

				
COMUNE DI NULVI	REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA	PROVINCIA DI SASSARI		
<p align="center"><b>PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA SINGOLA TURBINA EOLICA DELLA POTENZA PARI A 999 kWp</b></p> <p align="center">Sito in Comune di Nulvi (SS)</p>				
PROGETTO DEFINITIVO	<b>PROCEDURA DI VERIFICA DI ASSOGGETTABILITA' ALLA V.I.A. Regionale</b> Allegato B1 – DGR 11/75 del 24.3.2021			
PROPONENTE:				
	<b>BH WIND S.R.L.</b> <b>VIA ZARA ,5</b> <b>23100 SONDRIO</b> <b>P.IVA 01055440141</b>			
OGGETTO:		CODICE ELABORATO:		
<b>RELAZIONE SUGLI EFFETTI DI SHADOW FLICKERING</b>		<b>REL.05</b>		
SCALA / FORMATO	DATA EMISSIONE:			
<b>Relazione (f.to) A4</b>	<b>Giugno 2023</b>			
PROGETTAZIONE:		Made S.r.l.s. Piazza Castello 11 07100 Sassari Piva 02631830904		
				
Coordinatore progettista <i>Ing. Dennis Carta</i>	Responsabile Tecnico Elaborato: Ing. Dennis Carta	REVISIONI		
		N°	DATA	DESCRIZIONE
		01	20/08/2023	EMISSIONE
		02		

## RELAZIONE SHADOW FLICKERING- EOLICO NULVI (SS)

### Sommario

<b>1. Premessa .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Cenni sul fenomeno dell'evoluzione dell'ombra generata dalle turbine eoliche .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Descrizione del fenomeno .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Modello di calcolo .....</b>	<b>4</b>
<b>4. Analisi del fenomeno per l'impianto in progetto .....</b>	<b>6</b>
<b>4.1. Analisi dei risultati .....</b>	<b>7</b>
<b>5. Conclusioni .....</b>	<b>11</b>

## RELAZIONE SHADOW FLICKERING- EOLICO NULVI (SS)

### 1. Premessa

Il presente elaborato ha lo scopo di stimare e valutare l'eventuale impatto generato dall'evoluzione dell'ombra derivante dalla futura installazione di un impianto di produzione di energia da fonte eolica costituita da 1 turbina, della potenza di **999 kW**, la cui installazione è prevista nel comune di Nulvi (OR), ad una quota media di circa 470 metri s.l.m.

Le principali misure della turbina sono: altezza mozzo 97.5 m, diametro Ø90.3 m.

La valutazione tecnica è stata eseguita con l'ausilio di svariati software di simulazione specifici per la proiezione delle Ombre sulla superficie, costituito da un insieme di moduli di elaborazione orientati alla simulazione di una moltitudine di aspetti che caratterizzano le diverse fasi progettuali.

