

																										
COMUNE DI SEDINI	REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA	PROVINCIA DI SASSARI																								
<p align="center">PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA SINGOLA TURBINA EOLICA DELLA POTENZA PARI A 975 kWp</p> <p align="center">Sito in Comune di Sedini (SS) – Loc. “Pedru Rui”</p> <p align="center">AUTORIZZAZIONE UNICA Ai sensi dell’art. 12 – D.lgs. n. 387 del 29 Dicembre 2003</p>																										
PROPONENTE:																										
		EWT ITALIA DEVELOPMENT S.r.l. Via Giuseppe Rovani, 7 20123 Milano (MI) P. IVA 10525690961																								
OGGETTO:		ELABORATO Nr:																								
RELAZIONE SULL’EVOLUZIONE DELL’OMBRA GIORNALIERA E FENOMENO SHADOW FLICKERING																										
SCALA / FORMATO	DATA EMISSIONE:																									
Relazione (f.to) A4	14 luglio 2020																									
PROGETTAZIONE:		SVILUPPO PROGETTO  Eman s.r.l. Via San Quintino 26/A - 10121 Torino - P.I. 11439230019 technical@emansrl.it - eman.srl@pec.it																								
STUDIO CIVIS:																										
Project Management <i>PM Alberto Laudadio (L. 4/2013)</i>	Responsabile Tecnico Commessa <i>Ing. Luca Demontis</i>																									
Coordinatore progettista <i>Ing. Gianluca Cara</i>																										
Collaboratori		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">REVISIONI</th> </tr> <tr> <th>N°</th> <th>DATA</th> <th>DESCRIZIONE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01</td> <td>14 luglio 2020</td> <td>EMISSIONE</td> </tr> <tr> <td>02</td> <td>15 luglio 2023</td> <td>REVISIONE CdS</td> </tr> <tr> <td>03</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>04</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>05</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>06</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	REVISIONI			N°	DATA	DESCRIZIONE	01	14 luglio 2020	EMISSIONE	02	15 luglio 2023	REVISIONE CdS	03			04			05			06		
REVISIONI																										
N°	DATA	DESCRIZIONE																								
01	14 luglio 2020	EMISSIONE																								
02	15 luglio 2023	REVISIONE CdS																								
03																										
04																										
05																										
06																										
<i>Dott. Geol. Annalisa Ruggia</i>	<i>Geom. Alberto Cosso</i>																									
<i>Ing. Gian Luca Cadeddu</i>	<i>Dott. Geol. Andrea Testa</i>																									
<i>Ce.Pi.Sar. Dott. Pidinchedda</i>	<i>Geom. Roberto Fazzi</i>																									

1 Sommario

1. PREMESSA	2
2. CENNI SUL FENOMENO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA GENERATA DALLE TURBINE EOLICHE...	3
3. ANALISI DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA PER L'IMPIANTO IN PROGETTO	6
4. INDIVIDUAZIONE DEI RECETTORI E METODO DI ANALISI	10
5. ANALISI DEI RISULTATI	13
6. CONCLUSIONI	20

1. PREMESSA

Il presente elaborato ha lo scopo di valutare tecnicamente 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 di media taglia della potenza di **975 kW** la cui installazione è prevista nel comune di Sedini (SS) in località "Pedru Rui" ad una quota media di circa 395 metri slm. Gli ingombri della turbina sono i seguenti: **altezza mozzo 84m hub + diametro Ø61m**. 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. E' stato implementato un modello di proiezione al suolo con l'ausilio delle immagini satellitari di Google Earth, sfruttando il software SUN-Calc.

Tabella 1: Coordinate e modello delle turbine di progetto

ID TURBINA	Coord. UTM WGS84		Coord. Geografiche °dec.		Quota	MODELLO
	EST [m]	OVEST [m]	Est Long.	Nord Lat.		
PD0030	481618.00	4524019.00	8°46'54.73"	40°52'1.30"	394	EWT DW61



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

Le turbine eoliche, come altre strutture fortemente sviluppate in altezza, proiettano un'ombra sulle aree adiacenti in presenza della luce solare diretta (figura 1).

