

2022

Realizzazione di un impianto eolico della potenza di 995 kW

COMUNE DI NULVI

RELAZIONE SUGLI EFFETTI DI SHADOW
FLICKERING



Sommario

1	PREMESSA	3
2	CENNI SUL FENOMENO DEL SHADOW FLICKERING	4
3	RECETTORI POTENZIALMENTE DISTURBATI	12
4	CONCLUSIONI	13

1 PREMESSA

La presente relazione ha lo scopo di calcolare la gittata massima raggiungibile dagli elementi rotanti di un aerogeneratore nel caso di distacco accidentale, in condizioni di normale funzionamento.

Il terreno interessato dall'impianto eolico, si trova in Comune di Nulvi - località 'Sos Cantareddos', sita a circa 4,8 km a nord est di Nulvi. Il terreno si trovano distante poco più di 4 km dall' asse viario di collegamento S.S. 127.

Il terreno è accessibile tramite viabilità comunale di tipo rurale.

Nel Catasto Terreni comunale il terreno è identificato al foglio 13 particella 35.

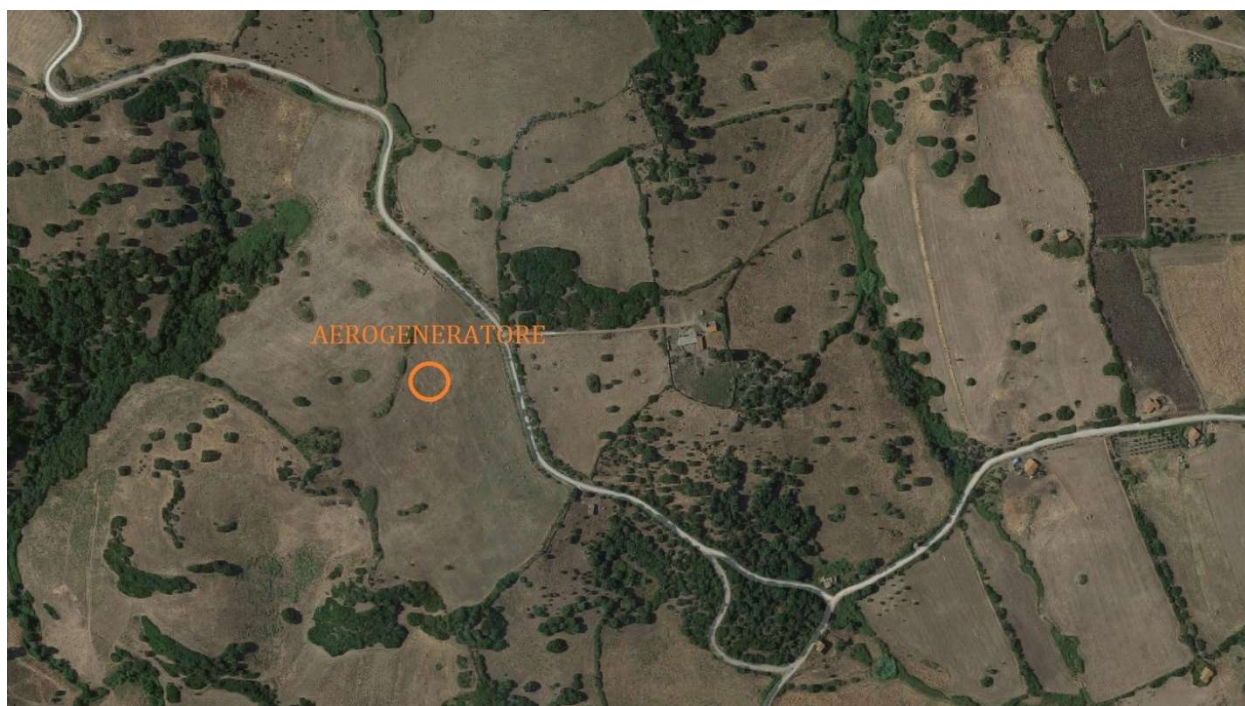


Figura 1- Inquadramento territoriale

2 CENNI SUL FENOMENO DEL SHADOW FLICKERING


Le turbine eoliche, come altre strutture fortemente sviluppate in altezza, proiettano un'ombra sulle aree adiacenti in presenza della luce solare diretta.