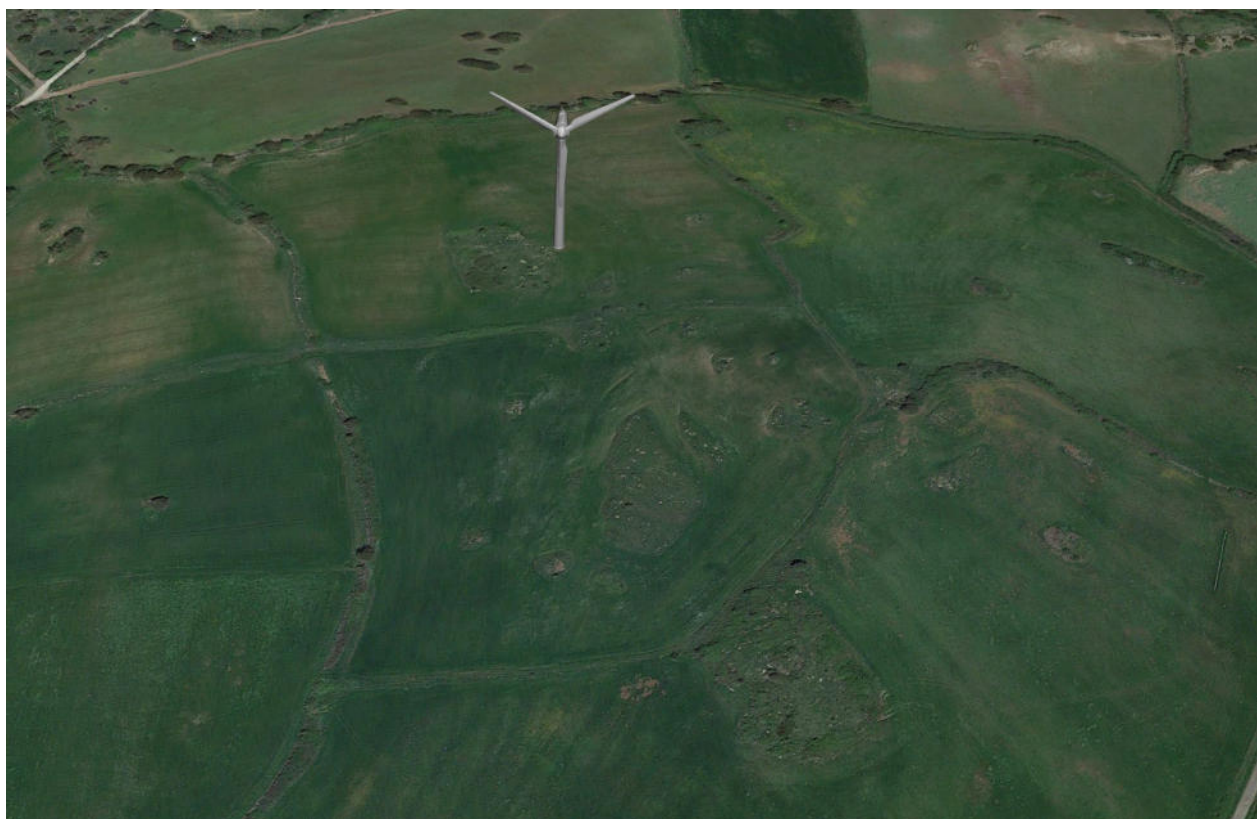


FIGURA 1. FIGURA: MODELLO 3D SU GOOGLE EARTH DELLA TURBINA IN PROGETTO NELLA ESATTA UBICAZIONE

## **2. Cenni sul fenomeno dell'evoluzione dell'ombra generata dalle turbine eoliche**

Con il termine Shadow-Flickering (letteralmente ombreggiamento intermittente) si intende lo studio di quante volte durante un anno il cerchio descritto dalle pale 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 al parco o alla singola turbina. Tale effetto può essere più o meno pronunciato a seconda dell'intensità del contrasto luce/ombra presente e della distanza delle turbine dalle costruzioni.

Il fenomeno, ovviamente, risulta assente sia quando il sole è oscurato da nuvole o nebbia, sia quando, in assenza di vento, le pale del generatore non sono in rotazione.

In particolare, le frequenze che possono provocare un senso di fastidio sono comprese tra i 2.5 ed i 20 Hz (Verkuijlen and Westra, 1984), e, l'effetto sugli individui è simile a quello che si sperimenterebbe in seguito alle variazioni di intensità luminosa di una lampada ad incandescenza a causa di continui sbalzi della tensione della rete di alimentazione elettrica.

I più recenti aerogeneratori tripala operano ad una velocità di rotazione massima di 15 rpm (giri al minuto), corrispondente ad una frequenza di passaggio delle pale sulla verticale minore della frequenza critica. Le relazioni spaziali tra un aerogeneratore ed un ricettore (esempio abitazione), così come la direzione del vento risultano essere fattori chiave per la durata del fenomeno di shadow flicker. Per distanze dell'ordine dei 300 m, il fenomeno in esame potrebbe verificarsi all'alba oppure al tramonto, ovvero in quelle ore in cui le ombre risultano molto lunghe per effetto della bassa elevazione solare. Al di là di una certa distanza l'ombra smette di essere un problema perché il rapporto tra lo spessore della pala ed il diametro del sole diventa molto piccolo.

Una progettazione attenta è comunque fondamentale per evitare questo spiacevole fenomeno semplicemente prevedendo il luogo di incidenza dell'ombra e disponendo le turbine in maniera tale che l'ombra sulle zone sensibili non superi un certo numero di ore all'anno.

