASE), corrispondente alle ore in cui il sole permane al di sopra dell'orizzonte nell'arco dell'anno (ore di luce, ca. 4380 h/a), indipendentemente dalla presenza o meno di nubi, le quali inficerebbero il fenomeno stesso dello shadow flickering per l'impossibilità che si generino ombre.

Quindi, allo scopo di pervenire a valori più realistici di impatto, prossimi al caso reale (REAL CASE), si è impiegato il valore di eliofania locale, ovvero il numero di ore di cielo libero da nubi durante il giorno.

Per l'area in esame tale valore corrisponde a circa 2400 h/a^{1, 2}; quindi, i risultati del calcolo possono, ragionevolmente, essere abbattuti del 45.2 %, pari al complemento a 1 del rapporto $2400/4380 = 54.8 \%$. In altri termini, rispetto al WORST CASE, la probabilità di occorrenza del fenomeno di shadow flickering si riduce, per l'area in esame, al 54.8 % che corrisponde proprio alla probabilità che il disco solare risulti libero da nubi.

 BUONVENTO s.r.l. Proponente	 Progettista
--	--

CODE A.8	STUDIO SUGLI EFFETTI DI SHADOW FLICKERING	PAGE 8 di/of 17
-------------	---	--------------------

4 RISULTATI

Al fine di verificare la sussistenza del fenomeno dello shadow flickering indotto dal parco eolico in progetto sono state effettuate una serie di simulazioni che hanno tenuto conto:

- del diagramma solare riferito alla latitudine di installazione del parco;
- della posizione degli aerogeneratori e dell'altezza complessiva della macchina, intesa quale somma tra l'altezza del mozzo e la lunghezza della pala;
- dall'orientamento del rotore rispetto al ricettore;
- della posizione del sole e quindi della proiezione dell'ombra rispetto ai recettori;
- della posizione dei possibili recettori (abitazioni) rientranti in un buffer di 1000 m da ogni aerogeneratore del parco in oggetto.

Il software effettua il calcolo delle ore del giorno in cui si potrebbe avere l'effetto del flickering sul ricettore considerato, facendo la somma dei minuti in cui il fenomeno risulta presente. Effettua poi la somma teorica dei minuti di ciascun mese (WORST CASE). Inoltre, poiché il programma calcola l'evoluzione geometrica delle ombre durante la giornata, è stato possibile determinare l'area in cui il fenomeno dello shadow flickering potrebbe verificarsi per ciascun aerogeneratore (cfr. mappa allegata e figure seguenti).

Nel caso in esame, nonostante le simulazioni siano state condotte in condizioni conservative, assumendo il cielo completamente sgombro da nubi, foschia, ecc., nessun ostacolo interposto tra i ricettori individuati e gli aerogeneratori in progetto, rotore in movimento continuo e luce diretta, non è presente nessun impatto significativo da shadow flickering sui ricettori censiti come abitazioni. Le distanze reciproche tra generatori eolici e ricettori e le condizioni orografiche del sito considerato, determinano la pressoché totale assenza del fenomeno in esame.

In definitiva, come è possibile riscontrare dall'elaborato grafico A.9.1, su 14 abitazioni, solo su 2 di esse si manifesta il fenomeno dello shadow flickering

Infine, essendo la frequenza dello shadow flickering correlata alla velocità di rotazione del rotore, che per le macchine considerate nel presente progetto sono dell'ordine di 0.7÷1.5 Hz (circa un passaggio al secondo), possiamo affermare che in termini di impatto sulla popolazione, tali frequenze sono innocue; basti pensare che le lampade stroboscopiche, largamente impiegate nelle discoteche, producono frequenze comprese tra 5 e 10 Hz.

 <p>BUONVENTO s.r.l.</p> <p>Proponente</p>	 <p>MA STUDIO ARCHITETTI ASSOCIATI</p> <p>Progettista</p>
--	--

La tabella seguente riassume i risultati dell'analisi eseguito secondo la metodologia di calcolo descritta nel paragrafo precedente.