Con il termine Shadow-Flickering di una pala eolica si intende lo studio di quante volte durante un anno il cerchio descritto dalla pala in movimento del rotore di una turbina eolica, visto dalla finestra di una costruzione, è in linea con il sole. Questo particolare evento crea quindi, le premesse per il manifestarsi di sfarfallii e di ombre sulle costruzioni più prossime alla turbina. Tale variazione alternata di intensità luminosa, a lungo andare, può provocare fastidio agli occupanti delle abitazioni le cui finestre risultano esposte al fenomeno stesso. Il fenomeno si verifica durante il giorno in presenza di cielo sereno ed in assenza di ostacoli naturali, quali vegetazione alberi muri ecc., e con le turbine in movimento.

Il cosiddetto fenomeno del “flickering” indica quindi l'effetto di lampeggiamento che si verifica quando le pale del rotore in movimento “tagliano” la luce solare in maniera intermittente.

Per le ragioni anzidette, a distanze turbine-ricettore superiori a circa 300 metri solitamente il fenomeno di flickering si manifesta all'alba o al tramonto, allorquando le ombre proiettate sono sufficientemente lunghe. L'intensità del flickering è definita come la differenza in luminosità, in un determinato sito, in presenza ed assenza di un'ombra.

Di seguito si riassumono alcuni aspetti caratteristici del fenomeno:

-  la pala delle turbine eoliche è stretta in corrispondenza dell'estremità più esterna ed assume progressivamente maggiore larghezza verso la giunzione con il mozzo. Quando una turbina è posizionata sufficientemente vicino ad un ricettore, cosicché la porzione più larga della pala oscura gran parte del disco solare, l'intensità di flicker aumenterà. A distanze maggiori l'intensità del fenomeno sarà minore in quanto le pale copriranno una porzione inferiore del disco solare;

- ✚ l'intensità del flickering è più bassa quando l'ombra che intercetta un ricettore si origina dall'estremità esterna del rotore (minore spessore della pala). L'intensità aumenterà allorché l'ombra si muove lungo lo sviluppo della pala fino ad arrivare ad un massimo in corrispondenza del mozzo; a tal punto l'intensità diminuisce quando l'ombra si sposta verso l'estremità della pala opposta;
- ✚ bassi impatti da flickering sono generalmente indicativi di grandi distanze tra turbine e ricettore e ombre incidenti originate dalle estremità del rotore;
- ✚ situazioni di precaria visibilità determineranno modeste intensità di flickering;
- ✚ a distanze ancora maggiori le ombre proiettate risulteranno "fuori-fuoco". Ciò non è causa di un'intensità inferiore del flickering ma contribuisce a rendere meno distinto il fenomeno;
- ✚ all'interno di un ambiente ben illuminato le ombre svaniscono. Conseguentemente l'accensione di luci in un ambiente riduce l'incidenza del flickering; schermare una finestra (con tende o quant'altro) previene il fenomeno del flickering; - schermare un edificio (ad esempio con alberature) potrà prevenire il fenomeno del flickering.

DIAGRAMMA SOLARE

Il diagramma solare fornisce un mezzo conveniente e facile da comprendere per prevedere la posizione del sole sulla volta celeste come se fosse visto da un punto qualsiasi della terra compreso tra i 28° e i 56° di latitudine nord, quindi per prevedere la proiezione dell'ombra della turbina.