## 2.1. Descrizione del fenomeno

I punti d'ombra generati dal movimento delle pale percorrono traiettorie ellittiche, delle quali un fuoco è occupato dalla posizione dell'ombra del centro di rotazione. L'ampiezza delle traiettorie dipende dall'inclinazione del sole sull'orizzonte, dall'altezza del centro delle pale e dalla velocità di rotazione (e quindi dalla frequenza) di queste ultime.

È ovvio che il fenomeno abbia anche caratteristiche stagionali, legate agli orari di alba e tramonto; durante la stagione invernale, alle 6.00 di mattina, un recettore posto ad ovest viene evitato dall'effetto in analisi, mentre durante la stagione estiva, allo stesso orario, ne viene investito in pieno.

Analogo discorso è valido per i recettori posti ad est, ma durante le ore pomeridiane, magari a distanza di 12 ore dall'esempio precedente, quindi alle 18.00.

Per i recettori posti a sud dell'impianto, in linea generale e pratica, non si presenta il fenomeno in quanto sono essi ad occupare la posizione tra sole e generatore.

## 3. Modello di calcolo

L'analisi dell'impatto da shadow flickering prodotto da un campo eolico è realizzata, generalmente, attraverso l'impiego di specifici applicativi che modellano il fenomeno in esame. I pacchetti software impiegati per la progettazione di impianti eolici contengono moduli specifici per il calcolo e l'analisi del fenomeno di flickering.

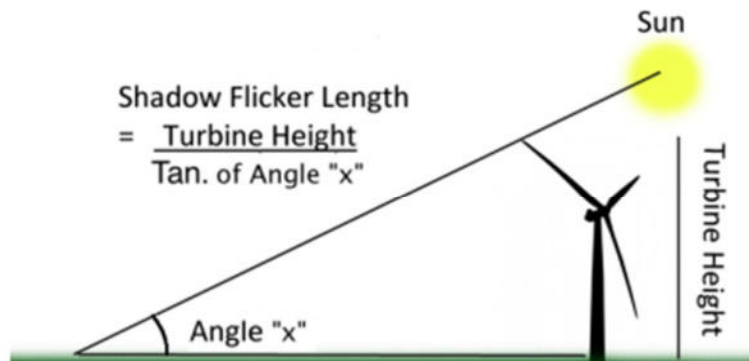
L'analisi si basa sull'impiego di un modello digitale del terreno dell'area oggetto di progettazione, sulle posizioni dell'aerogeneratore e di eventuali ricettori sensibili, nonché sui dati che correlano la posizione del sole nell'arco dell'anno con le condizioni operative delle turbine nello stesso arco di tempo.

Al fine di calcolare la posizione relativa del sole nell'arco di un anno rispetto alla turbina ed ai ricettori è necessario definire la longitudine, la latitudine ed il fuso orario dell'area interessata dal progetto nonché la direzione dei venti predominanti in quanto la turbina si orienta elettronicamente in direzione degli stessi.

Assumendo che il sole sia una sorgente puntiforme, che il rotore abbia sempre la massima esposizione al sole, indipendentemente dalla direzione prevalente del vento, che l'altezza del centro di

## RELAZIONE SHADOW FLICKERING- EOLICO NULVI (SS)

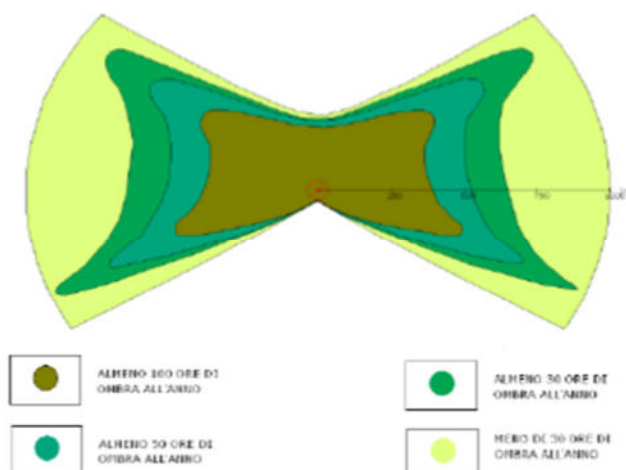
rotazione rispetto al terreno sia di 97,5,00 metri, che il raggio del rotore sia di 45,15 metri, la valutazione dell'effetto è funzione sia dell'angolo azimutale (az) che dell'angolo zenitale (el), il tutto come da seguente modello:



La scelta del sito ed una progettazione attenta sono comunque fondamentali per evitare questo fenomeno semplicemente prevedendo il luogo di incidenza dell'ombra e disponendo la turbina in maniera tale che l'ombra sulle zone sensibili non superi le 30 ore all'anno, anche con accorgimenti post installazione se non già presenti naturalmente.