ID Ricettore	Foglio	Particella	Ore/anno
H1	35	227	0.00
H2	34	236	0.00
H3	34	169	0.00
H4	14	578	0.00
H5	14	388	0.00
H6	14	952	0.00
R7	14	446	0.00
H8	14	589	0.00
H9	22	316	0.00
H10	22	315	0.00
H11	31	99	36.90
H12	31	107	0.00
H13	31	103	33.00
H14	22	315	0.00

Tabella 4: Analisi dei risultati sulle ore di ombreggiamento per ogni ricettore sensibile

ID Ricettore	Giorni l'anno	Caso peggiore		Caso reale [ore/anno]
		Ore massime al giorno	Media di ore al giorno	
H1	0	0,00	0,00	0.00
H2	0	0,00	0,00	0.00
H3	0	0,00	0,00	0.00
H4	0	0,00	0,00	0.00
H5	0	0,00	0,00	0.00
H6	0	0,00	0,00	0.00

H7	0	0.00	0.00	0.00
H8	0	0.00	0.00	0.00
H9	0	0.00	0.00	0.00
H10	0	0.00	0.00	0.00
H11	60	0.78	0.61	36.90
H12	0	0.00	0.00	0.00
H13	57	0.74	0.58	33.00
H14	0	0.00	0.00	0.00

Tabella 5: Risultato di calcolo considerando il caso peggiore (WORST CASE)

In particolare in tabella 3.4 vengono riportati il numero di giorni e di ore in cui è fisicamente possibile che il fenomeno si presenti (caso peggiore) e il valore reale atteso di ore l'anno in cui il fenomeno potrebbe presentarsi (caso reale). A tal proposito è importante sottolineare che anche il caso reale, calcolato tenendo conto dell'eliofania locale e delle ore di funzionamento dell'impianto, è comunque un valore cautelativo in quanto nella stima non si è tenuto conto degli effetti mitigativi dovuti al piano di rotazione delle pale non sempre ortogonale alla direttrice sole-finestra e all'eventuale presenza di ostacoli e/o vegetazione interposti tra il sole e la finestra.

