

REGIONE SICILIA



CASTRONOVO DI SICILIA



ROCCAPALUMBA



LERCARA FRIDDI



Committente:



Falck Renewables Sicilia S.r.l.

Uffici amministrativi: via Alberto Falck, 4-16, 20099 Sesto San Giovanni (MI)
 W www.falckrenewables.eu
 Cap. Soc. € 10.000 int.vers. Direzione e coordinamento da parte di Falck Renewables S.p.A.
 Sede legale: Corso Venezia, 16, 20121 Milano
 Registro Imprese Cod. Fiscale e Partita Iva 10531600962 - REA MI - 2538625

Titolo del Progetto:

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE E L'ESERCIZIO
 DI UN PARCO EOLICO CON IMPIANTO DI ACCUMULO
 E DELLE OPERE CONNESSE DENOMINATO "ASTRA"**

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

N° Documento:

REL0020

ID PROGETTO:	WF_ASTRA	DISCIPLINA:	PD	TIPOLOGIA:	REL	FORMATO:	A4
--------------	----------	-------------	----	------------	-----	----------	----

Elaborato:

Studi degli effetti di shadow flickering

FOGLIO:	1 di 1	SCALA:	--	-
---------	--------	--------	----	---

Progettazione:



NEW DEVELOPMENTS S.r.l.
 piazza Europa, 14 - 87100 Cosenza (CS)

Progettisti:



dott. ing. Giovanni Guzzo Foliaro



dott. ing. Amedeo Costabile



dott. ing. Francesco Meringolo

Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	16/03/2022	PRIMA EMISSIONE	New Dev.	Falck	Falck

Sommario

Premessa	1
1. Criterio di stima dell'effetto shadow flickering	1
2. Analisi del fenomeno e stima delle interferenze	8
Conclusioni	11

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 (ricevitore sensibile). Detto cambiamento periodico della luce in prossimità dei ricevitori sensibili viene determinato in modo da stimare il periodo di ombreggiamento, generato sul ricevitore, 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 Verkuijlen 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 12 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 ricevitori 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 Immisionen von Windenergie anlagen (WEA-Shattenwurf-Hinweise)" è necessario in primo luogo determinare il percorso solare nella latitudine di riferimento della turbina.

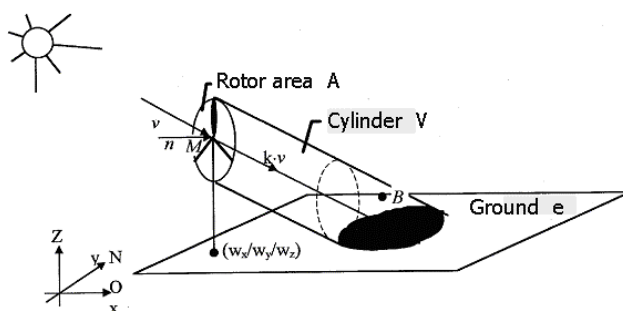


Fig. 1 - schematizzazione effetto shadow flickering

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 terra forma 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):

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

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'ostruzione 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.

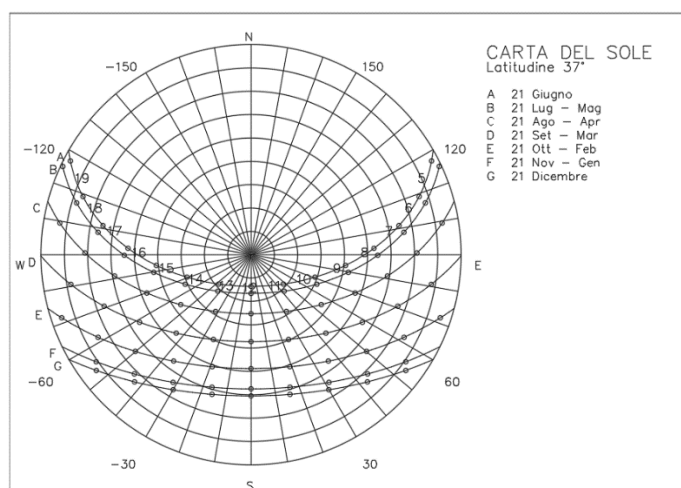


Fig. 2 - traiettorie solari - Carta del Sole Lat. 37

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:

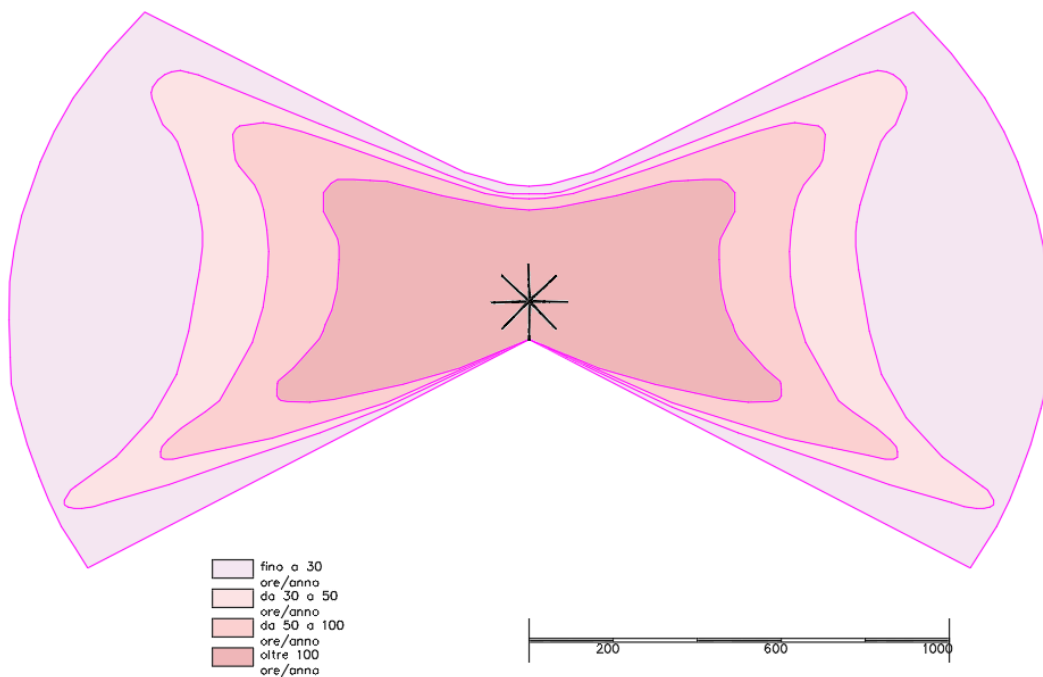


Fig. 3 - evoluzione effetto shadow flickering annuale - Carta del Sole Lat. 37 - turbina H = 115+85

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 $\geq 3^\circ$;
- percentuale minima di copertura del sole della pala $\geq 20\%$;
- 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.

Il primo controllo è quindi eseguito esclusivamente rispetto all'evoluzione dell'ombra teorica al fine di escludere ulteriori analisi di dettaglio su potenziali ricettori ricadenti all'esterno delle zone classificate con intensità teorica del fenomeno shadow flickering superiore a 100 ore/anno.

Per i potenziali ricettori sensibili ricadenti all'interno dell'area di intensità teorica del fenomeno viene eseguita una più approfondita analisi considerando i seguenti ulteriori parametri di valutazione:

- durata del fenomeno con correzione dovuta all'eliofania;
- durata del fenomeno con correzione dovuta all'effettivo funzionamento dell'aerogeneratore (ore teoriche di funzionamento diurno e direzione del vento);

Il primo importante parametro è rappresentato proprio dall'eliofania che esprime la durata media del soleggiamento astronomico (periodo intercorrente tra alba e tramonto) durante l'anno, corretta in funzione delle caratteristiche topografiche del luogo e dalla nuvolosità media che si registra nello specifico luogo. Detto parametro è registrato dalle stazioni metereologiche e viene espresso in termini di rapporto percentuali tra le ore di "cielo chiaro" e le ore standard di soleggiamento astronomico. Per lo studio in esame sono stati considerati i valori di eliofania registrati nelle più vicine stazioni metereologiche che forniscono tali valori per i diversi periodi dell'anno:

periodo	Stazione Trapani BIRGI (di/dst)	Stazione GELA (di/dst)	Valori medi (di/dst)
giu	0,83	0,79	0,81
lug-mag	0,85	0,80	0,82
ago-apr	0,73	0,70	0,72
set-mar	0,61	0,62	0,61
ott-feb	0,49	0,52	0,51
nov-gen	0,40	0,43	0,42
dic	0,34	0,38	0,36

La seconda correzione riguarda il funzionamento dell'aerogeneratore che produce il massimo effetto del fenomeno di shadow flickering quando il rotore è in funzione ed il suo orientamento è disposto in maniera ortogonale alla direttrice dei raggi solari nella direzione aerogeneratore-ricettore. Infatti, un orientamento differente provoca una riduzione della durata del fenomeno di shadow flickering incidente sul ricettore.