Il grafico sotto riporta l'evoluzione annuale dell'ombra di una turbina considerando il caso peggiore di pale sempre in rotazione intorno al mozzo, e orientate sempre ortogonalmente al sole durante la sua evoluzione giornaliera.

Come è evidente dal grafico e dalla legenda, le ore annue di ombra sono sempre minori con l'aumentare della distanza dal pilone secondo una particolare geometria dettata dalla posizione geografica; da osservare che l'ombra arriva a proiettarsi anche sino ad una distanza di 1 km, anche se solo per pochi minuti all'anno.



#### 4. Analisi del fenomeno per l'impianto in progetto

L'aerogeneratore in progetto è una turbina classe modello LEITWIND LTW90 di potenza nominale 999 kW, con rotore tripala. La torre alta 97.5 metri è tubolare con forma tronco – conica con la navicella dove si sviluppa il rotore con diametro Ø90.3 metri.

Il rotore raggiunge un numero di giri pari a 15 rpm quando lavora a potenza nominale. Al fine di verificare la sussistenza del fenomeno dello Shadow Flickering sono state effettuate simulazioni in considerazione di quanto segue:

- diagramma solare riferito alla latitudine di installazione dell'impianto;
- altezza complessiva di macchina, intesa quale somma tra l'altezza del mozzo e la lunghezza di pala (142.65 m sls, assumendo 143 m sls);
- orientamento del rotore rispetto al recettore;
- posizione del sole e quindi della proiezione dell'ombra rispetto ai recettori;
- orografia;
- posizione dei possibili recettori.

Le simulazioni effettuate sono state condotte in condizioni conservative, assumendo il cielo completamente sgombro da nubi, foschia, ecc. e nessun ostacolo interposto tra il recettore e la turbina eolica con la condizione che la turbina assuma la posizione ortogonale verso ciascun recettore.

E' stato quindi possibile calcolare l'evoluzione dell'ombra dell'aerogeneratore per il periodo invernale (4 gennaio, giorno in cui terra e sole sono alla minima distanza e le ombre sono più lunghe) e per il solstizio estivo (21 giugno). Le due condizioni sono state ritenute rappresentative perché:

- Il fenomeno di Flickering risulta tanto più rilevante quanto maggiore è l'intensità della luce del sole (21 giugno);
- Dal punto di vista dell'individuazione dei possibili osservatori, la condizione più sfavorevole si ha nel periodo dell'anno, in determinate ore del giorno, in cui le ombre indotte dagli aerogeneratori risultano più lunghe (4 gennaio).

Sono state effettuate simulazioni anche per il 21 marzo (equinozio di primavera) ed il 4 settembre.