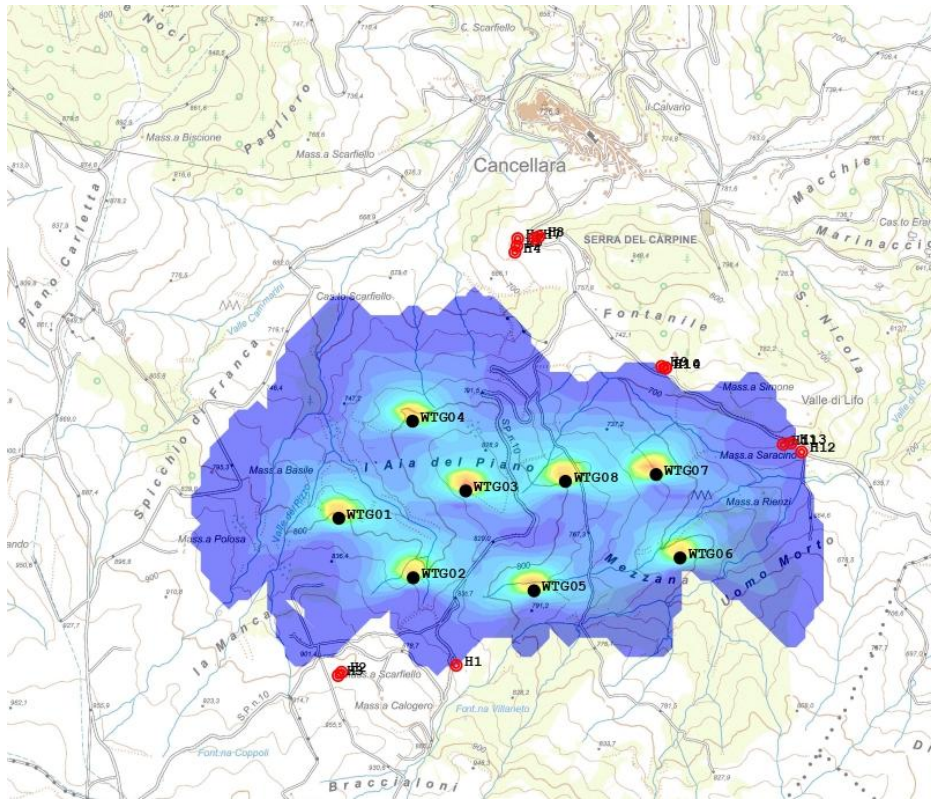
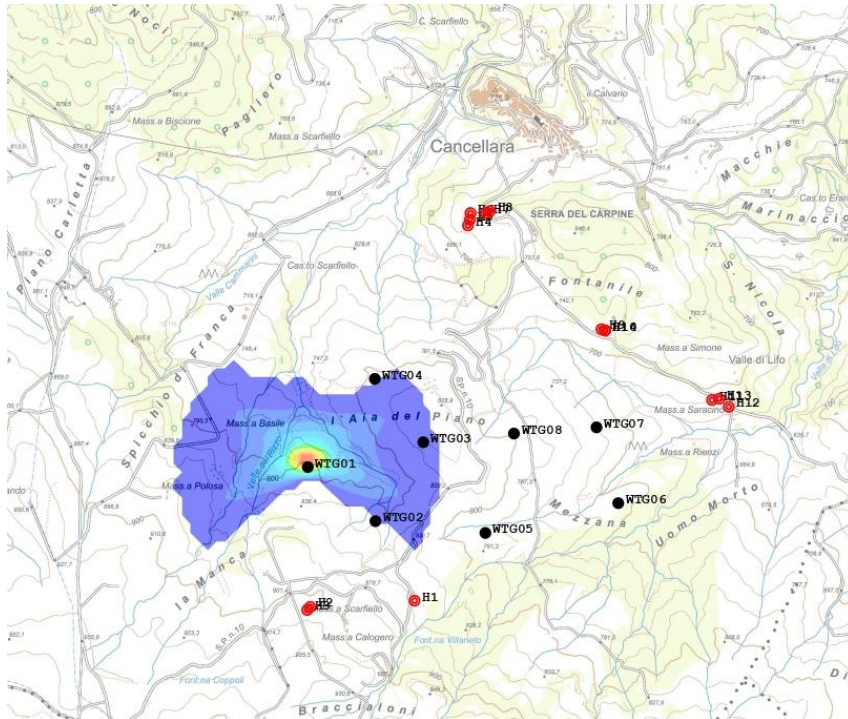


Figura 2: Mappa di impatto potenziale da Shadow Flickering per il campo eolico in esame



BUONVENTO s.r.l.