In merito al funzionamento dell'aerogeneratore si è fatto riferimento ai due parametri di azionamento legati alla ventosità del sito: direzione del vento ed ore di funzionamento diurno.

Il sito in questione sviluppa una producibilità massima teorica specifica di circa 3.300 h/anno stimabile sia nella frazione diurna che notturna. Escludendo le ore notturne (in cui non si registrano fenomeni di ombreggiamento) occorre stimare le ore di funzionamento in relazione al percorso solare e valutare la frazione di tempo significativa in termini di ombreggiamento sul potenziale ricettore sensibile. Inoltre occorre eseguire una ulteriore correzione per tener conto della direzione del vento che incide notevolmente sull'orientamento del rotore.

Il grafico teorico della direzione del vento per il sito in esame mostra i seguenti valori rispetto ai punti cardinali:

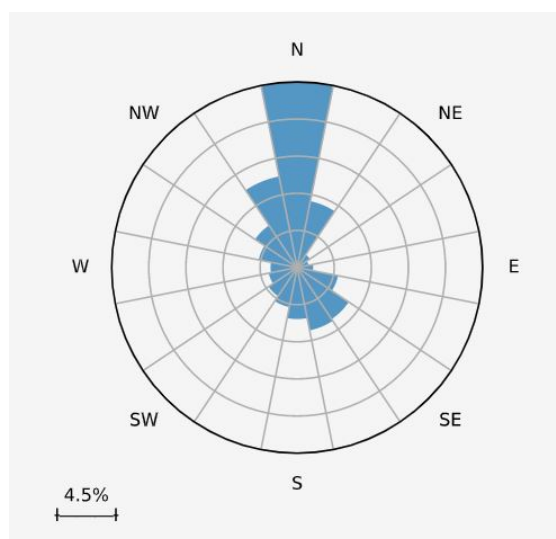


Fig. 4 – direzioni del vento per la specifica località (carta delle prevalenze)

La tabella che segue mostra le percentuali di funzionamento dell'aerogeneratore nei diversi orientamenti per come determinati dalla carta delle prevalenze.

azimut	% funzionamento	Ore equivalenti stimate (h/anno)
N	49,67%	1.639,22
N-N/E	6,66%	219,72
NE	0,42%	13,85
N/E-E	0,13%	4,26
E	0,28%	9,21
E-S/E	2,60%	85,93
S/E	5,51%	181,68
S/E-S	6,28%	207,09
S	3,71%	122,57
S-S/W	2,26%	74,74
S/W	1,69%	55,67
S/W-W	1,27%	41,82
W	1,02%	33,74
W-N/W	1,96%	64,69
N/W	3,79%	125,06
N/W-N	12,75%	420,74
TOTALE	100%	3.300,00

Pertanto, l'analisi di approfondimento per i potenziali ricettori ricadenti all'interno dell'area in cui risulta un ombreggiamento astronomico teorico con durata superiore a 100 h/anno sono trattata secondo le seguenti due distinte ipotesi:

- a) ipotesi che massimizza il fenomeno in termini di geometria (rotore orientato ortogonalmente alla direzione WTG-ricettore) considerando la durata corretta in termini di eliofania e funzionamento dell'aerogeneratore;
- b) ipotesi che massimizza il fenomeno in termini di durata (rotore orientato ortogonalmente alla direzione prevalente del vento) considerando, a vantaggio di sicurezza, che in tutte le ore di funzionamento dell'aerogeneratore il rotore sia orientato nella direzione prevalente del vento.

I risultati ottenuti dalle due ipotesi fondamentali saranno confrontati con le durate ritenute tollerabili:

- durata del fenomeno inferiore a 100 h/anno;
- durata del fenomeno inferiore a 30 min/giorno.

Conseguentemente ai risultati ottenuti verranno individuate le possibili misure di mitigazione del fenomeno 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. 6 aerogeneratori dislocati all'interno del territorio del comune di Castronovo di Sicilia (PA). Di seguito si riporta l'estratto dell'elaborato (EDP0021 - Planimetria degli effetti shadow flickering) con individuazione delle fasce di innesco teorico del fenomeno di shadow flickering sui potenziali ricettori sensibili.

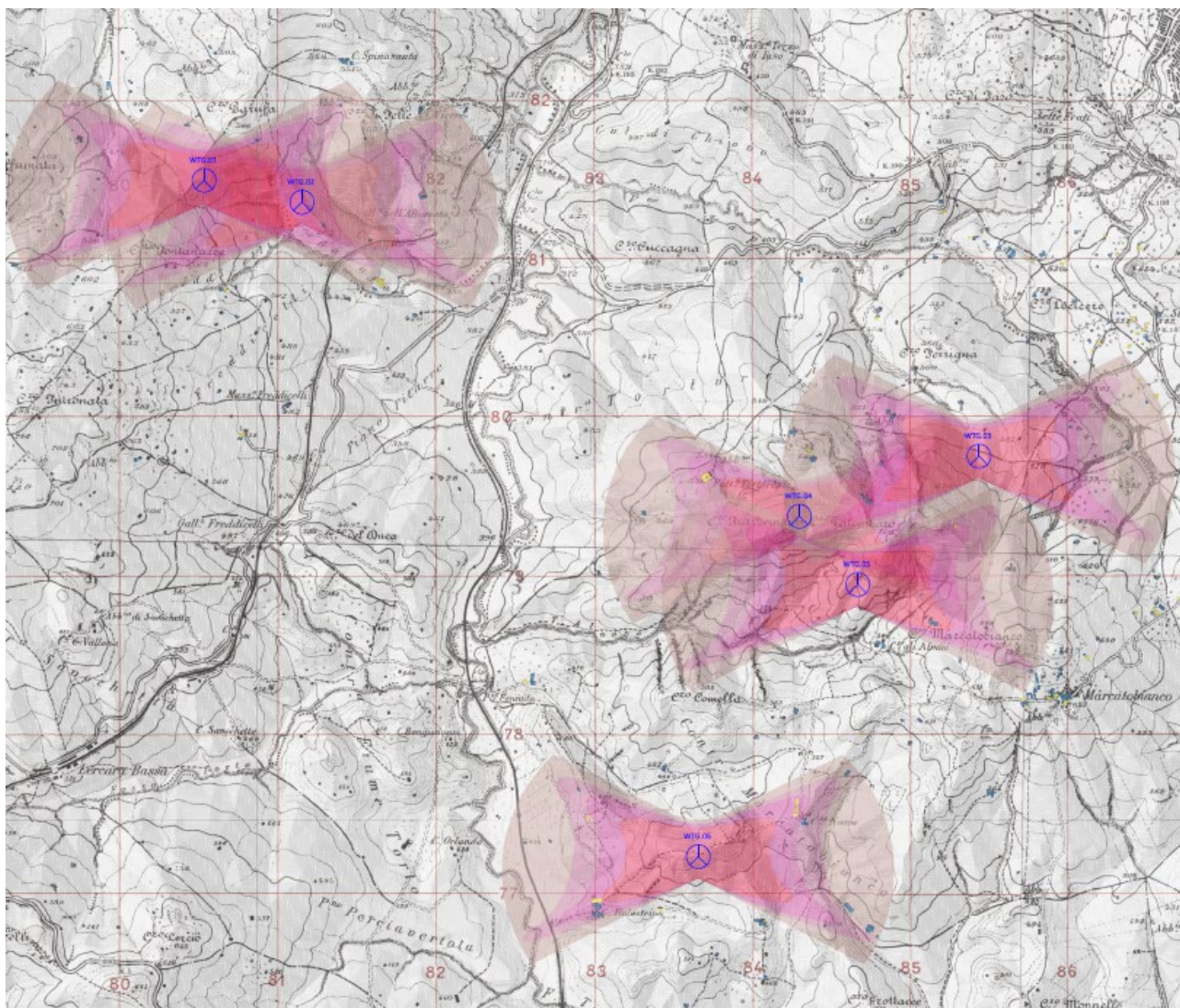


Figura 5. Analisi degli effetti dello shadow flickering (estratto dell'elaborato EDP0021 - Planimetria degli effetti shadow flickering)