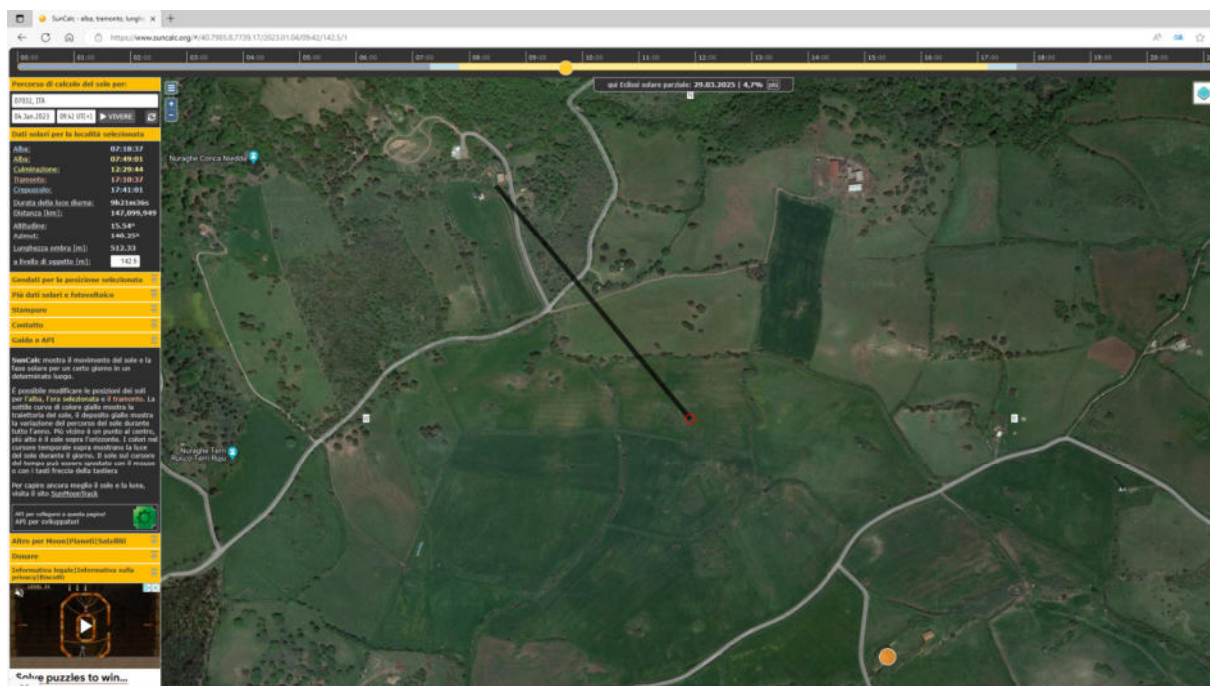


## RELAZIONE SHADOW FLICKERING- EOLICO NULVI (SS)

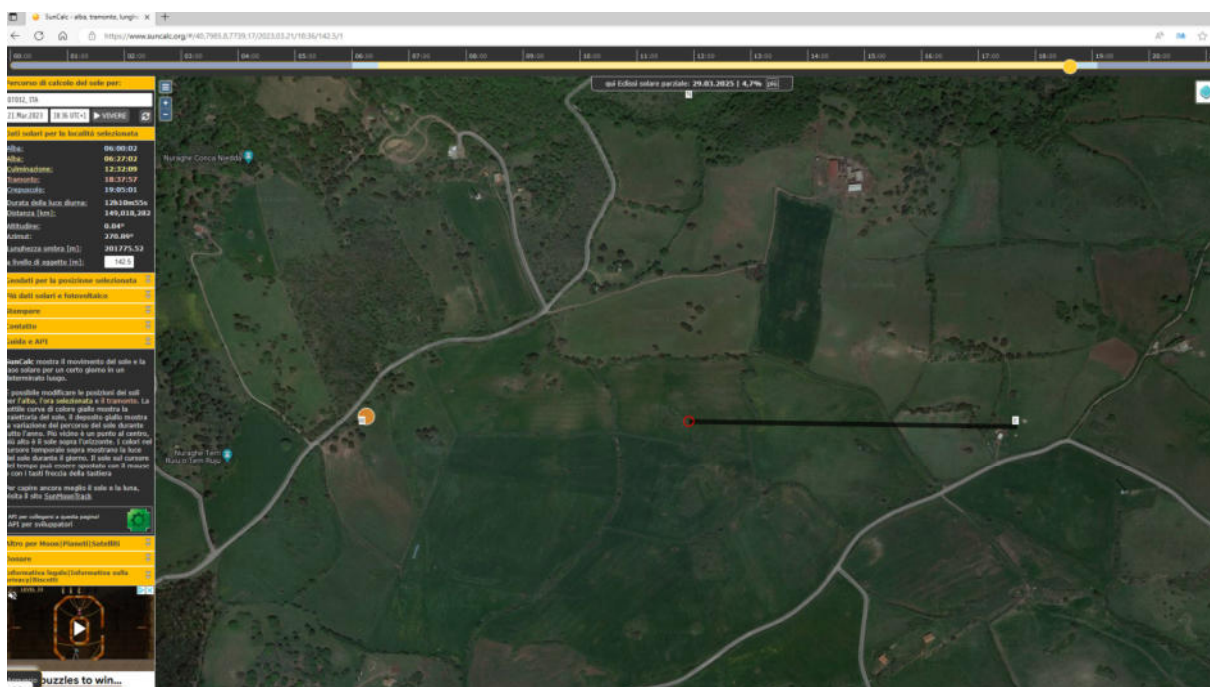
## 4.1. Analisi dei risultati

Si riportano di seguito sinteticamente i risultati della simulazione effettuata con l'ausilio del software online SunCALC nelle date del 4GEN, 21 MAR, 21GIU, 4SET e 21DIC.