Proponente



Progettista

Figura 3: Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG01

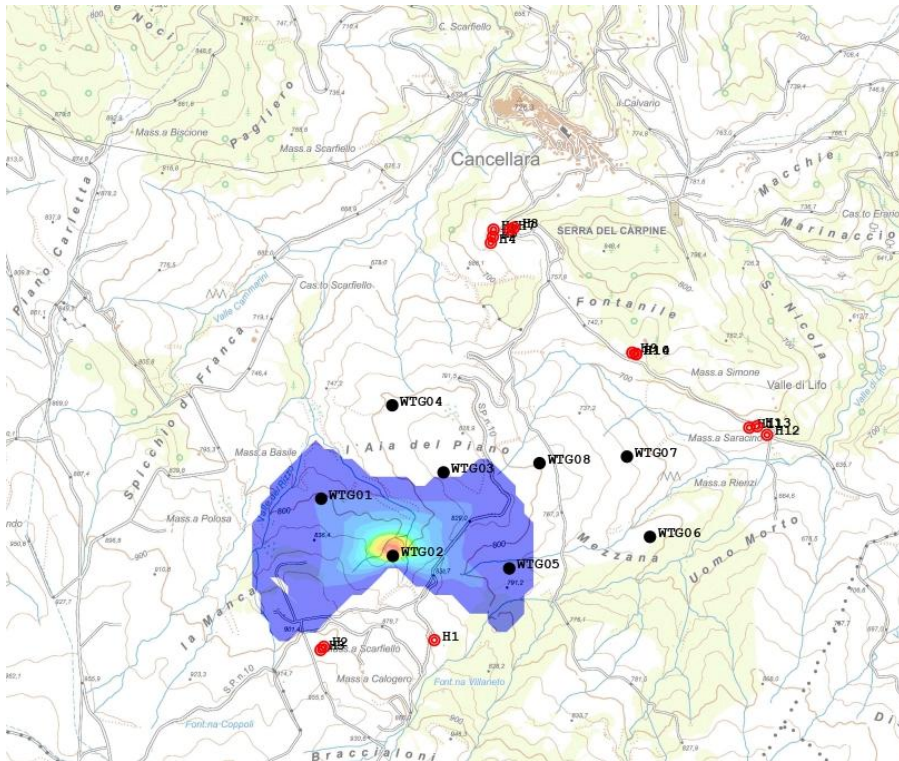


Figura 4: Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG02

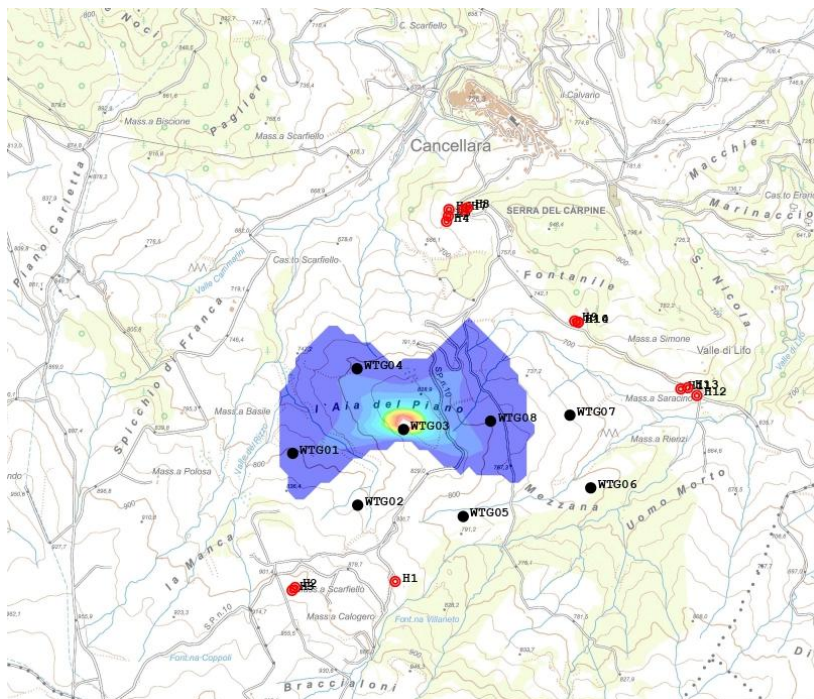


Figura 5: Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG03

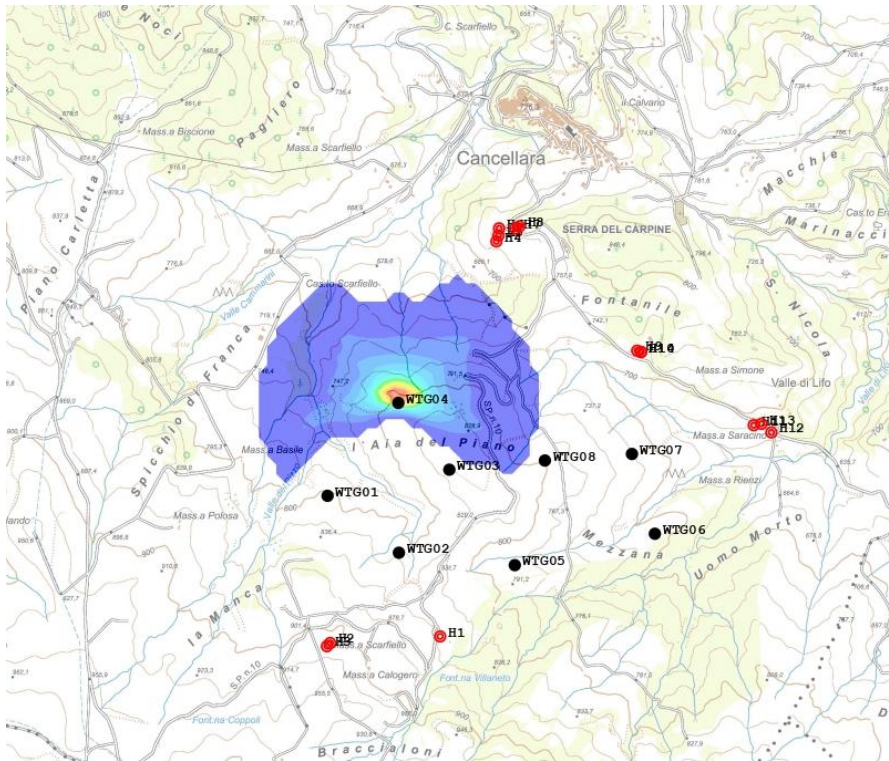


Figura 6: Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG04

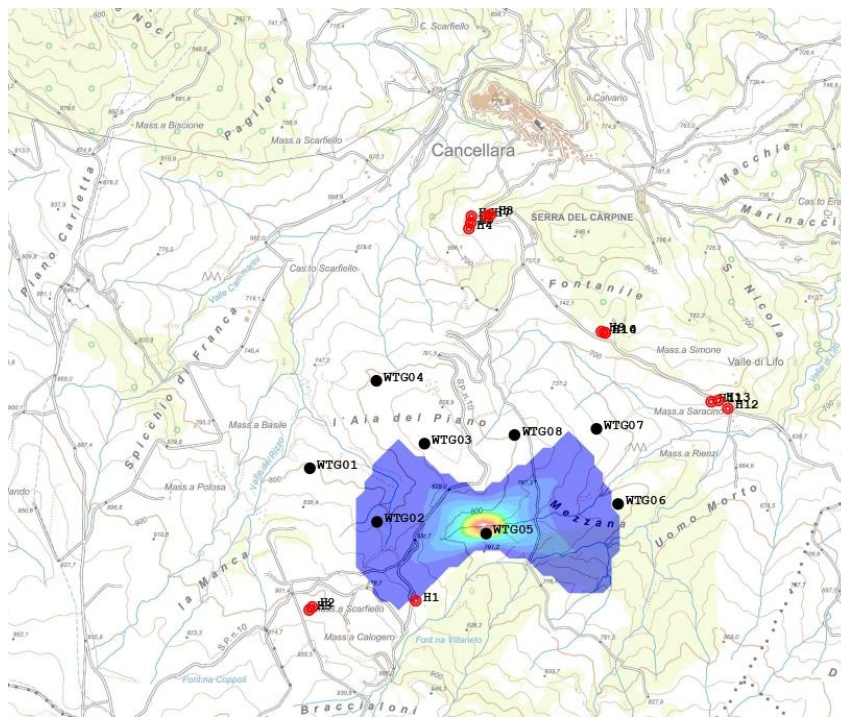


Figura 7: Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG05

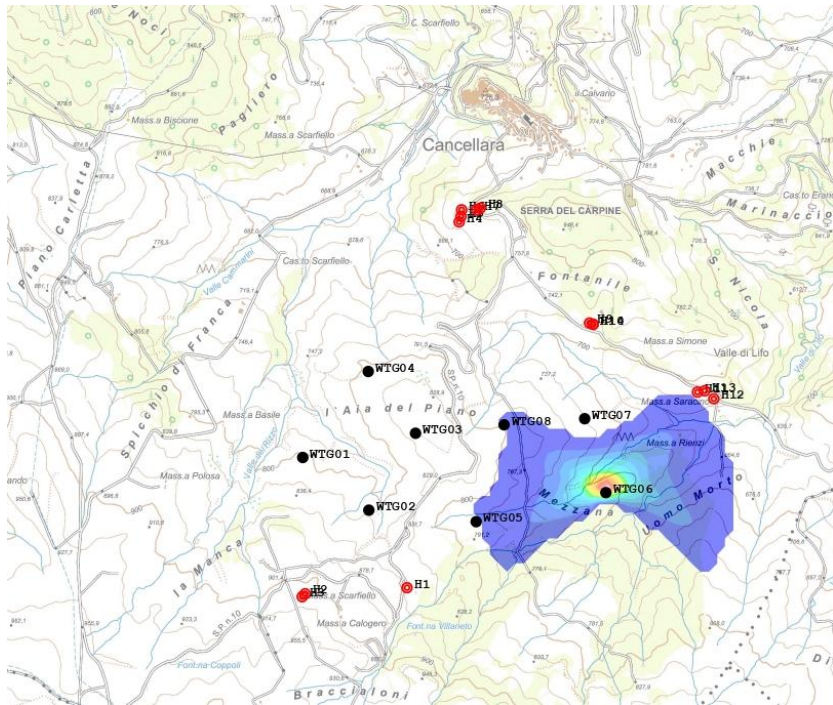


Figura 8: Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG06

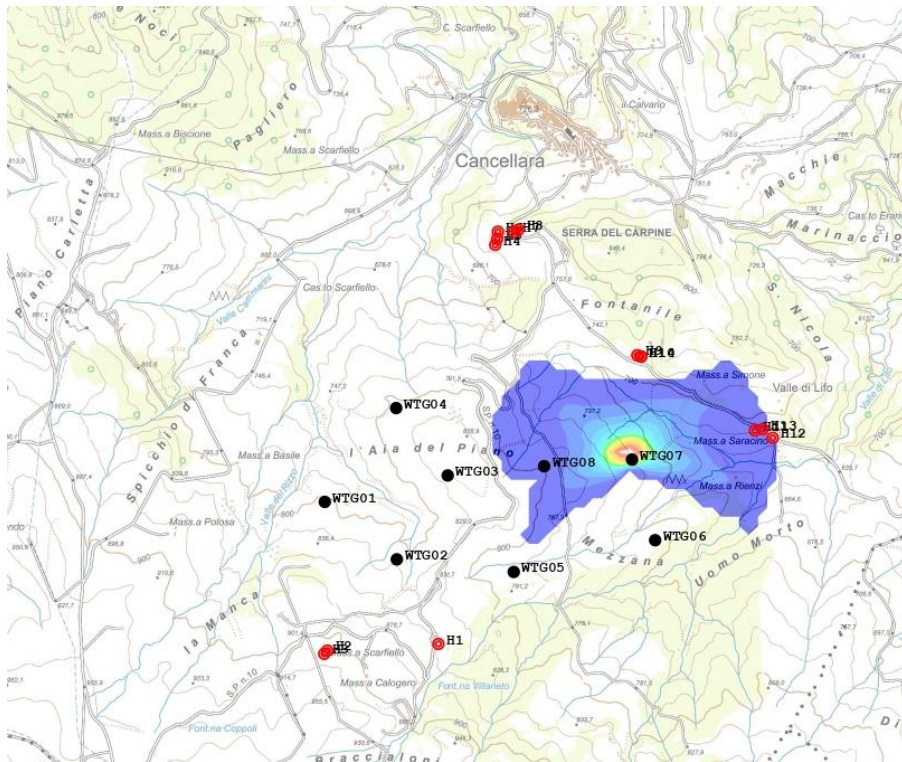


Figura 9: Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG07

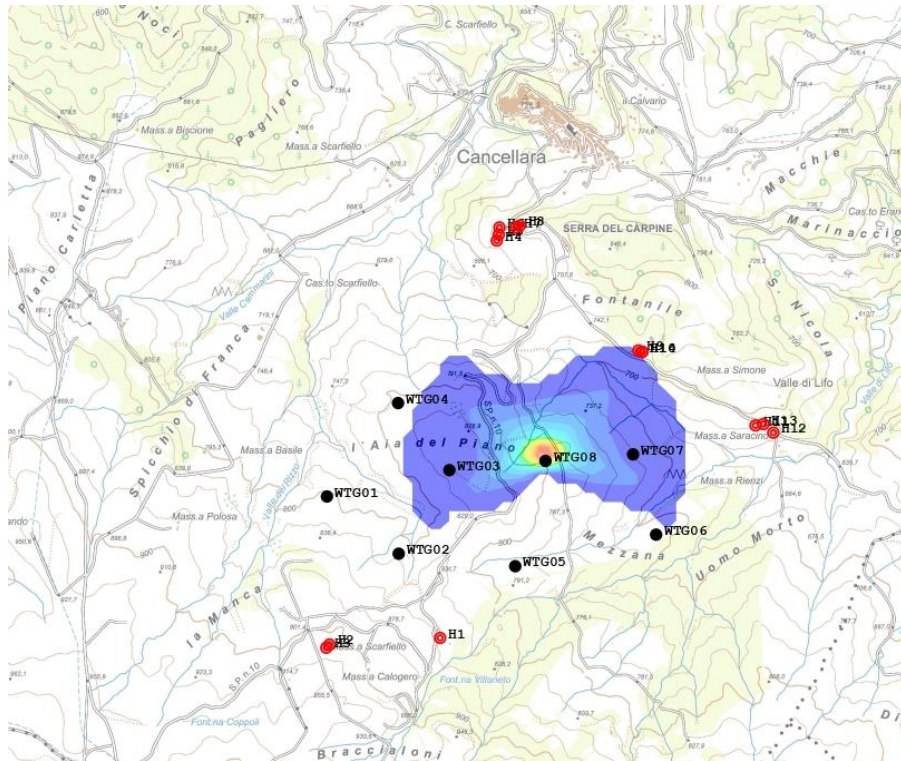