WTG N.	COORDINATE PIANE SISTEMA UTM WGS 84 - FUSO 33 NORD		Ubicazione catastale
	EST	NORD	
01	380.485,48	4.181.301,22	Roccapalumba (PA) foglio 18 part. 100
02	381.104,28	4.181.163,62	Roccapalumba (PA) foglio 18 part. 66
03	385.382,75	4.179.559,67	Castronovo di Sicilia (PA) foglio 2 part. 144

WTG N.	COORDINATE PIANE SISTEMA UTM WGS 84 - FUSO 33 NORD		Ubicazione catastale
	EST	NORD	
04	384.247,78	4.179.180,24	Castronovo di Sicilia (PA) foglio 2 part. 452
05	384.616,47	4.178.748,98	Castronovo di Sicilia (PA) foglio 2 part. 370
06	383.608,98	4.177.031,41	Castronovo di Sicilia (PA) foglio 10 part. 592

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 cui se ne riporta l'estratto tabellare con le relative coordinate e la loro destinazione d'uso:

<i>id</i>	<i>tipologia</i>	<i>Durata fenomeno ombreggiamento astronomico</i>	<i>id</i>	<i>tipologia</i>	<i>Durata fenomeno ombreggiamento astronomico</i>
166	Altri Edifici	> 100 h/anno	421	Altri Edifici	da 50 a 100 h/anno
165	Altri Edifici	> 100 h/anno	149	Altri Edifici	da 30 a 50 h/anno
419	Altri Edifici	> 100 h/anno	150	Altri Edifici	da 30 a 50 h/anno
362	Altri Edifici	> 100 h/anno	151	Altri Edifici	da 30 a 50 h/anno
294	Altri Edifici	> 100 h/anno	94	Altri Edifici	da 30 a 50 h/anno
117	Altri Edifici	> 100 h/anno	166	Altri Edifici	da 30 a 50 h/anno
118	Altri Edifici	> 100 h/anno	89	Altri Edifici	da 30 a 50 h/anno
119	Altri Edifici	> 100 h/anno	305	Altri Edifici	da 30 a 50 h/anno
112	Altri Edifici	> 100 h/anno	132	Altri Edifici	da 30 a 50 h/anno
113	Altri Edifici	> 100 h/anno	138	Altri Edifici	da 30 a 50 h/anno
114	Altri Edifici	> 100 h/anno	139	Altri Edifici	da 30 a 50 h/anno
114	Altri Edifici	> 100 h/anno	426	Altri Edifici	da 30 a 50 h/anno
87	Altri Edifici	> 100 h/anno	436	Altri Edifici	da 30 a 50 h/anno
206	Altri Edifici	da 50 a 100 h/anno	431	Altri Edifici	da 30 a 50 h/anno
84	Altri Edifici	da 50 a 100 h/anno	66	Abitazione	da 30 a 50 h/anno
17	Abitazione	da 50 a 100 h/anno	65	Abitazione	da 30 a 50 h/anno
21	Abitazione	da 50 a 100 h/anno	252	Altri Edifici	< 30 h/anno
22	Abitazione	da 50 a 100 h/anno	165	Altri Edifici	< 30 h/anno
23	Abitazione	da 50 a 100 h/anno	131	Altri Edifici	< 30 h/anno
67	Abitazione	da 50 a 100 h/anno	124	Altri Edifici	< 30 h/anno
419	Abitazione	da 50 a 100 h/anno	128	Altri Edifici	< 30 h/anno
362	Altri Edifici	da 50 a 100 h/anno	129	Altri Edifici	< 30 h/anno
417	Altri Edifici	da 50 a 100 h/anno	366	Altri Edifici	< 30 h/anno
445	Altri Edifici	da 50 a 100 h/anno	368	Altri Edifici	< 30 h/anno
444	Altri Edifici	da 50 a 100 h/anno	369	Altri Edifici	< 30 h/anno
415	Altri Edifici	da 50 a 100 h/anno	370	Altri Edifici	< 30 h/anno
306	Altri Edifici	da 50 a 100 h/anno	310	Altri Edifici	< 30 h/anno
404	Altri Edifici	da 50 a 100 h/anno	291	Altri Edifici	< 30 h/anno
412	Altri Edifici	da 50 a 100 h/anno	134	Altri Edifici	< 30 h/anno
414	Altri Edifici	da 50 a 100 h/anno	140	Altri Edifici	< 30 h/anno
416	Altri Edifici	da 50 a 100 h/anno	141	Altri Edifici	< 30 h/anno
418	Altri Edifici	da 50 a 100 h/anno	142	Altri Edifici	< 30 h/anno
419	Altri Edifici	da 50 a 100 h/anno			