### 4 Gennaio



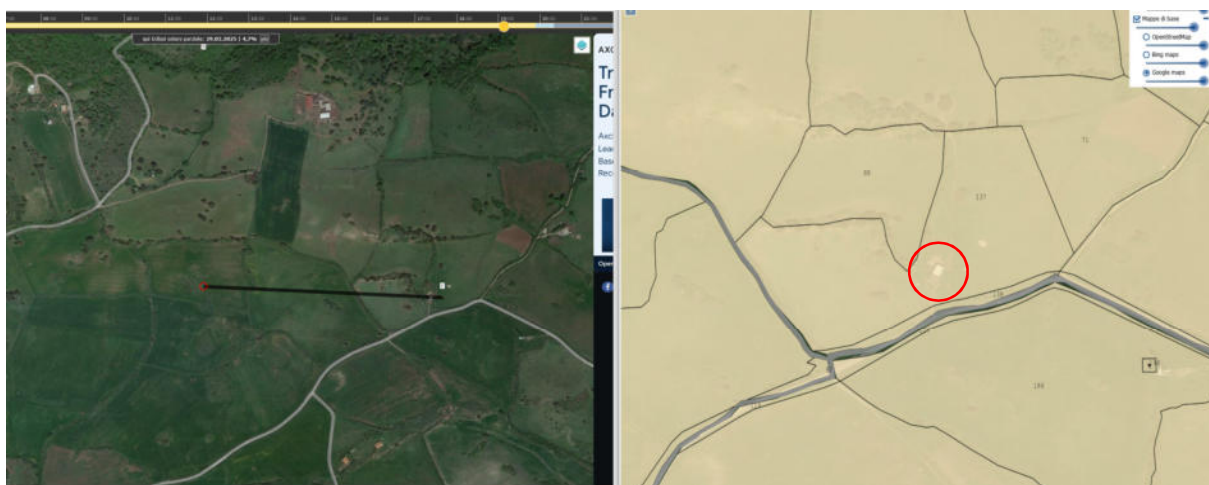
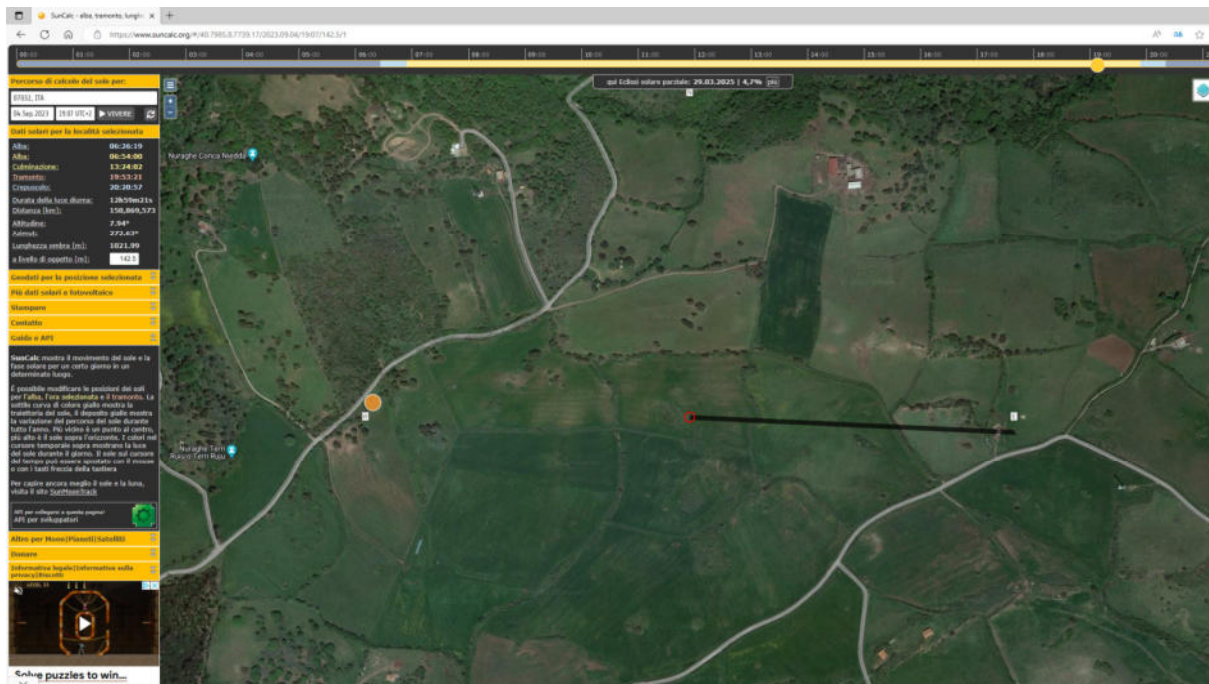
### 21 Marzo