Figura 10: Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG08

5 CONCLUSIONI

La frequenza dello shadow flickering è correlata alla velocità di rotazione del rotore; le frequenze tipiche per le macchine considerate nel presente progetto sono dell'ordine di $0.7 \div 1.5$ Hz (circa un passaggio al secondo). In termini di impatto sulla popolazione, tali frequenze sono innocue; basti pensare che le lampade stroboscopiche, largamente impiegate nelle discoteche, producono frequenze comprese tra 5 e 10 Hz. Inoltre, a livello internazionale, è universalmente accettato che frequenze inferiori a 10 Hz non hanno alcuna correlazione con attacchi di natura epilettica.

Inoltre, alla luce di quanto descritto nel paragrafo precedente, nel caso in esame il fenomeno dello shadow flickering si manifesta per le abitazioni H11 e H13. A tal riguardo si propone, come intervento di mitigazione, la piantumazione di barriere sempreverdi al fine di ridurre e/o annullare il fenomeno in oggetto.

A seguito di quanto descritto nei paragrafi precedenti si può concludere che, pur considerando una stima cautelativa in quanto non si è tenuto conto degli effetti mitigativi dovuti al piano di rotazione delle pale non sempre ortogonale alla direttrice sole-finestra e all'eventuale presenza di ostacoli e/o vegetazione interposti tra il sole e la finestra, il fenomeno dello shadow flickering si verifica esclusivamente su tre abitazioni (vedi tabella 3.4), incidendo in maniera molto limitata, in quanto il valore atteso è per tutti i ricettori inferiore a 88 ore l'anno.

Al fine di ridurre e/o eliminare gli effetti di shadow flickering sulle abitazioni interessate sono possibili due soluzioni:

- Messa a dimora di una barriera arborea sempre verde di mascheramento per i ricettori considerati;
- L'installazione sugli aerogeneratori che causano il fenomeno dell'ombreggiamento, dello Shadow Detection System, una innovativa tecnologia sviluppata da Vestas che, attraverso l'analisi della posizione del sole, del rotore della turbina e delle abitazioni circostanti, blocca la turbina nei periodi in cui si creano le condizioni favorevoli per il verificarsi dello shadow flickering, annullando così il fenomeno.

CODE A.8	STUDIO SUGLI EFFETTI DI SHADOW FLICKERING	PAGE 17 di/of 17
-------------	---	---------------------

6 ALLEGATI

- Elaborato grafico A.8.1 Mappa delle ore di ombreggiamento.

 <p>Proponente</p>	 <p>Progettista</p>
---	--