



REGIONE  
SICILIANA



COMUNE DI  
CONTESSA ENTELLINA



COMUNE DI SANTA  
MARGHERITA DI BELICE



COMUNE DI  
SAMBUCA DI SICILIA



COMUNE DI  
MENFI



Committente:



CONTESSA ENTELLINA  
ENERGY & INFRASTRUCTURE

CONTESSA ENTELLINA S.R.L.  
P.IVA 1329980960  
VIA DANTE 7 MILANO C.A.P. 20123

Titolo del Progetto:

**Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un parco eolico denominato "Contessa Entellina" di 39,6 MW con sistema di accumulo di 12 MW e le relative opere connesse da svilupparsi nei comuni di Contessa Entellina (PA), Santa Margherita di Belice (AG), Sambuca di Sicilia (AG) e Menfi (AG)**

Documento:

**PROGETTO DEFINITIVO**

N° Tavola:  
REL0017

Elaborato:

**Studi degli effetti di shadow flickering**

SCALA:	-
FOGLIO:	1 di 1
FORMATO:	A4

folder: Relazioni progetto civile\_Specialistiche

Nome File: RS06REL0017A0.pdf

Progettazione:

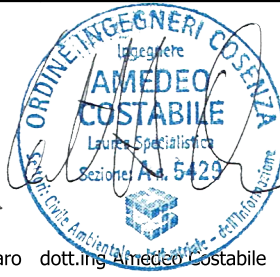


NEW DEVELOPMENTS srl  
piazza Europa, 14 - 87100 Cosenza (CS)

Progettisti:



dott.ing. Giovanni Guzzo Foliaro



dott.ing. Amedeo Costabile



dott. Ing. Francesco Meringolo

Gruppo di lavoro:

dott.ing. Denise Di Cianni  
dott.ing. Diego De Benedittis  
dott.ing. Pasquale Simone Gatto

Rev:	Data Revisione:	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	11/12/2023	PRIMA EMISSIONE	New Dev.	CONTESSA ENTELLINA	CONTESSA ENTELLINA



## Sommario

Premessa .....	2
1. Criterio di stima dell'effetto shadow flickering .....	2
2. Analisi del fenomeno e stima delle interferenze.....	9
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 (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 Verkuijen and Westra, 1984). Tali disturbi alla persona possono essere paragonati 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 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.

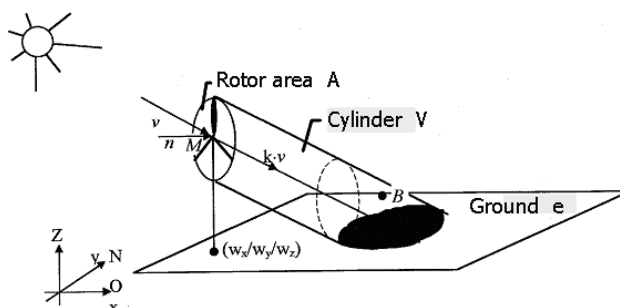


Fig. 1 - schematizzazione effetto shadow flickering

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  $\alpha$ : 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  $\alpha$ );
- 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  $\delta$ : 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  $\alpha$  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  $90^\circ$ , mentre la funzione arcoseno fornisce per convenzione valori di  $a$  compresi tra  $-90^\circ$  e  $+90^\circ$ , è necessario, in questi casi, apporre delle correzioni ai valori calcolati.

La declinazione solare  $\delta$  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'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.