## RELAZIONE SHADOW FLICKERING- EOLICO NULVI (SS)

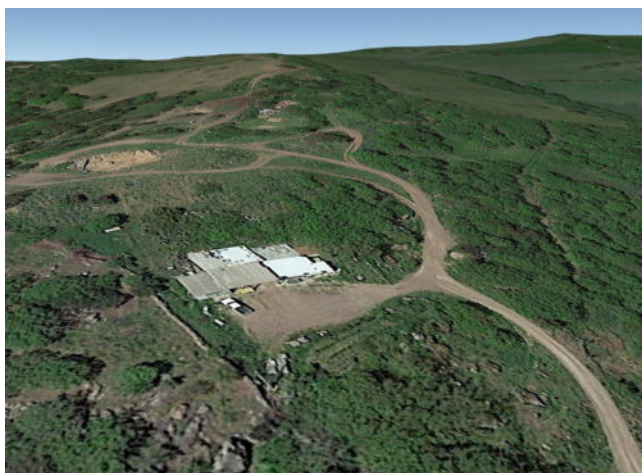
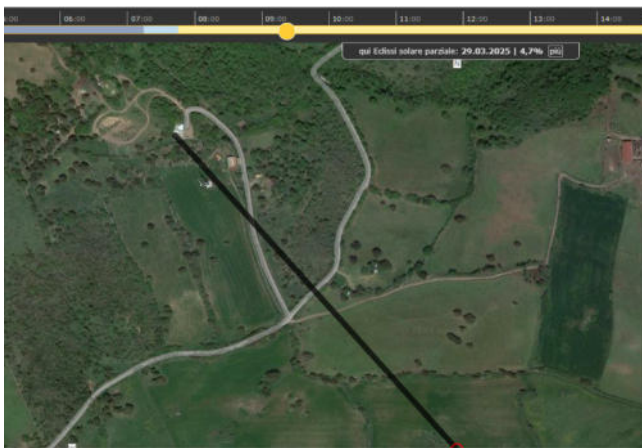
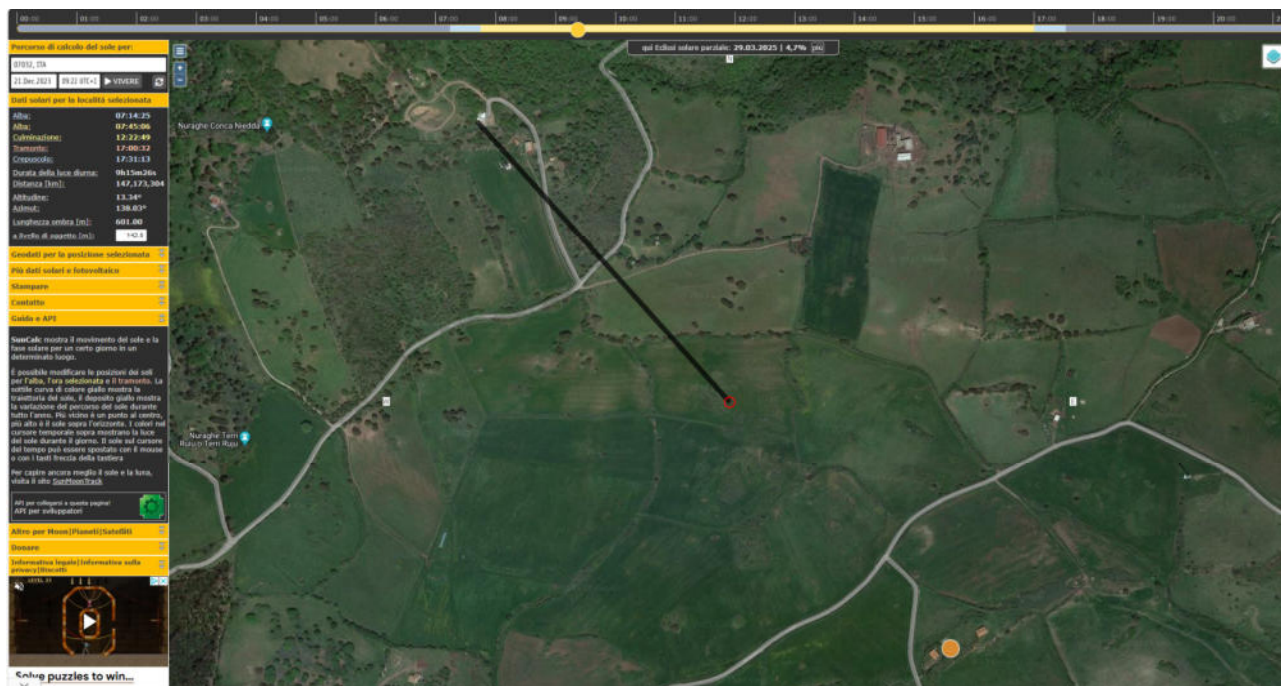
4 Settembre



