

Comune di SAN MARCO DEI CAVOTI

(Provincia di Benevento)

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO DA 29,4 MW

in località "Ielardi, Macchioni, Montagna, Riccetto e Franzese"

Elaborato
14

STUDIO SUGLI EFFETTI DI SHADOW FLICKERING

COMMITTENTE

Ecoenergia Srl
Via Cardito, 5

83012 Cervinara (Avellino)

ECOENERGIA S.r.l.

Via Cardito, 5

83012 . CERVINARA (AV)

P. IVA 02195650649

Saverio Vitagliano

PROGETTISTA

Ing. Saverio Vitagliano



DATA

Marzo 2022

SPAZIO PER I VISTI

Sommario

Premessa	1
1 Criterio di stima dell'effetto shadow flickering	2
2 Analisi del fenomeno e stima delle interferenze.....	6
3 Misure di mitigazione	9

Premessa

Lo shadow flickering (sfarfallio dell'ombra) è il verificarsi di cambiamenti periodici nell'intensità luminosa dovuti all'ombra di una pala di una turbina eolica che passa su un punto di interesse (ricettore sensibile). Detto cambiamento periodico della luce in prossimità dei ricettori sensibili viene determinato in modo da stimare il periodo di ombreggiamento, generato sul ricettore, dalle pale della turbina eolica.

Gli effetti dello shadow flickering possono provocare fastidi su individui per frequenze comprese tra i 2,50 ed i 20 Hz (valutazione Verkuijden and Westra, 1984). Tali disturbi alla persona possono essere paragonate alle lampade ad incandescenza stroboscopica dovuta a sbalzi continui della tensione di alimentazione.

È evidente che per rotori della tipologia di cui al presente progetto definitivo, aventi velocità di rotazione di circa 14 giri/min, la frequenza di passaggio ($0,7 \div 1,5$ Hz) risulta di gran lunga inferiore ai 2,50 Hz ritenuti quale limite inferiore del range considerato fastidioso per l'individuo, pertanto tali frequenze risultano del tutto innocue all'individuo e non hanno alcuna correlazione con attacchi di natura epilettica.

La presente relazione tecnica ha lo scopo di stimare le aree interessate dalla possibile presenza del fenomeno rispetto agli aerogeneratori costituenti il parco eolico in progetto. Tale stima determina quindi delle zone d'interesse, valutate in ragione delle ore/anno in cui il fenomeno può verificarsi, al fine di determinare l'interazione di dette zone con possibili ricettori sensibili presenti (abitazioni ed edifici).

1 Criterio di stima dell'effetto shadow flickering

Per la stima dello shadow flickering, effettuata secondo lo standard "Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Shattenwurf-Hinweise)" è necessario in primo luogo determinare il percorso solare nella latitudine di riferimento della turbina.

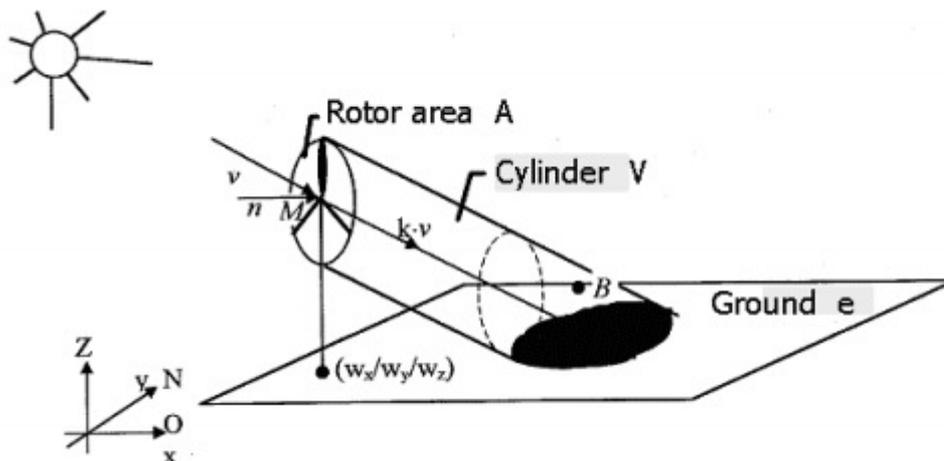


Fig. 1 - schematizzazione effetto shadow flickering

Per individuare ad un certo istante dell'anno la posizione del sole nel cielo in una determinata località è necessario definire alcuni angoli caratteristici:

- altezza o altitudine solare α : angolo formato tra la direzione dei raggi solari ed il piano orizzontale;
- l'angolo zenitale z : angolo formato tra i raggi solari e la direzione dello zenit (complementare all'angolo α);
- l'azimut solare a : angolo formato tra la posizione sul piano orizzontale dei raggi solari e la direzione sud;
- l'angolo orario h : distanza angolare tra il sole e la sua posizione a mezzogiorno lungo la sua traiettoria apparente sulla volta celeste;

- latitudine L : angolo che la retta passante per la località considerata ed il centro della terraforma con il piano dell'equatore;
- declinazione solare δ : angolo che la direzione dei raggi solari forma a mezzogiorno, sul meridiano considerato, col piano equatoriale.

La posizione istantanea del sole, definita dall'altezza solare α e dall'azimut solare a , è valutabile per mezzo delle relazioni:

$$\sin \alpha \sin L * \sin \delta + \cos L * \cos \delta * \cos h$$

$$\sin a (\cos \delta * \sin h) / \cos \alpha$$

poiché l'azimut solare può assumere valori maggiori di 90° , mentre la funzione arcoseno fornisce per convenzione valori di a compresi tra -90° e $+90^\circ$, è necessario, in questi casi, apporre delle correzioni ai valori calcolati.

La declinazione solare δ è invece calcolata per mezzo della relazione approssimata di Cooper (Solar Energy 1969 - The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills):

$$\delta = 23,45 \sin *360*(284+n)/365+ \text{ con } n \text{ l'ennesimo giorno dell'anno.}$$

È possibile visualizzare, per mezzo di un diagramma polare, le traiettorie del sole nel corso dell'anno per una determinata località. Il diagramma, che è una proiezione delle traiettorie del sole sul piano orizzontale, è ottenibile grafitando i valori dell'altezza solare e dell'azimut, calcolati con le precedenti relazioni e per la località considerata, in funzione del tempo solare e della declinazione.

Per mezzo di questi diagrammi è possibile determinare i periodi di tempo nei quali un punto di una superficie rimane in ombra a causa di ostacoli che intercettano i raggi del sole (come in particolare le lame della turbina eolica). Quando la distanza dell'ostacolo è grande rispetto alle dimensioni del ricevitore (ad esempio una finestra) è lecito considerare il ricevitore come puntiforme, poiché l'ombra tende a muoversi rapidamente sul ricevitore, che risulta pertanto completamente in ombra o completamente illuminato.

Per determinare quando l'ostacolo intercetta i raggi solari, bisogna rappresentare nel diagramma delle traiettorie solari la forma angolare dell'ostacolo come vista dal punto considerato, plottando su di esso l'azimut e l'altezza angolare dei punti del contorno con l'ostacolo stesso.

Di seguito si riporta il diagramma delle traiettorie solari definito per la località in cui ricade il parco eolico in progetto.