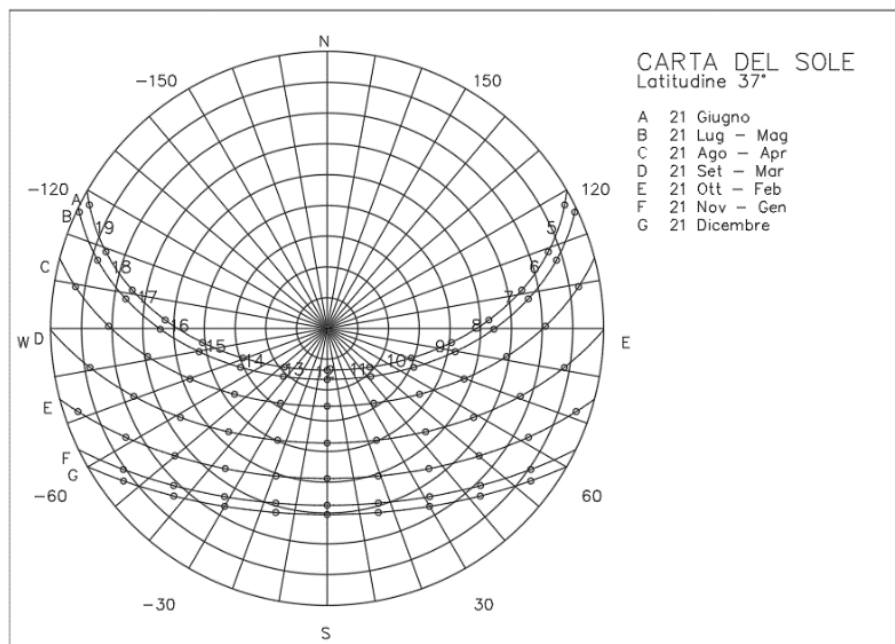


Fig. 2 - traiettorie solari - Carta del Sole Lat. 37

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 ricevitore 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:

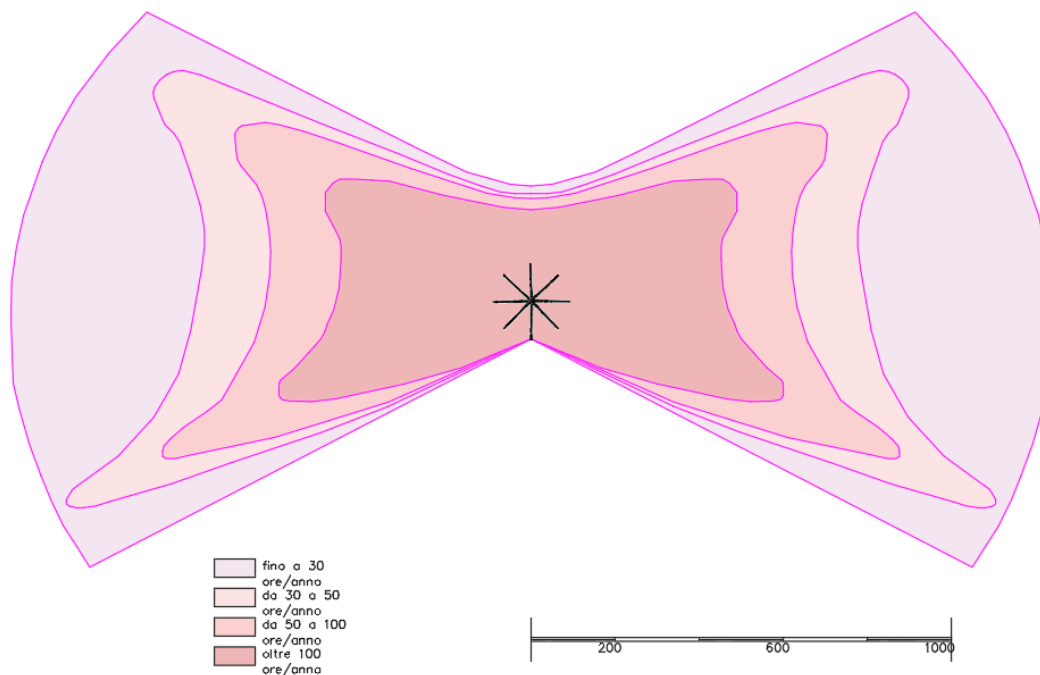


Fig. 3 - evoluzione effetto shadow flickering annuale - Carta del Sole Lat. 37 - turbina H = 135+85