Il diagramma è una proiezione verticale del percorso del sole come visto dalla terra; si potrebbe quindi dire che il diagramma solare è una visione terrestre del moto apparente del sole attraverso la volta celeste. La descrizione del moto apparente del sole nella volta celeste può avere luogo mediante una carta solare proiettata sul piano orizzontale (diagramma polare) o sul piano verticale (diagramma cilindrico). Il sistema di coordinate impiegato è centrato nell'osservatore e usa come riferimento il piano dell'orizzonte. Le

linee rappresentano il percorso del sole per il ventesimo giorno di ciascun mese. Il percorso del sole è più lungo durante i mesi estivi quando esso raggiunge la sua massima altezza sorgendo e tramontando con i massimi angoli azimutali misurati dal sud geografico. Durante i mesi invernali il sole è molto più basso sull'orizzonte sorgendo e tramontando con i minimi angoli azimutali. Se si collegano le ore del giorno su ciascun percorso solare si ottiene una linea tratteggiata che rappresenta le ore del giorno. Il diagramma solare risultante fornisce giorno per giorno e ora per ora la posizione del sole. Nel caso specifico i diagrammi ottenuti (polare e cilindrico) mostrati nelle figure 2 e 3 hanno permesso di fare le considerazioni preliminari alla realizzazione delle simulazioni confermando ad esempio che le ore più critiche della giornata sono quelle dell'alba e quelle del tramonto.