<i>id</i>	<i>tipologia</i>	<i>Durata fenomeno ombreggiamento astronomico</i>
143	Altri Edifici	< 30 h/anno
136	Altri Edifici	< 30 h/anno
137	Altri Edifici	< 30 h/anno
146	Altri Edifici	< 30 h/anno
432	Altri Edifici	< 30 h/anno
433	Altri Edifici	< 30 h/anno
434	Altri Edifici	< 30 h/anno

<i>id</i>	<i>tipologia</i>	<i>Durata fenomeno ombreggiamento astronomico</i>
125	Abitazione	< 30 h/anno
126	Abitazione	< 30 h/anno
127	Abitazione	< 30 h/anno
120	Abitazione	< 30 h/anno
25	Abitazione	< 30 h/anno
363	Abitazione	< 30 h/anno

I possibili ricettori sensibili individuati, per i quali si registrano valori di durata superiore a 100 h/anno di ombreggiamento astronomico, sono i seguenti:

- **166 Altri Edifici**
- **165 Altri Edifici**
- **419 Altri Edifici**
- **362 Altri Edifici**
- **294 Altri Edifici**
- **117 Altri Edifici**
- **118 Altri Edifici**
- **119 Altri Edifici**
- **112 Altri Edifici**
- **113 Altri Edifici**
- **114 Altri Edifici**
- **87 Altri Edifici**

Non si registrano tra questi fabbricati a destinazione d'uso abitativa tra quelli individuati.

I fabbricati con destinazione d'uso abitazione (idd. 17, 21, 22, 23, 67, 419, 66, 65, 125, 126, 127, 120, 25, 363), presentano valori della durata dell'ombreggiamento astronomico inferiore alle 100 h/anno per cui non risulta necessario un ulteriore approfondimento dell'analisi. Si precisa che l'analisi sopra riportata considera esclusivamente l'ombreggiamento teorico che non considera quindi elementi determinati per la valutazione reale del fenomeno quali ad esempio l'eliofania, gli elementi schermanti naturali o antropici e la disposizione delle aperture nei corpi di fabbrica investigati.

Pertanto, visto che la durata teorica del fenomeno per i fabbricati ad uso abitativo è risultata inferiore alle 100 h/anno, la presenza di questi fenomeni certamente riduce le durate del fenomeno di shadow flickering su detti fabbricati.

Conclusioni

L'analisi svolta dimostra che la realizzazione del parco eolico di cui al presente progetto non interferisce in maniera sensibile sui ricettori per quanto riguarda il verificarsi dell'effetto shadow flickering in quanto tale fenomeno è potenzialmente riscontrabile solo in periodi limitati della giornata durante alcuni mesi dell'anno.

Nessuno dei ricettori sensibili (abitazioni) presenta valori di durata del fenomeno superiori a 100 h/anno di ombreggiamento teorico che si riduce ulteriormente in ragione delle altre componenti quali eliofania, elementi schermanti naturali o antropici e la disposizione delle aperture nei corpi di fabbrica investigati. Pertanto la localizzazione degli aerogeneratori risulta compatibile con gli effetti di shadow flickering.

Inoltre non si rileva la presenza di strade con traffico rilevante o altri ricettori sensibili al fenomeno nelle zone di influenza del parco eolico in progetto.

Al fine di limitare ulteriormente il verificarsi di tali fenomeni di shadow flickering sui ricettori presenti sono comunque praticabili opere di mitigazione quali: piantumazione di alberi o piante sempre verdi prospicienti alle aperture finestrate degli edifici qualora rivolte verso gli aerogeneratori.

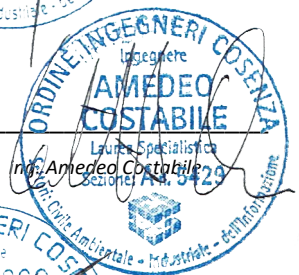
Allegato:

cartografia rappresentativa dello studio

i progettisti:



Ing. Giovanni Guzzo Foliaro



Ing. Amedeo Costabile



Ing. Francesco Meringolo