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 modello appena descritto è stato calcolato con l'ausilio del software windPro ver 3.6 attraverso il modulo "Shadow". Il software richiede in input i seguenti parametri:

- La posizione dei WTG (coordinate x, y, z)
- L'altezza del mozzo e il diametro del rotore dei WTG
- La posizione dell'oggetto ricevitore dell'ombra (coordinate x, y, z)
- Le dimensioni della finestra e la sua orientazione, sia direzionale (rispetto al sud) che inclinazione (angolo del piano della finestra rispetto all'orizzontale).
- La posizione geografica (latitudine e longitudine) insieme alle informazioni sul fuso orario e all'ora legale.
- Un modello di simulazione, che contiene informazioni sull'orbita della Terra e sulla rotazione rispetto al Sole.

Per quanto riguarda i ricettori, non avendo a disposizione le posizioni e le dimensioni delle finestre, è stata considerata la situazione più gravosa ossia quella di considerare i fabbricati come delle "serre", sulle quali il fenomeno dello shadow flicker non si verifica in una particolare direzione, bensì su tutte le facciate del fabbricato.

Il software considera inoltre una riduzione del fenomeno causata dall'orografia del terreno. L'orografia del terreno influisce sul fenomeno in quanto un ricettore può trovarsi in una zona d'ombra a causa della topografia (ad esempio profonde valli), e non riceverà alcun impatto di flicker. In tal caso, windPRO verifica semplicemente se c'è una linea di vista tra il ricevitore e il Sole.

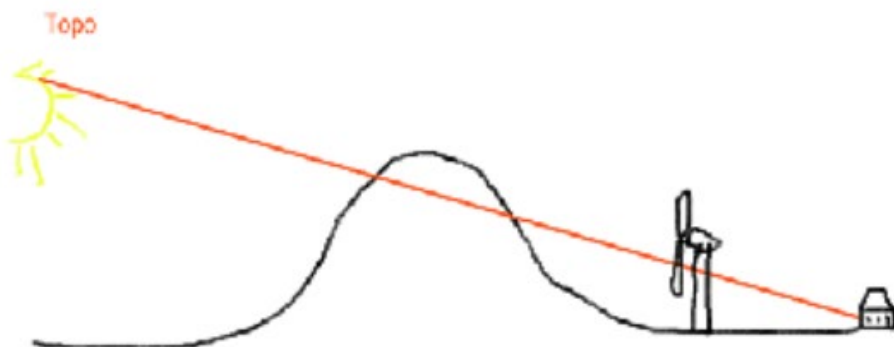


Figura 4. Effetto della superficie topografica sul fenomeno di shadow flicker

Per una prima stima dell'effetto di shadow flicker si è considerato un funzionamento dell'aerogeneratore che produce il massimo effetto del fenomeno, ossia 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.

Per una valutazione più accurata invece è necessaria conoscere i 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 2.413 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:



## Mean wind parameters and wind rose:

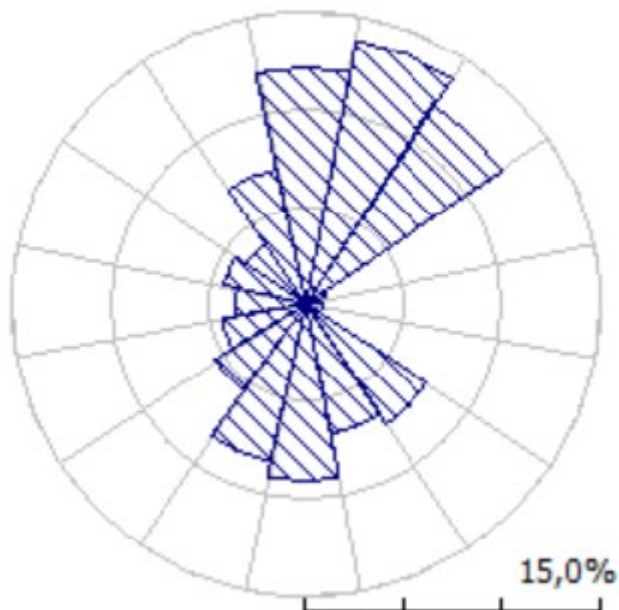


Fig. 4 – direzioni del vento per la specifica località (carta delle prevalenze)