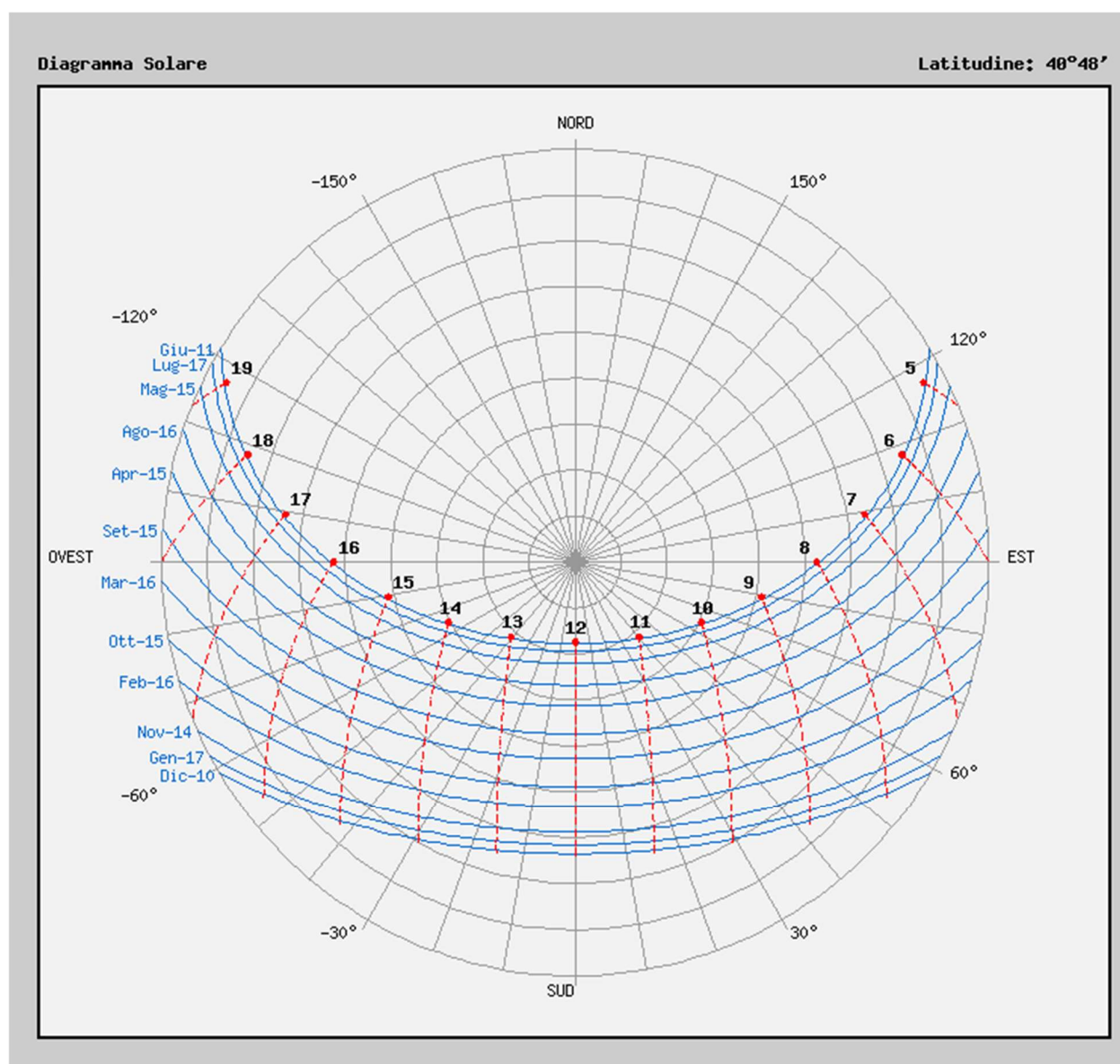


Figura 2- Diagramma solare polare del sito

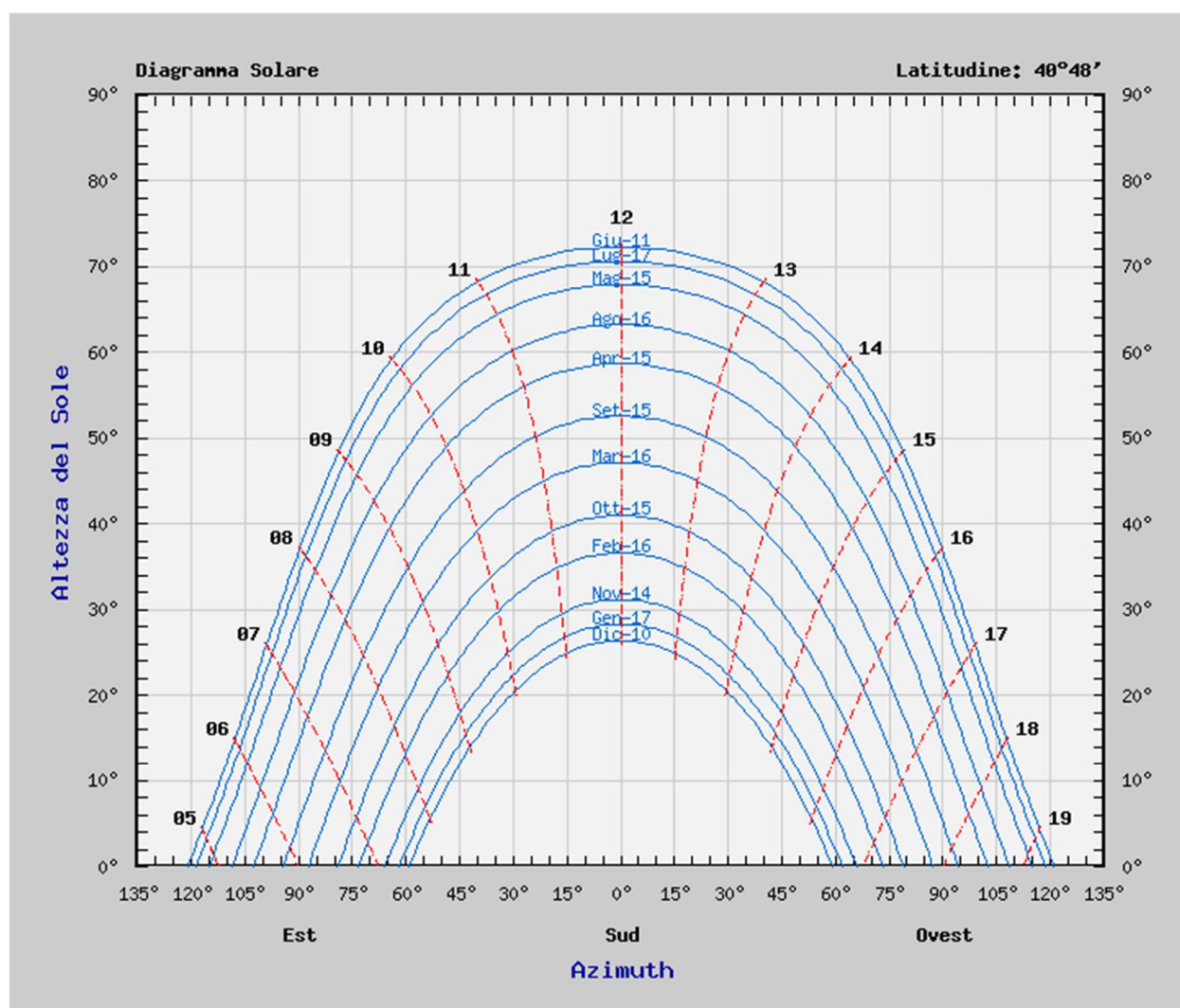


Figura 3 - Diagramma solare cilindrico del sito

Altezza del Sole

Ora	17 gen	16 feb	16 mar	15 apr	15 mag	11 giu	17 lug	16 ago	15 set	15 ott	14 nov	10 dic
03:00 CET												
04:00 CET												
05:00 CET						0°20'						
06:00 CET				1°29'	8°16'	10°32'	8°14'	3°38'				
07:00 CET			3°32'	12°46'	19°19'	21°23'	19°06'	14°47'	9°42'	3°52'		
08:00 CET	1°28'	6°28'	14°40'	24°05'	30°38'	32°36'	30°21'	26°08'	20°54'	14°33'	7°33'	2°43'
09:00 CET	10°47'	16°28'	25°13'	35°05'	41°55'	43°57'	41°41'	37°19'	31°33'	24°19'	16°33'	11°32'
10:00 CET	18°39'	25°09'	34°38'	45°12'	52°39'	55°00'	52°43'	47°52'	41°03'	32°32'	23°55'	18°46'