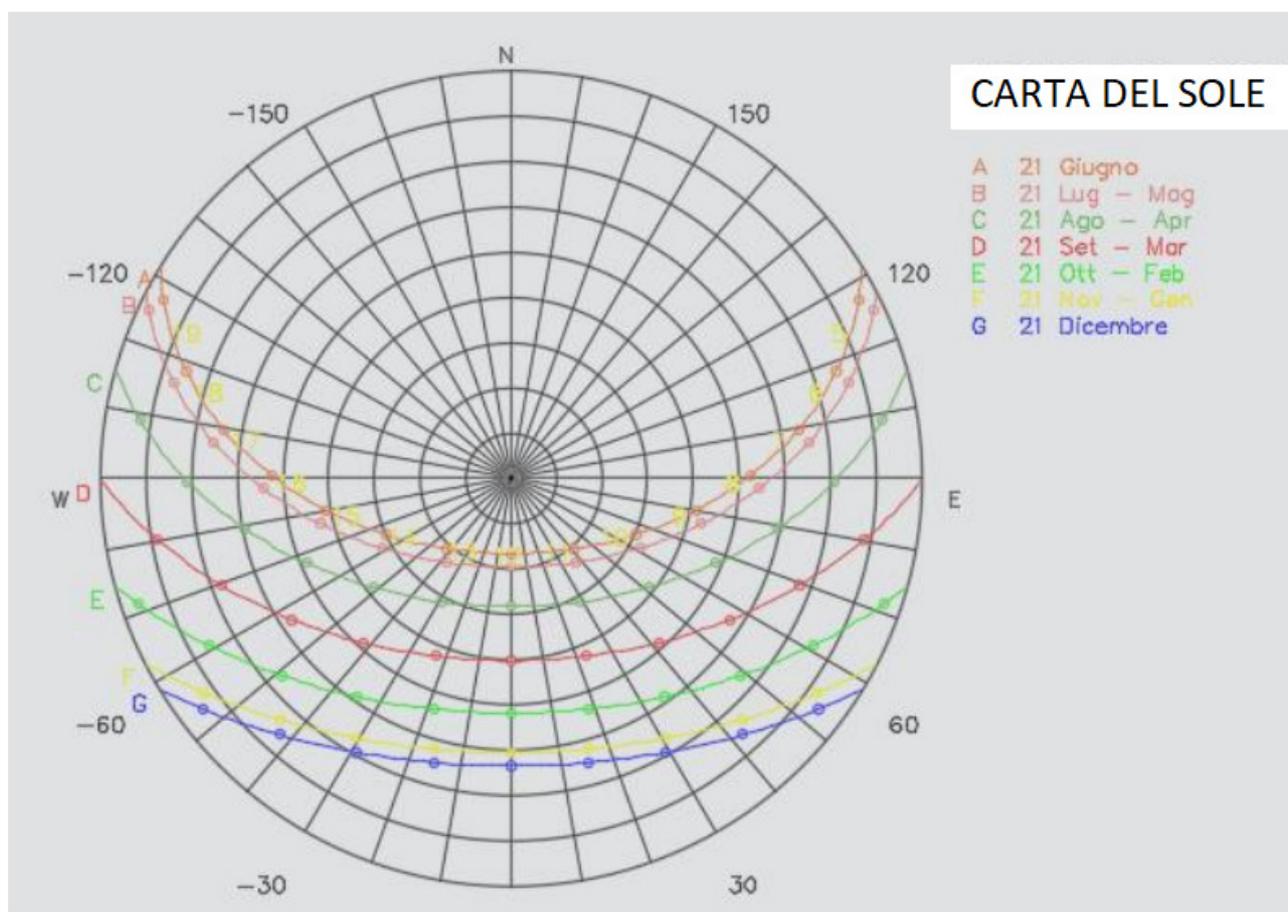


Fig. 2 - traiettorie solari - Carta del Sole Lat. 41°

Il fenomeno di shadow flickering è definito da un'intensità stimata come differenza luminosa che si percepisce in presenza alternata di ombreggiamento in una data posizione. In generale le pale, avendo una forma rastremata con spessore che cresce verso il mozzo, possono provocare la presenza di tale fenomeno con intensità crescente all'aumentare della porzione di sole coperta dalla pala stessa e con il diminuire della distanza tra il ricettore e la turbina nella direzione del sole.

A tal fine è utile costruire un grafico con l'evoluzione annuale dell'ombra di una turbina realizzato come involuppo delle traiettorie solari considerando la turbina sempre in rotazione e sempre orientata ortogonalmente nella direzione del sole durante la giornata.

La figura che segue mostra l'andamento dell'effetto shadow flickering della turbina avente le dimensioni di cui al presente progetto con indicazione delle fasce temporali in cui l'effetto può verificarsi rapportata alla scala metrica:

Carta effetti Shadow Flickering

LEGENDA

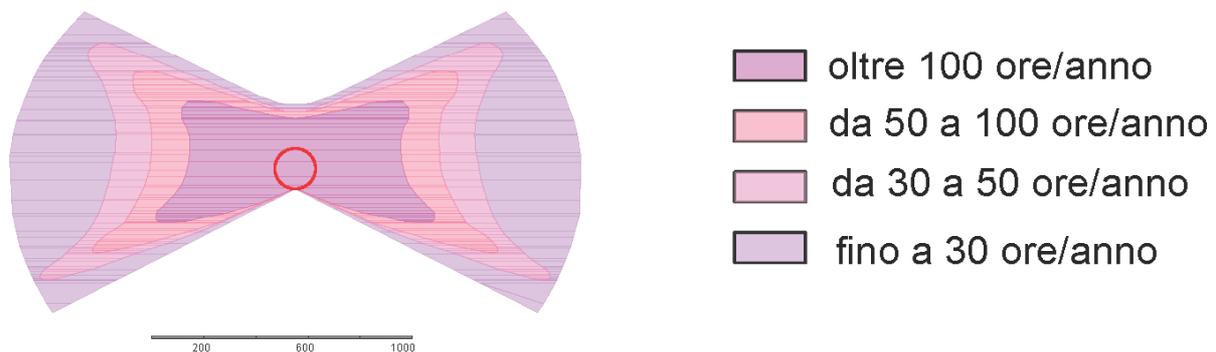


Fig. 3 - evoluzione effetto shadow flickering annuale - Carta del Sole Lat. 41°

$$\text{Turbina H} = 91,50 + 58,50 = 150 \text{ m}$$

La stima dell'impatto dello shadow flickering viene confrontata con le linee guida "Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf Hinweise - unico riferimento presente)" che definisce i limiti per l'ombreggiamento:

- angolo minimo del sole rispetto all'orizzonte $> 3^\circ$;
- percentuale minima di copertura del sole della pala $> 20\%$;
- valore limite inferiore con effetto trascurabile in termini di ore/anno in cui può verificarsi il fenomeno: 30 ore/anno di ombra astronomica;
- valore limite superiore con effetti sensibili in termini di ore/anno in cui può verificarsi il fenomeno: 100 ore/anno di ombra astronomica;
- distanza massima con effetti sensibili: 1 km dalla turbina (dato di letteratura).

Inoltre, essendo di complessa definizione analitica, vengono considerate alcune semplificazioni a vantaggio di sicurezza quali:

- turbina sempre in rotazione;
- rotore sempre orientato ortogonalmente all'asse sole-ricettore;

- non vengono considerati ostacoli tra turbina e ricettore quali schermi, alberi, fabbricati ecc;
- ricettori orientati verso la turbina
- ventosità massima della turbina con conseguente raggiungimento del valore massimo di frequenza del fenomeno.

Altro importante parametro è rappresentato dall'eliofania. Esso esprime la durata media del soleggiamento astronomico (periodo intercorrente tra alba e tramonto) durante l'anno, corretti in funzione delle caratteristiche topografiche del luogo e dalla nuvolosità media che si registra nello specifico luogo. La stima dell'effetto shadow flickering considera esclusivamente il soleggiamento astronomico (a vantaggio di sicurezza) non tenendo conto di altri fattori quali topografia e nuvolosità media.

Alla luce di quanto esposto, al fine di poter eseguire una stima della possibile interferenza tra l'effetto shadow flickering cagionato da una turbina su un possibile ricettore sensibile, vengono sovrapposte alla cartografia tecnica i diagrammi dell'evoluzione dell'effetto shadow flickering annuale e valutare quindi le possibili conseguenze sugli specifici ricettori interessati e conseguentemente individuare le possibili misure di mitigazione del fenomeno.