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 progetto prevede la realizzazione di n. 6 aerogeneratori aventi un diametro di rotore da 170 m, un'altezza mozzo di 135 m e potenza nominale pari a 6,6 MW cadauno per un totale complessivo pari a 39,6 MW. L'altezza complessiva dell'aerogeneratore tipo adottato è pari a 220 m. Di seguito si riporta l'estratto dell'elaborato (EDP0060 - Planimetria degli effetti shadow flickering) con individuazione delle fasce di innesco teorico del fenomeno di shadow flickering sui potenziali ricettori sensibili.

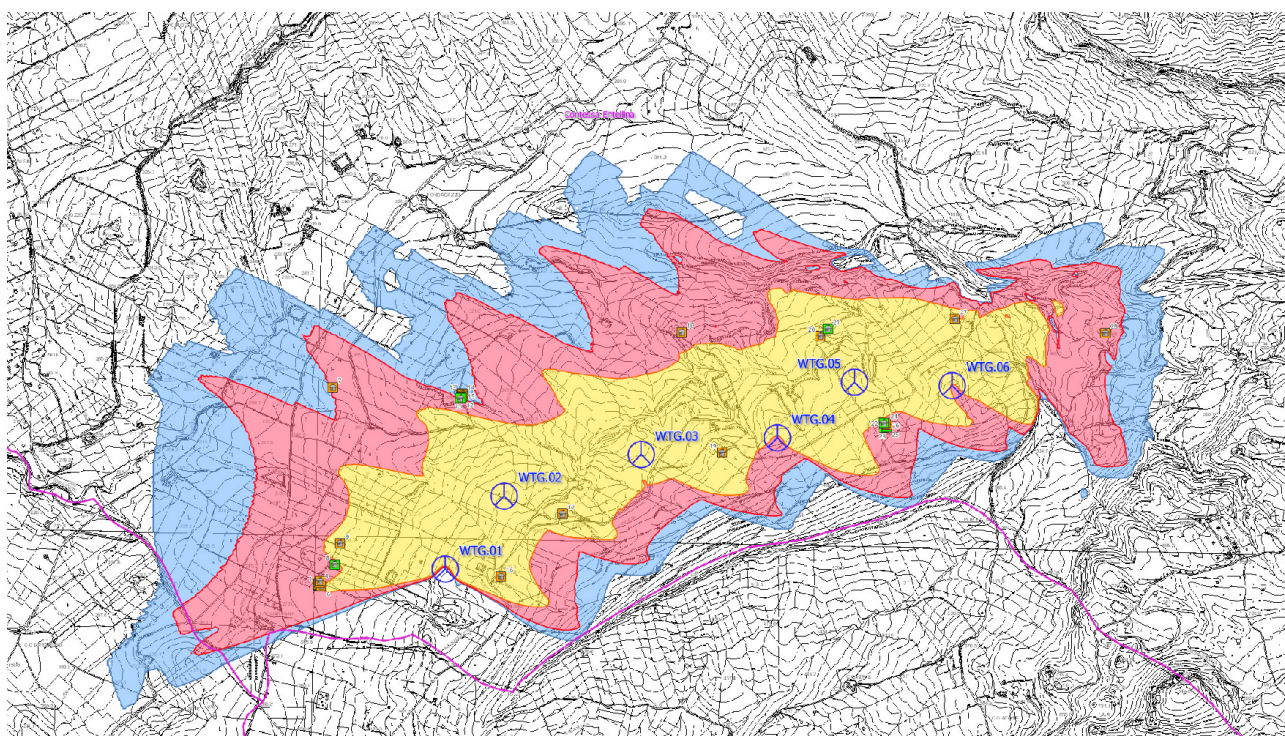


Figura 5. Analisi degli effetti dello shadow flickering (estratto dell'elaborato EDP0060- Planimetria degli effetti shadow flickering)