il corpo di fabbrica ad uso agropastorale,  
identificato in Catasto al Foglio 13 mappale  
137, non risulta accatastato.

# RELAZIONE SHADOW FLICKERING- EOLICO NULVI (SS)

21 Dicembre



L'ombra intercetta il corpo di fabbrica identificato in Catasto al Foglio 12 mappale 139 categoria catastale C02. Non è stato possibile effettuare una foto in situ perché il fabbricato è visibile solo da una strada con accesso privato.



## RELAZIONE SHADOW FLICKERING- EOLICO NULVI (SS)

I fabbricati limitrofi non sono interessati dal fenomeno, anche essi sono corpi di fabbrica aziendali ad uso agropastorale identificati al Catasto nelle categorie C2 e D10.



Dalla valutazione emerge che:

- Il numero di edifici interessati dal fenomeno del Flickering è minimo. Si contano appena 2 edifici interessati, uno nella sezione E e uno nella sezione NE.

Si tratta di fenomeni trascurabili in quanto:

- limitati nello spazio, in quanto relativi solo a soli due edifici;
- episodici durante l'anno in quanto limitati solo ad alcune giornate invernali;
- di breve durata nel corso della giornata, in quanto ciascun edificio è interessato solo per un breve periodo nelle prime ore del tramonto o dell'alba;
- limitati come intensità, dal momento che la luce del sole nelle prime e nelle ultime ore della giornata è di intensità modesta e, quindi, è modesta anche la variazione dovuta allo Shadow Flickering.

**È escluso, in qualunque periodo dell'anno, lo Shadow Flickering in corrispondenza di alcun edificio adibito ad abitazione (categoria catastale "A") nelle ore centrali della giornata, durante le quali l'intensità della radiazione solare è maggiore.**

## 5. Conclusioni

E' stato fatto girare il modello di evoluzione del sole nei periodi fondamentali, ad ogni modo, generalizzando il caso, se si volesse comunque affrontare l'esistenza di un problema, in virtù della distanza reciproca tra turbina e recettore, in caso di avvertito fastidio sarebbe sufficiente provvedere alla piantumazione di una barriera sempreverde di modesta altezza per eliminare completamente il problema. È bene evidenziare che, in tutto vantaggio di sicurezza, le simulazioni effettuate sono state eseguite in condizioni non reali, ipotizzando che si verificano contemporaneamente le situazioni più sfavorevoli per un recettore soggetto a Shadow Flickering (concomitanza di assenza di nuvole o nebbia, rotore frontale ai recettori, rotore in movimento continuo ortogonale al recettore, assenza di ostacoli, luce diretta, ecc.).

La conclusione dello studio è che gli unici recettori presenti ed individuati come quelli più prossimi alla turbina, non risentono minimamente, dell'ombra causata dalla turbina in quanto:

- Gli edifici non sono caratterizzati da presenza umana, in quanto risultano edifici industriali non attivi, quindi non presidiati;
- Le interferenze sono presenti solo nelle prime ed ultime ore della giornata in solo due periodi dell'anno;

In fede

Dott. Ing. Dennis Carta