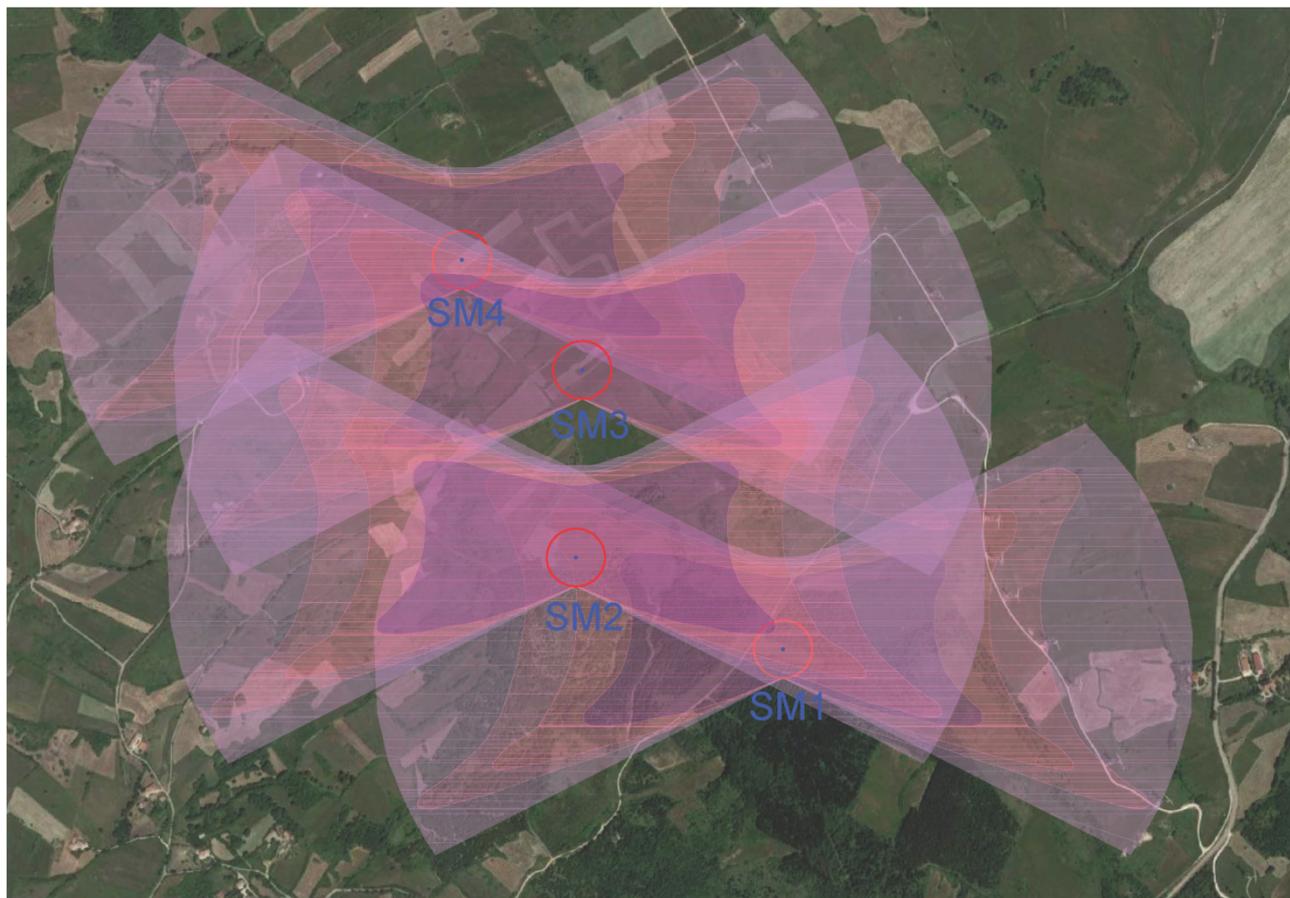
Tali misure potranno essere definite per ciascuna singola fattispecie; in via preliminare, e del tutto indicativa, si ritiene che queste possano essere strutturali (siepi di protezione, barriere visive, alberature, tendaggi, blocco aerogeneratori in occorrenza del fenomeno), ovvero non strutturali (compensazione per mancata fruizione).

2 Analisi del fenomeno e stima delle interferenze

Il parco eolico in progetto è composto da n. **7 turbine** dislocate all'interno del territorio del Comune di **San Marco dei Cavoti (BN)**.

Al fine di valutare le possibili interferenze tra l'effetto shadow flickering delle turbine ed i ricettori sensibili è stata eseguita una scrupolosa analisi dei fabbricati presenti nell'area di interesse.

Di seguito viene riportata altresì la sovrapposizione del grafico dell'evoluzione dell'effetto shadow flickering di ciascun aerogeneratore su ortofoto



Aerogeneratori SM1 - SM2 - SM3 - SM4

Analisi degli effetti dello shadow flickering su ortofoto



Aerogeneratori SM11 - SM12 - SM13

Analisi degli effetti dello shadow flickering su ortofoto

Dal riscontro dell'analisi eseguita, riscontrabile in maniera più chiara nella "tavola grafica n. 27 Carta effetti shadow flickering", e 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 un fabbricato, peraltro non residenziale, in prossimità della SM2-SM3, incidendo in maniera molto limitata, in quanto il valore atteso è inferiore a 30 ore l'anno.

Va altresì sottolineato che:

- la velocità di rotazione delle turbine previste in progetto (Vestas V117-4,2 MW) è nettamente inferiore a 60 rpm, frequenza massima raccomandata al fine di ridurre al minimo i fastidi e soddisfare le condizioni di benessere;
- le turbine in progetto che causano il fenomeno dell'ombreggiamento sono molto distanti dai recettori (oltre 250 metri). In tali circostanze l'effetto dell'ombra è trascurabile poiché il rapporto tra lo spessore della pala e la distanza dal recettore è molto ridotto.

Pertanto, si assume che i potenziali impatti sul benessere psicologico della popolazione associato al fenomeno dello shadow flickering abbiano estensione locale ed entità non riconoscibile, sebbene siano di lungo termine.

3 Misure di Mitigazione

Al fine di ridurre e/o eliminare gli effetti di shadow flickering sull'abitazione interessata sono possibili due soluzioni:

- completamento della piantumazione già presente e non considerata nella fase di studio o, in alternativa,
- 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.

Il Progettista

Ing. Saverio Vitagliano