WTG	COORDINATE PIANE SISTEMA UTM WGS 84 - FUSO 33 NORD		Ubicazione catastale
	EST	NORD	
<b>WTG.01</b>	<b>331713.107</b>	<b>4173942.535</b>	<b>Contessa Entellina (PA) foglio 38 part. 420</b>
<b>WTG.02</b>	<b>332052.093</b>	<b>4174361.818</b>	<b>Contessa Entellina (PA) foglio 38 part. 68</b>
<b>WTG.03</b>	<b>332841.190</b>	<b>4174601.120</b>	<b>Contessa Entellina (PA) foglio 38 part. 302</b>
<b>WTG.04</b>	<b>333624.489</b>	<b>4174697.147</b>	<b>Contessa Entellina (PA) foglio 38 part. 98</b>
<b>WTG.05</b>	<b>334068.330</b>	<b>4175017.016</b>	<b>Contessa Entellina (PA) foglio 39 part. 94</b>
<b>WTG.06</b>	<b>334630.162</b>	<b>4174997.028</b>	<b>Contessa Entellina (PA) foglio 39 part. 239</b>

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>Tipo</i>	<i>Categoria</i>	<i>Comune</i>	<i>Foglio</i>	<i>Particella</i>	<i>Durata del fenomeno di ombreggiamento astronomico [Ore/anno]</i>
1	Altri Edifici	C02	Contessa Entellina	28	697	85.2
2	Altri Edifici	C02	Contessa Entellina	28	698	85.2
3	Altri Edifici	Fabbricato Rurale	Contessa Entellina	28	107	85.2
4	Altri Edifici	Fabbricato Rurale	Contessa Entellina	28	376	84.6
5	Altri Edifici	Fabbricato Rurale	Contessa Entellina	28	377	81.7
6	Altri Edifici	C02	Contessa Entellina	28	674	95
7	Altri Edifici	F02	Contessa Entellina	29	761	30.9
8	Rudere	Fabb. da accertare	Contessa Entellina	28	469	97.3
9	Altri Edifici	C02	Contessa Entellina	28	483	117.4
10	Rudere	Fabbricato Diruto	Contessa Entellina	38	94	32.9
11	Altri Edifici	Fabbricato Rurale	Contessa Entellina	38	83	25.9
12	Rudere	Fabbricato Diruto	Contessa Entellina	38	89	26.5
13	Altri Edifici	F02	Contessa Entellina	38	531	27
14	Altri Edifici	F02	Contessa Entellina	38	532	27
15	Altri Edifici	Fabbricato Rurale	Contessa Entellina	38	92	26.6
16	Altri Edifici	Fabbricato Diruto	Contessa Entellina	38	26	304.6
17	Altri Edifici	C02	Contessa Entellina	38	410	334.6
18	Altri Edifici	NC	Contessa Entellina	38	2	83.1
19	Altri Edifici	C02	Contessa Entellina	38	13	316
20	Altri Edifici	F02	Contessa Entellina	39	337	306
21	Rudere	NC	Contessa Entellina	39	161	239.7
22	Rudere	Fabbricato Diruto	Contessa Entellina	39	70	60
23	Rudere	Fabbricato Diruto	Contessa Entellina	39	73	59.9
24	Altri Edifici	C02	Contessa Entellina	39	338	57.6
25	Rudere	Fabbricato Diruto	Contessa Entellina	39	73	57.1
26	Altri Edifici	Fabbricato Rurale	Contessa Entellina	39	77	55.1
27	Altri Edifici	C02	Contessa Entellina	39	339	164.6
28	Altri Edifici	D10	Contessa Entellina	40	406	40.4

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

- **9 Altri edifici**
- **16 Altri edifici**
- **17 Altri edifici**
- **19 Altri edifici**
- **20 Altri edifici**
- **21 Rudere**
- **27 Altri edifici**

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

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, i quali riducono certamente le durate del fenomeno di shadow flickering sui 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.

i progettisti:

