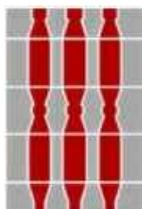


Regione Umbria



Provincia di Terni



Comune di Castel Giorgio



Comune di Orvieto



Committente:



RWE RENEWABLES ITALIA S.R.L.
via Andrea Doria, 41/G - 00192 Roma
P.IVA/C.F. 06400370968
PEC: rwerenewablesitaliasrl@legalmail.it

Titolo del Progetto:

PARCO EOLICO "PHOBOS"
- Comune di Castel Giorgio ed Orvieto (TR) -

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO OPERE CIVILI

N° Documento:

PEOS_OC_13_0

ID PROGETTO:

PEOS

DISCIPLINA:

PD

TIPOLOGIA:

R

FORMATO:

A4

Elaborato:

Studi degli effetti di shadow flickering

FOGLIO:

-

SCALA:

-

Nome file:

PEOS_OC_13_0_shadow_flickering.pdf

Progettazione:

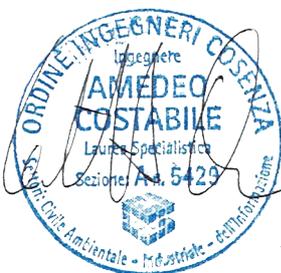


NEW DEVELOPMENTS S.r.l.
piazza Europa, 14
87100 Cosenza (CS)

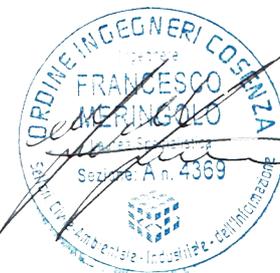
Progettista:



dott. ing. Giovanni Guzzo Foliaro



dott. ing. Amedeo Costabile



dott. ing. Francesco Meringolo

Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	18/05/2021	PRIMA EMISSIONE	New Developments	RWE	RWE

Sommario

Premessa.....	1
1. Criterio di stima dell'effetto shadow flickering.....	1
2. Analisi del fenomeno e stima delle interferenze.....	6
Conclusioni.....	13

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 Verkuijlen and Westra, 1984). Tali disturbi alla persona possono essere paragonati alle lampade a 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 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 Immisionen von Windenergie anlagen (WEA-Shattenwurf-Hinweise)" è necessario in primo luogo determinare il percorso solare nella latitudine di riferimento della turbina.

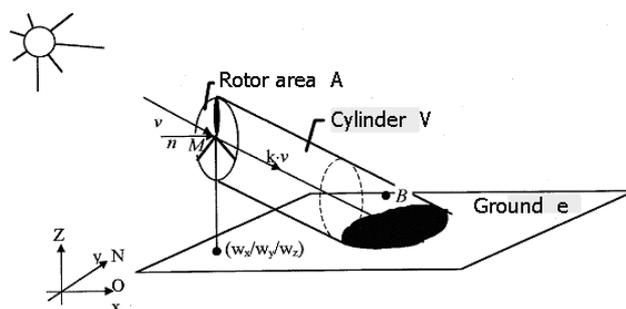


Fig. 1 - schematizzazione effetto shadow flickering

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.

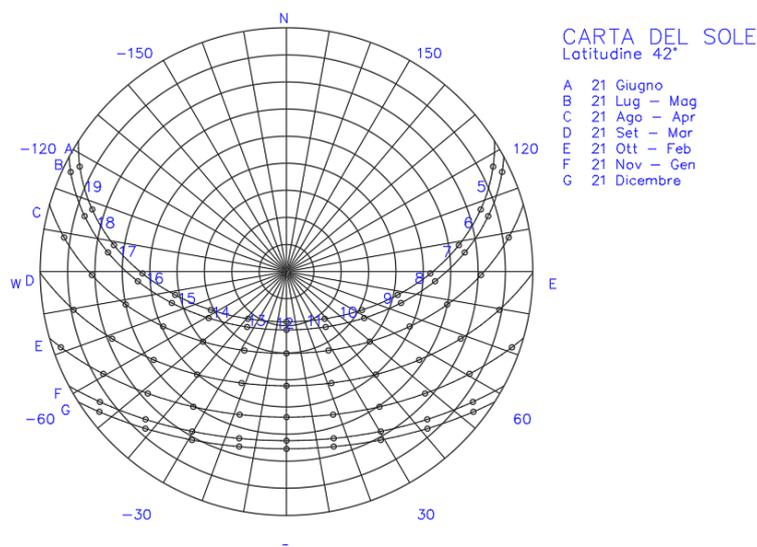


Fig. 2 - traiettorie solari - Carta del Sole Lat. 42

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 inviluppo 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:

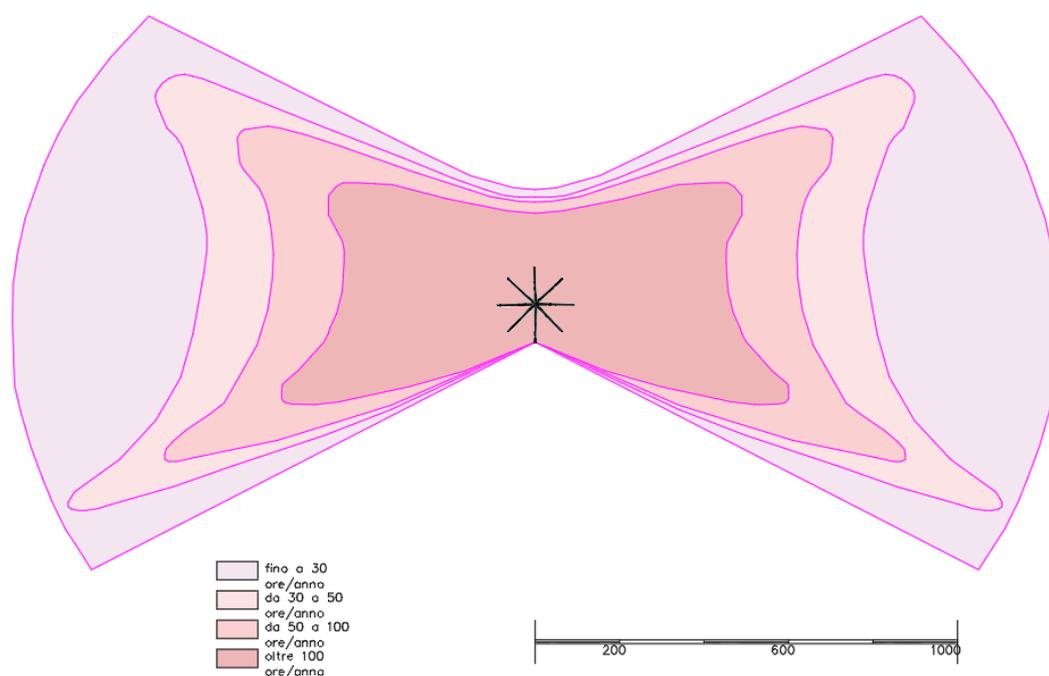


Fig. 3 - evoluzione effetto shadow flickering annuale - Carta del Sole Lat. 42 - turbina H = 115+85

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 sensibili ricadenti all'esterno delle zone classificate con intensità teorica del fenomeno shadow flickering superiore a 100 ore/anno.

Nel caso risulti necessario si può estendere l'analisi sui potenziali ricettori sensibili ricadenti all'interno dell'area di intensità teorica del fenomeno eseguendo 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.

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 incidente sul ricettore.

2. Analisi del fenomeno e stima delle interferenze

Il parco eolico “Phobos” in progetto è composto da n. 7 aerogeneratori dislocati all’interno del territorio dei comuni di **Castel Giorgio** e **Orvieto**. Di seguito si riporta l’estratto dell’elaborato (OC_13_1 - Planimetria degli effetti shadow flickering) con individuazione delle fasce di innesco teorico del fenomeno di shadow flickering sui potenziali ricettori sensibili.

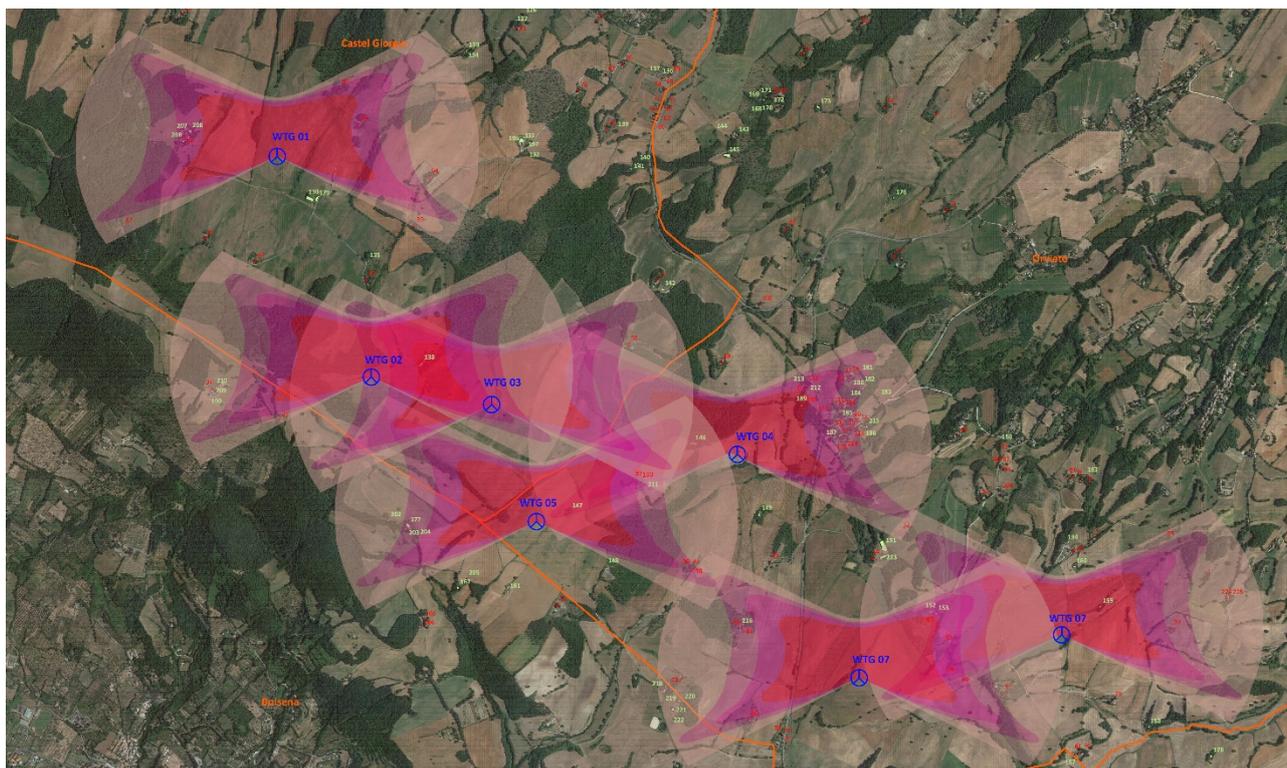


Figura 4. Analisi degli effetti dello shadow flickering (estratto dell’elaborato OC_13_1 - Planimetria degli effetti shadow flickering)

WTG N.	COORDINATE PIANE SISTEMA UTM WGS 84 - FUSO 33 NORD	
	EST	NORD
01	253.488,10	4.729.906,00
02	254.065,70	4.728.543,00
03	254.804,20	4.728.373,00
04	256.312,55	4.728.065,42
05	258.302,80	4.726.951,00
06	257.060,20	4.726.865,33

Al fine di valutare le possibili interferenze tra l'effetto shadow flickering delle turbine ed i ricettori sensibili è stata eseguita una analisi catastale dei fabbricati presenti nell'area di interesse di cui se ne riporta l'estratto tabellare con le relative destinazioni d'uso, desumibili dai registri censuari, e le corrispondenti durate del fenomeno di ombreggiamento astronomico stimato:

id	tipologia	Durata fenomeno ombreggiamento astronomico
57	Categoria A	< 30 h/anno
60	Categoria A	da 50 a 100 h/anno
206	Altri edifici	da 50 a 100 h/anno
207	Altri edifici	da 50 a 100 h/anno
208	Altri edifici	da 50 a 100 h/anno
42	Categoria A	da 50 a 100 h/anno
84	Categoria A	da 50 a 100 h/anno
94	Categoria A	< 30 h/anno
34	Categoria A	< 30 h/anno
209	Altri edifici	< 30 h/anno
210	Altri edifici	< 30 h/anno
190	Altri edifici	< 30 h/anno
33	Categoria A	< 30 h/anno
138	Altri edifici	>100 h/anno
93	Categoria A	< 30 h/anno
97	Categoria A	da 50 a 100 h/anno
100	Categoria A	da 50 a 100 h/anno
211	Altri edifici	da 50 a 100 h/anno
146	Altri edifici	>100 h/anno
189	Altri edifici	>100 h/anno
213	Altri edifici	da 50 a 100 h/anno
107	Categoria A	da 50 a 100 h/anno
212	Altri edifici	da 50 a 100 h/anno
109	Categoria A	>100 h/anno
28	Categoria A	da 30 a 50 h/anno
27	Categoria A	da 30 a 50 h/anno
25	Categoria A	da 30 a 50 h/anno

id	tipologia	Durata fenomeno ombreggiamento astronomico
111	Categoria A	da 30 a 50 h/anno
114	Categoria A	da 30 a 50 h/anno
26	Categoria A	da 30 a 50 h/anno
117	Categoria A	da 30 a 50 h/anno
113	Categoria A	da 30 a 50 h/anno
181	Altri edifici	da 30 a 50 h/anno
182	Altri edifici	da 30 a 50 h/anno
115	Categoria A	da 30 a 50 h/anno
214	Categoria A	da 30 a 50 h/anno
187	Altri edifici	da 30 a 50 h/anno
185	Altri edifici	da 30 a 50 h/anno
184	Altri edifici	da 30 a 50 h/anno
180	Altri edifici	da 30 a 50 h/anno
183	Altri edifici	< 30 h/anno
52	Categoria A	< 30 h/anno
202	Altri edifici	< 30 h/anno
177	Altri edifici	< 30 h/anno
203	Altri edifici	< 30 h/anno
204	Altri edifici	< 30 h/anno
147	Altri edifici	>100 h/anno
95	Categoria A	da 30 a 50 h/anno
96	Categoria A	da 30 a 50 h/anno
98	Categoria A	da 30 a 50 h/anno
151	Altri edifici	< 30 h/anno
223	Altri edifici	< 30 h/anno
152	Altri edifici	da 50 a 100 h/anno
153	Altri edifici	da 50 a 100 h/anno

<i>id</i>	<i>tipologia</i>	<i>Durata fenomeno ombreggiamento astronomico</i>
159	Altri edifici	>100 h/anno
99	Categoria A	< 30 h/anno
1	Categoria A	< 30 h/anno
224	Categoria A	< 30 h/anno
225	Categoria A	< 30 h/anno
72	Categoria A	da 30 a 50 h/anno
50	Categoria A	< 30 h/anno
85	Categoria A	da 50 a 100 h/anno
68	Categoria A	da 50 a 100 h/anno
66	Categoria A	da 50 a 100 h/anno
218	Altri edifici	< 30 h/anno
219	Altri edifici	< 30 h/anno

<i>id</i>	<i>tipologia</i>	<i>Durata fenomeno ombreggiamento astronomico</i>
220	Altri edifici	< 30 h/anno
221	Altri edifici	< 30 h/anno
222	Altri edifici	< 30 h/anno
217	Categoria A	< 30 h/anno
216	Altri edifici	da 30 a 50 h/anno
45	Categoria A	da 30 a 50 h/anno
46	Categoria A	da 30 a 50 h/anno
86	Categoria A	da 30 a 50 h/anno
50	Categoria A	>100 h/anno
68	Categoria A	da 30 a 50 h/anno
31	Categoria A	< 30 h/anno

La valutazione sui possibili effetti del fenomeno è riconducibile pertanto a quegli edifici ricadenti all'interno della categoria catastale A (Abitazioni e Uffici) per i quali si registrano valori di durata superiore alle 100 h/anno di ombreggiamento astronomico:

- **id 50 Abitazione**
- **id 109 Abitazione**

Per questi ricettori segue analisi approfondita per la valutazione degli effetti di shadow flickering per valutare la necessità di ulteriori misure di mitigazione.

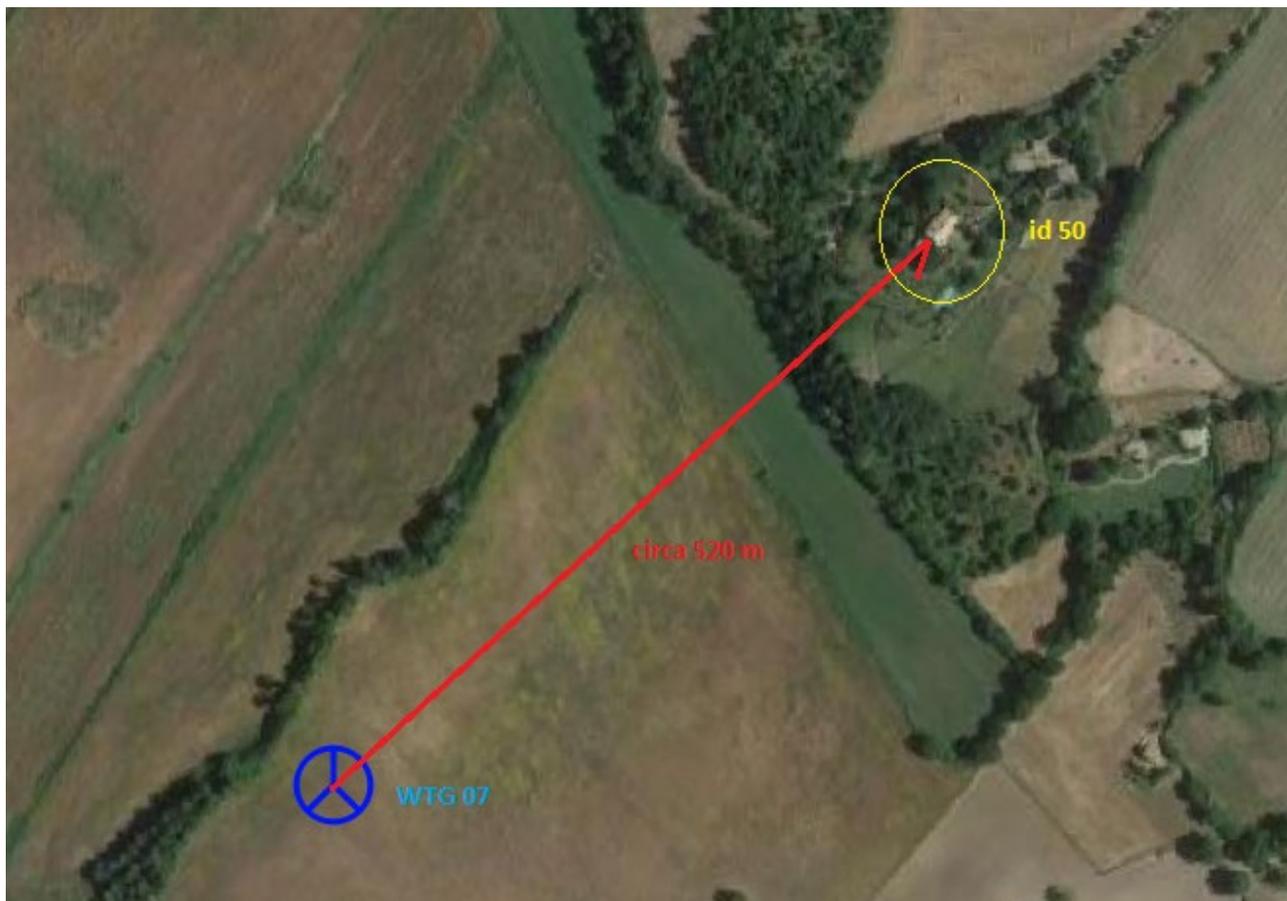
Ricettore id 50

Figura 5. Disposizione planimetrica del ricettore id 50

Il ricettore è rappresentato da un fabbricato destinato ad abitazione posto a circa 520 metri in direzione nord/est dall'aerogeneratore denominato WTG 07.

L'analisi ha mostrato la possibile presenza del fenomeno di shadow flickering nelle ore serali per una durata complessiva superiore alle 100 h/anno. Tuttavia detto fenomeno è del tutto trascurabile senza introdurre ulteriori misure di mitigazione visto la presenza di schermature naturali (alberature di alto fusto) interposte tra l'aerogeneratore in progetto e poste nelle immediate vicinanze del fabbricato.



Figura 6. Schermatura del ricettore id 50 - aerofoto

Tale circostanza rende del tutto trascurabile l'effetto di shadow flickering così come stimato teoricamente mediante l'ombreggiamento astronomico per questo ricettore.

Ricettore id 109



Figura 7. Disposizione planimetrica del ricettore id 109

Il ricettore è rappresentato da un fabbricato censito catastalmente al foglio 216 di Orvieto, part. 87 interamente circondato da una fitta alberatura, come mostrato nella figura seguente, che di fatto esclude ogni possibile manifestazione del fenomeno di shadow flickering su questo ricettore.



Figura 8. Ricettore id 109

Per i restanti ricettori censiti, con durata teorica del fenomeno inferiore alle 100 ore/anno ed appartenenti alla categoria A (Abitazioni e Uffici) non sono state eseguite ulteriori analisi poiché la durata teorica del fenomeno, riferita all'ombreggiamento astronomico, è certamente cautelativa rispetto alla reale condizione di esercizio dell'aerogeneratore ed all'eliofania.

Per quando riguarda invece la categoria "Altri Edifici", rappresentata dalle altre destinazioni d'uso, per i quali si registrano valori di durata superiore alle 100 h/anno di ombreggiamento astronomico sono i seguenti:

- **id 138 - Castel Giorgio foglio 48 particella 40 – Unità Collabente (F2)**
- **id 146 - Orvieto foglio 221 particella 4 – Unità Collabente (F2)**
- **id 189 - Orvieto foglio 216 particella 227 – Garage (C6)**
- **id 147 - Orvieto foglio 222 particella 46 – Unità Collabente (F2)**
- **id 159 - Orvieto foglio 227 particella 95 – Infrastruttura di comunicazione (F7)**

Per questi ricettori non sono state condotte ulteriori analisi per la valutazione degli effetti di shadow flickering poiché non è prevista la presenza continuativa di persone al loro interno. Inoltre, tutti i fabbricati sopraccitati risultano circondati da alberatura ad alto fusto che di fatto rende trascurabile l'effetto shadow flickering.

	
<p>Id 138 – rudere circondato da alberature</p>	<p>Id 146 – rudere circondato da alberature</p>
	
<p>Id 189 – garage circondato da alberature</p>	<p>Id 147 – rudere circondato da alberature</p>
	
<p>Id 159 – infrastruttura comunicazioni circondato da alberature</p>	<p>Id 147 – rudere</p>

Figura 9. Censimento ricettori id 138, 146, 189, 147 e 159

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.

In particolare il presente studio ha esaminato l'effetto del fenomeno su tutti i fabbricati interferenti con aree prossime agli aerogeneratori in progetto approfondendo quei ricettori con durata teorica dell'ombreggiamento astronomico superiore alle 100 h/anno, quale limite superiore della verifica nei confronti del possibile effetto significativo sulle persone.

In particolare sono stati valutati gli effetti sui fabbricati ricadenti nella categoria catastale "A" (Abitazioni e uffici), deducibili dai registri censuari dell'Agenzia delle Entrate e su tutti gli altri edifici censiti con altre categorie catastali.

Per i ricettori esaminati con durata superiore alle 100 h/anno del fenomeno di shadow flickering si è approfondita l'analisi al fine di valutare eventuali altre opere di mitigazione o delocalizzazione degli aerogeneratori.

Lo studio ha dimostrato la piena compatibilità dell'ubicazione degli aerogeneratori nei confronti del fenomeno di shadow flickering sui fabbricati circostanti non riscontrando effetti significativi che necessitano di ulteriori misure di mitigazione.

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

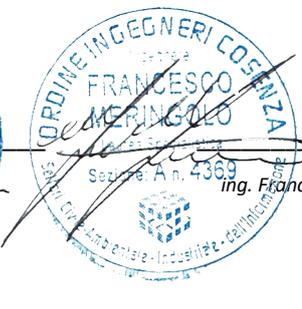
i progettisti:



ing. Giovanni Guzzo Foliaro



ing. Amedeo Costabile



ing. Francesco Meringolo