11:00 CET	24°32'	31°53'	42°05'	53°27'	61°54'	64°57'	62°39'	56°50'	48°25'	38°22'	28°59'	23°51'
12:00 CET	27°47'	35°50'	46°27'	58°11'	67°25'	71°32'	69°28'	62°25'	52°16'	40°55'	31°07'	26°14'
13:00 CET	28°00'	36°22'	46°45'	57°44'	66°21'	70°42'	69°35'	62°23'	51°29'	39°40'	30°00'	25°36'
14:00 CET	25°09'	33°24'	42°55'	52°18'	59°22'	63°09'	62°54'	56°43'	46°20'	34°53'	25°49'	22°04'
15:00 CET	19°37'	27°27'	35°49'	43°38'	49°30'	52°52'	53°01'	47°43'	38°08'	27°23'	19°06'	16°02'
16:00 CET	11°59'	19°16'	26°38'	33°20'	38°32'	41°42'	42°00'	37°09'	28°11'	18°05'	10°33'	8°06'
17:00 CET	2°50'	9°37'	16°12'	22°15'	27°12'	30°22'	30°40'	25°58'	17°18'	7°40'	0°44'	
18:00 CET			5°07'	10°55'	15°56'	19°11'	19°25'	14°37'	6°01'			
19:00 CET					5°01'	8°27'	8°32'	3°29'				
20:00 CET												
21:00 CET												

Azimut solare

Ora	17 gen	16 feb	16 mar	15 apr	15 mag	11 giu	17 lug	16 ago	15 set	15 ott	14 nov	10 dic
03:00 CET												
04:00 CET												
05:00 CET						120°47'						
06:00 CET				101°15'	107°35'	111°26'	111°10'	105°22'				
07:00 CET			84°14'	91°35'	98°22'	102°33'	102°07'	95°53'	86°01'	75°40'		
08:00 CET	60°26'	67°10'	74°03'	81°31'	88°52'	93°32'	92°58'	86°07'	75°41'	65°13'	58°12'	56°20'
09:00 CET	49°54'	56°14'	62°42'	70°06'	78°05'	83°27'	82°50'	75°08'	63°55'	53°20'	46°53'	45°36'
10:00 CET	37°55'	43°37'	49°12'	55°55'	64°17'	70°38'	70°08'	61°26'	49°30'	39°15'	33°51'	33°24'
11:00 CET	24°13'	28°47'	32°33'	36°57'	44°04'	51°14'	51°32'	42°30'	31°03'	22°27'	18°57'	19°35'
12:00 CET	9°02'	11°48'	12°28'	11°48'	13°00'	17°43'	20°54'	15°38'	8°16'	3°25'	2°39'	4°33'
13:00 CET	-6°50'	-6°20'	-9°25'	-16°17'	-23°37'	-25°46'	-19°47'	-16°06'	-16°04'	-16°01'	-13°52'	-10°48'
14:00 CET	-22°10'	-23°50'	-29°55'	-40°27'	-51°09'	-55°55'	-50°50'	-42°50'	-37°34'	-33°42'	-29°19'	-25°25'
15:00 CET	-36°06'	-39°22'	-47°04'	-58°30'	-68°56'	-73°32'	-69°42'	-61°40'	-54°34'	-48°43'	-42°57'	-38°35'
16:00 CET	-48°19'	-52°37'	-60°57'	-72°07'	-81°34'	-85°36'	-82°31'	-75°19'	-67°59'	-61°17'	-54°46'	-50°09'
17:00 CET	-59°02'	-63°59'	-72°33'	-83°14'	-91°49'	-95°22'	-92°42'	-86°16'	-79°10'	-72°09'	-65°10'	
18:00 CET			-82°50'	-93°10'	-101°09'	-104°18'	-101°52'	-96°01'	-89°14'			
19:00 CET					-110°25'	-113°14'	-110°54'	-105°31'				
20:00 CET												
21:00 CET												

I diagrammi riportano le traiettorie del Sole (in termini di altezza e azimut solari) nell'arco di una giornata, per più giorni dell'anno. I giorni – uno per mese – sono scelti in modo che la declinazione solare del giorno coincida con quella media del mese.

Nel riferimento *polare*, i raggi uniscono punti di uguale azimut, mentre le circonferenze concentriche uniscono punti di uguale altezza. Qui le circonferenze sono disegnate con passo di 10° a partire dalla circonferenza più esterna (altezza = 0°) fino al punto centrale (altezza = 90°). Invece nel riferimento *cartesiano o cilindrico*, gli angoli azimutale e dell'altezza solari sono riportati rispettivamente sugli assi delle ascisse e delle ordinate. In entrambi i diagrammi, a tratteggio sono riportate le linee relative all'ora 'vera'.

Nel diagramma sottostante si può vedere l'area di ombreggiamento come se il piano orizzontale fosse privo di ostacoli e l'altezza dell'aerogeneratore pari a **100 metri (circa 20 metri in più della reale altezza dell'aerogeneratore)**.

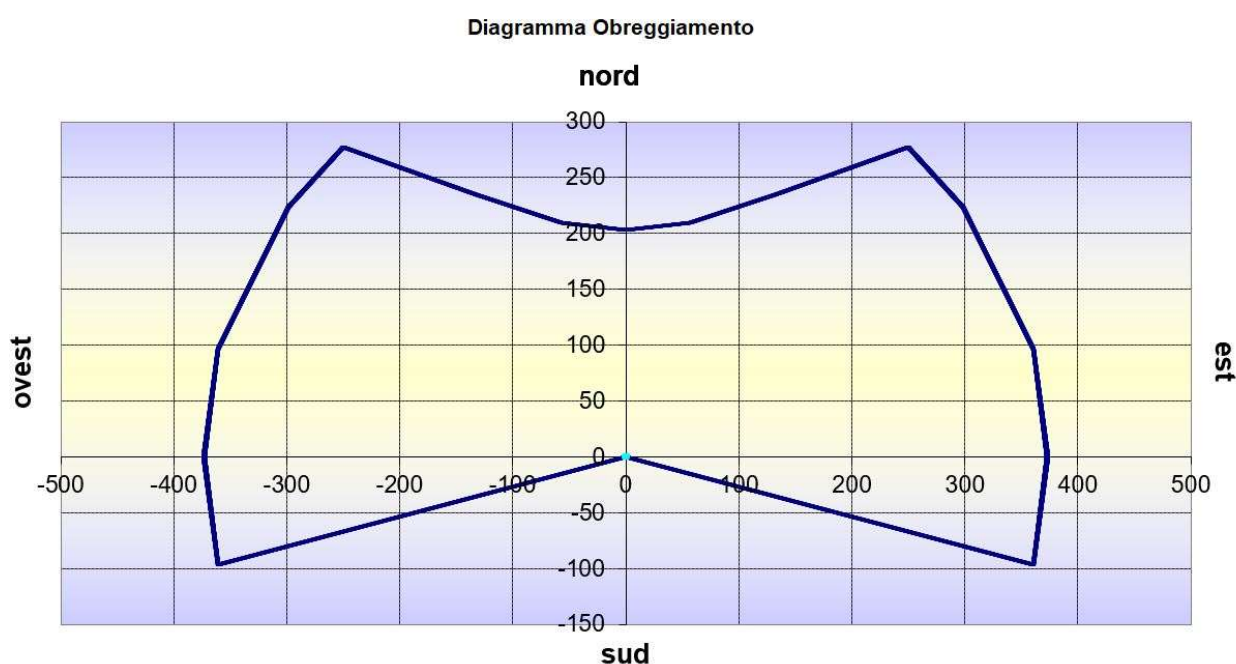


Figura 4- Diagramma di ombreggiamento

Studio in sito

La frequenza dello shadow-flickering è correlata alla velocità di rotazione del rotore; la frequenza massima per la macchina considerata nel presente progetto è dell'ordine di 0.6 Hz. In termini di impatto sulla popolazione, tale frequenza è innocua; 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. Dalle simulazioni realizzate non vi è esposizione durante le ore di frequentazione del proponente e non risultano impatti significativi sui fabbricati dell'azienda agricola.

Inoltre, studi condotti sui possibili effetti dello shadow flickering sulla salute umana raccomandano, al fine di ridurre al minimo i fastidi, una velocità di flickering non superiore a 3 tagli al secondo. Poiché si tratta di aerogeneratori tripala, tale frequenza si traduce in una velocità massima di rotazione del rotore di 60 rpm (rotazioni per minuto). La turbina prevista per l'installazione ha una velocità di rotazione massima di 38 rpm che corrisponde ad una velocità massima di flickering di 0,48 tagli al secondo, nettamente inferiore alla frequenza massima raccomandata. Tuttavia una progettazione attenta è fondamentale per evitare questo spiacevole fenomeno e in relazione a ciò, si fa presente che già in fase di scelta delle aree sulle quali ubicare l'impianto si è cercato di allontanarsi il più possibile dall'area urbana e dalle masserie adibite ad abitazione.

3 RECETTORI POTENZIALMENTE DISTURBATI

Nel caso specifico è stata individuata un edificio con diverse pertinenze, non risulta censito al catasto (parrebbe comunque trattarsi di un'azienda agricola), si trova ad una distanza di circa 260 metri dalla posizione in cui verrà installato l'aerogeneratore e la cui collocazione geografica è indicata nell'immagine che segue:

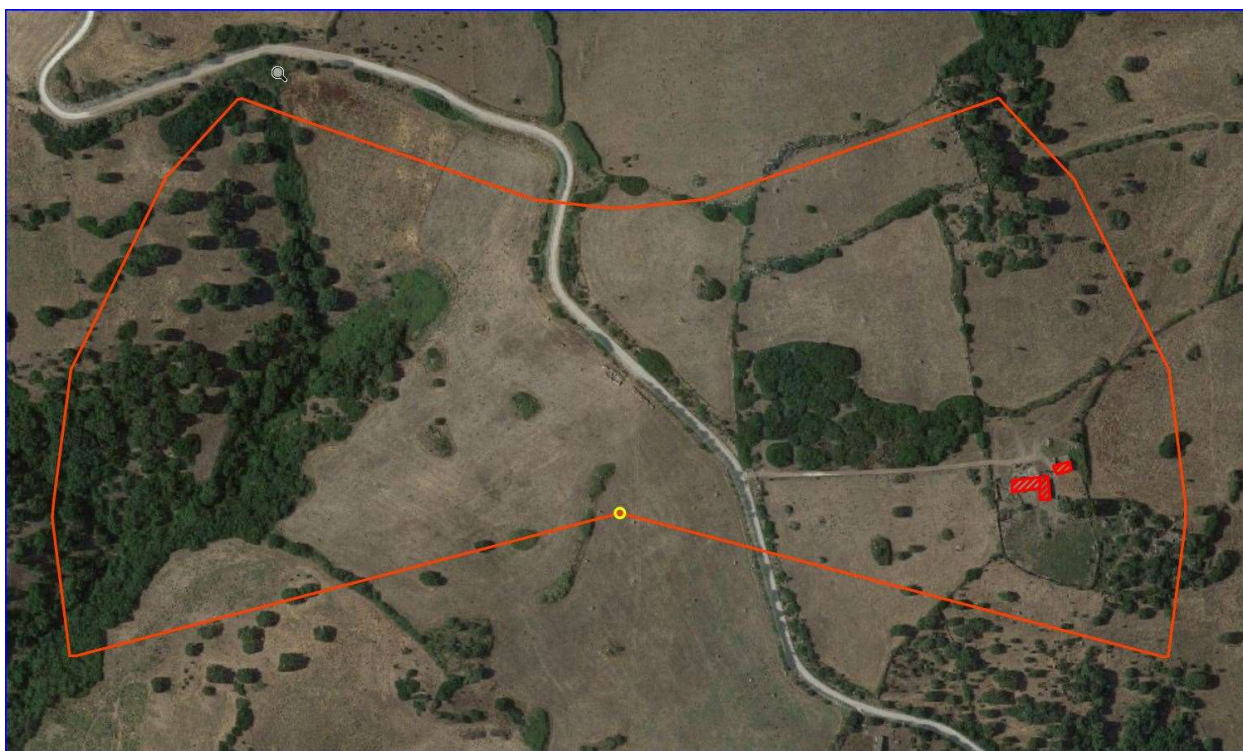


Figura 5 - Recettore effetto shadow flickering

4 CONCLUSIONI

Attraverso vari rilevamenti sul campo, è stato possibile evidenziare che per distanze tra aerogeneratore e recettori superiori a 300m il fenomeno è da rilevarsi solo all'alba ed al tramonto, momenti in cui la radiazione diretta è di minore intensità.

Pertanto, in riferimento a quanto sin qui esposto, si può concludere che durata ed entità dello Shadow Flickering sono condizionate:

- dalla distanza tra aerogeneratore e recettore;
- dalla direzione ed intensità del vento;
- dall'orientamento del recettore;
- dalla presenza o meno di ostacoli lungo la linea di vista recettore – aerogeneratore – sole;
- dalle condizioni meteorologiche;
- dall'altezza del sole.

Inoltre, alcune linee guida di paesi esteri, raccomandano una velocità di flicker non superiore a 3 “tagli” al secondo; per la classica turbina eolica provvista di tre pale, questo effetto corrisponde quindi ad una completa rotazione del rotore in un secondo, equivalente a 60 giri al minuto (60 rpm).

Ognuna delle quattro turbine in progetto, componenti un unico aerogeneratore, raggiunge un massimo di 38 rpm a potenza nominale, nettamente inferiore al valore di 60 rpm, quindi il fenomeno può essere considerato trascurabile.

Ing. Antonello Biasetti