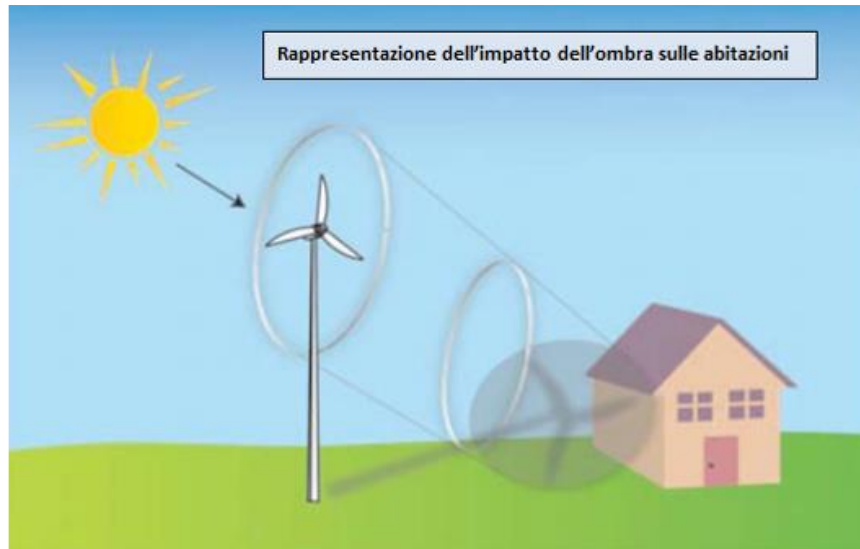


Figura 1: Rappresentazione grafica dell'impatto dell'ombra generata da una turbina eolica

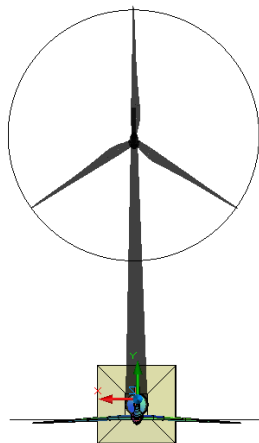
Lo Shadow Flickering consiste in una variazione periodica dell'intensità luminosa osservata, causata dalla proiezione, su una superficie, dell'ombra indotta da oggetti in movimento. Per un impianto eolico tale fenomeno è generato dalla proiezione, al suolo o su un recettore, dell'ombra prodotta dalle pale in rotazione degli aerogeneratori.

Dal punto di vista di un recettore, lo Shadow Flickering si manifesta in una variazione ciclica dell'intensità luminosa: in presenza di luce solare diretta, un recettore localizzato nella zona d'ombra indotta dal rotore, sarà investito da un continuo alternarsi di luce diretta ed ombra, causato dalla proiezione delle ombre dalle pale in movimento.

Tale fenomeno se vissuto dal recettore per periodi di tempo non trascurabile può generare un disturbo, quando:

- si sia in presenza di un livello sufficiente di intensità luminosa, ossia in condizioni di cielo sereno sgombro da nubi ed in assenza di nebbia e con sole alto rispetto all'orizzonte;
- la linea recettore-aerogeneratore non incontri ostacoli: in presenza di vegetazione o edifici interposti l'ombra generata da quest'ultimi annulla il fenomeno. Pertanto, ad esempio, qualora il recettore sia un'abitazione, perché si generi lo Shadow Flickering le finestre dovrebbero essere orientate perpendicolarmente alla linea recettore-aerogeneratore e non affacciarsi su ostacoli (alberi, altri edifici, ecc.);

- la turbina sia orientata in modo che il rotore risulti perpendicolare alla linea sole-recettore: come mostrato nelle figure seguenti, quando il piano del rotore è perpendicolare alla linea sole-recettore, l'ombra proiettata dalle pale risulta muoversi all'interno di un "cerchio" che riferisce alla circonferenza del rotore inducendo uno Shadow Flickering non trascurabile; per situazioni in cui, dal punto di vista del recettore, il piano del rotore risulti essere in linea con il sole ed il recettore, l'ombra proiettata è sottile, di bassa intensità ed è caratterizzata da un rapido movimento, risultando pertanto lo Shadow Flickering di entità trascurabile.



*Proiezione dell'ombra indotta dall'aerogeneratore
con rotore perpendicolare alla linea sole -
recettore*



*Proiezione dell'ombra indotta
dall'aerogeneratore con rotore in linea con il
sole ed il recettore*

- la posizione del sole sia tale da indurre una luminosità sufficiente. Ciò si traduce, in riferimento alla latitudine di progetto, in un'altezza del sole pari ad almeno 15-20°;
- le pale siano in movimento;
- turbina e recettore siano vicini: le ombre proiettate in prossimità dell'aerogeneratore risultano di maggiore intensità e nitidezza rispetto a quelle proiettate lontano. Quando una turbina è posizionata sufficientemente vicino al recettore, così che una porzione ampia di pala copra il sole (così come osservato dal punto di vista del recettore), l'intensità del flicker risulta maggiore. All'aumentare della distanza tra turbina e recettore, le pale coprono una porzione sempre più piccola del sole, inducendo un flicker di minore entità. Inoltre il fenomeno risulta di bassa entità quando l'ombra proiettata sul recettore è indotta dall'estremità delle pale (rotor tip); raggiunge il massimo dell'intensità in corrispondenza dell'attacco di pala all'hub.

Rilevamenti sul campo hanno evidenziato che per distanze tra aerogeneratore (di altezza paragonabile a quella della macchina in progetto) 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.

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). Le attuali turbine di grande taglia in commercio hanno una velocità di rotazione ben inferiore a tali valori, di solito intorno ai 8-26 rpm a pieno regime.

La turbina specifica raggiunge un massimo di 24 rpm a potenza nominale, come da data sheet della turbina in allegato al progetto.

La scelta del sito ed una progettazione attenta è comunque fondamentale 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.

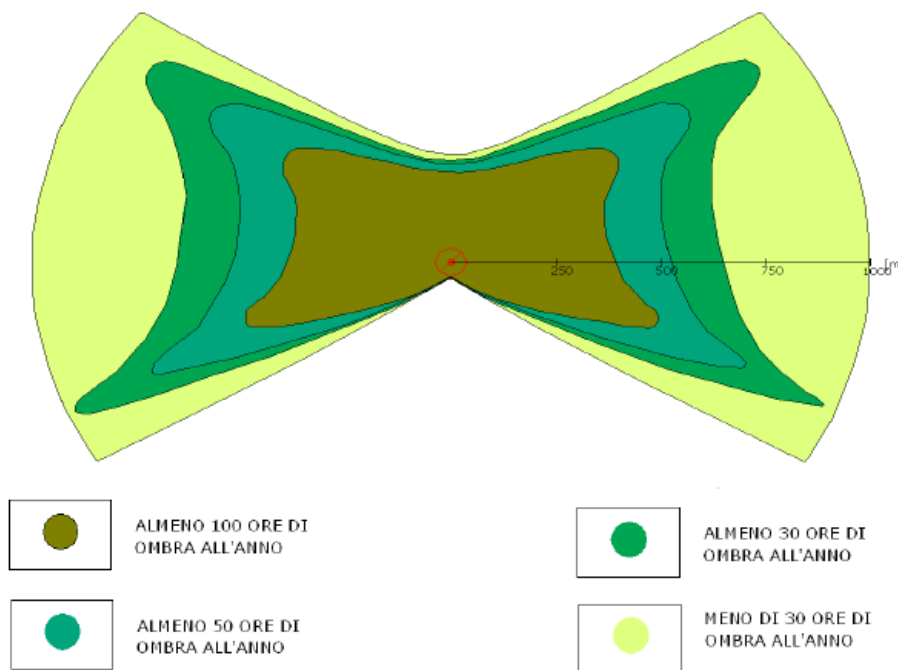


Figura 2: Evoluzione annuale tipo dell'ombra di una pala

3. ANALISI DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA PER L'IMPIANTO IN PROGETTO

La turbina di progetto, su cui basare le valutazioni del presente elaborato, è una turbina classe EWT DW61, con rotore tripala. La torre alta 84 metri è tubolare con forma tronco – conica con la navicella dove si sviluppa il rotore con diametro Ø61 metri.

Il rotore raggiunge un numero di giri pari a 24 rpm quando lavora a potenza nominale, non superiore.

Al fine di verificare la sussistenza del fenomeno dello Shadow Flickering indotto dalle opere in progetto sono state effettuate simulazioni in considerazione:

- Del diagramma solare riferito alla latitudine di installazione dell'impianto;
- Dell'altezza complessiva di macchina, intesa quale somma tra l'altezza del mozzo e la lunghezza di pala al Tip (114,5 m sls);
- Dall'orientamento del rotore rispetto al ricettore;
- Della posizione del sole e quindi della proiezione dell'ombra rispetto ai recettori;
- Dell'orografia;
- Della 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 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) l'evoluzione dell'ombra dell'aerogeneratore. 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).

I risultati di questa simulazione sono riportati nelle immagini seguenti.

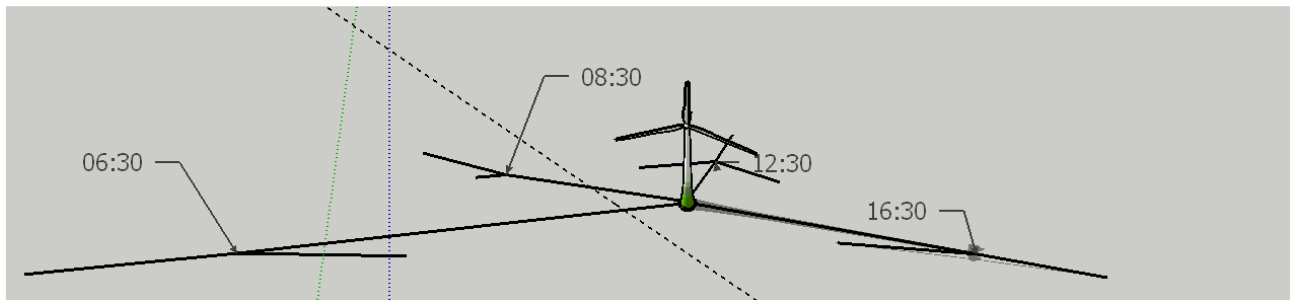


Figura: Evoluzione delle ombre relativa al 4 gennaio

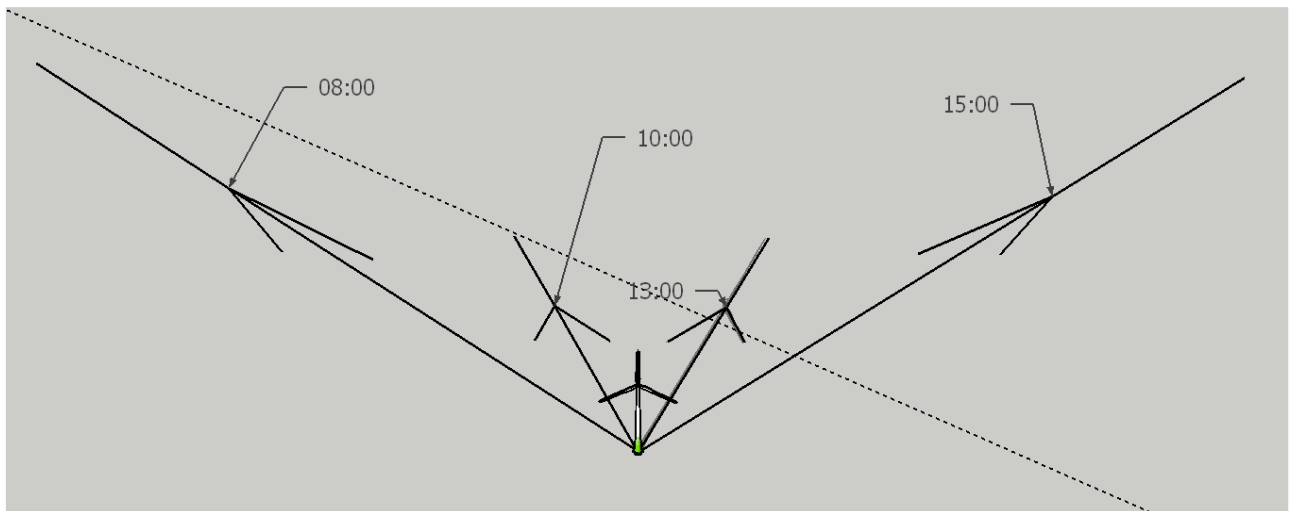
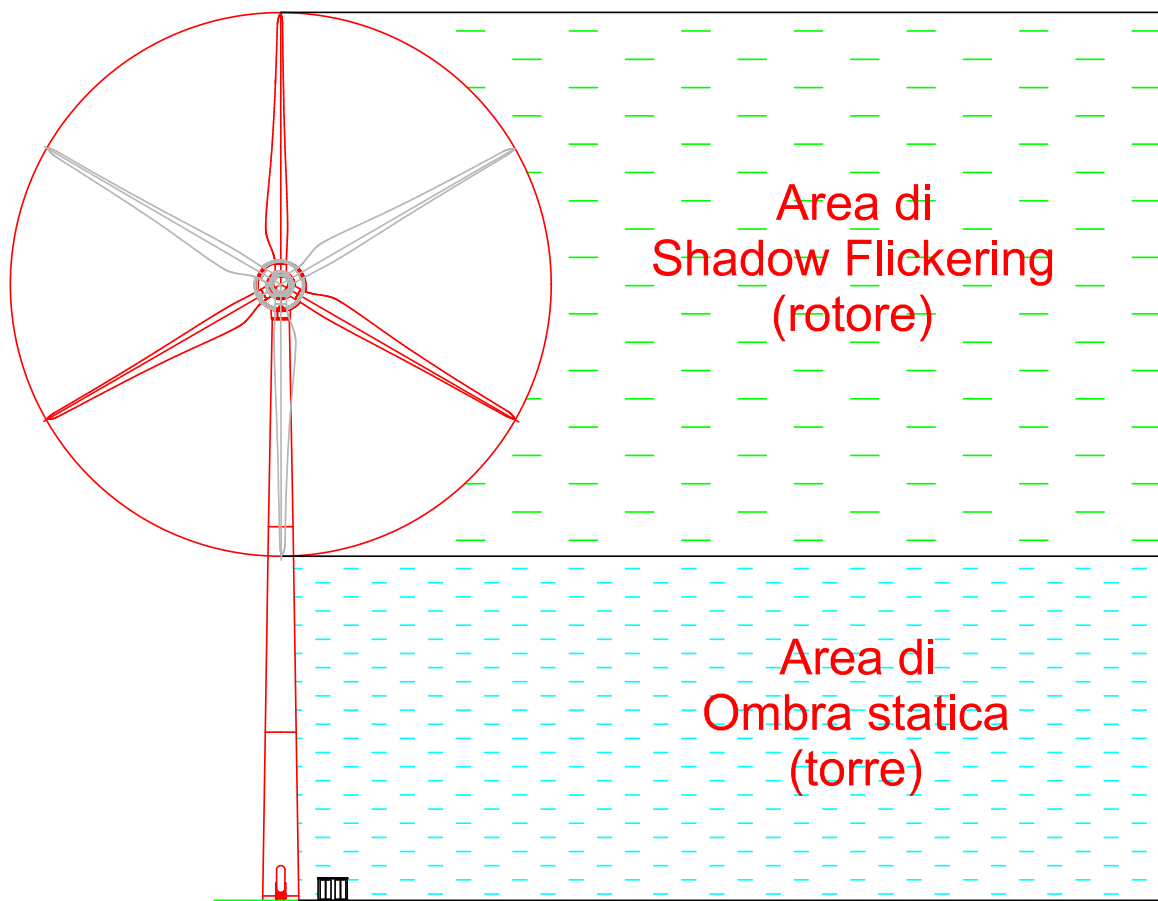


Figura: Evoluzione delle ombre relativa al 21 giugno

Avendo calcolato geometricamente l'evoluzione delle ombre durante la giornata, è possibile identificare l'area in cui avviene il fenomeno dello Shadow-Flickering per la turbina e sovrapporla alla CTR. I risultati sono riportati nella cartografia in allegato al presente elaborato:

- Con linea continua gialla (chiamata 'caramella') sono indicate le aree di Ombra statica e di ombra dinamica o Shadow Flickering con 2 aree distinte e con cerchio tratteggiato giallo sono indicati gli edifici (volutamente, per chiarezza grafica, l'area tratteggiata è molto più ampia dell'estensione degli edifici)



Dall'analisi delle immagini seguenti si può notare che:

- Il numero di edifici interessati dal fenomeno del Flickering è minimo. Si contano 2 edifici censiti come R1 ed R2 (che però sono accatastati come F02 e cioè Unità collabenti – fabbricati fatiscenti, ruderi, unità con tetto crollato e inutilizzabili) nella sezione E dell'area di influenza, solo per evidenza di quando le ombre non causano più effetti di disturbo nell'area oltre i 500 metri dalla turbina, anche per una schermatura orografica nello sviluppo della proiezione della stessa ombra della turbina.

Si tratta di fenomeni:

- Limitati nello spazio, in quanto relativi solo a soli tre 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;

- Limitati come intensità, dal momento che la luce del sole in inverno nelle ultime ore della sera è di intensità modesta e, quindi, è modesta anche la variazione dovuta allo Shadow Flickering.

E' escluso, in qualunque periodo dell'anno, lo Shadow Flickering in corrispondenza di alcun edificio nelle ore centrali della giornata, durante le quali l'intensità della radiazione solare è maggiore.

E' stato fatto girare il modello di evoluzione del sole nei 5 periodi fondamentali:

- GENNAIO – giorno 4;
- MARZO – giorno 21;
- GIUGNO – giorno 21;
- SETTEMBRE – giorno 21;
- DICEMBRE – giorno 21.

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. E' 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.).

4. INDIVIDUAZIONE DEI RECETTORI E METODO DI ANALISI

Ai fini della previsione degli impatti indotti dall'impianto eolico di progetto sono stati individuati i "ricettori sensibili", comunicati dal Committente. Di seguito sono riportati i riferimenti geografici dei recettori individuati ed evidenziati con cerchio rosso quelli considerati sensibili dall'analisi:

PLANIMETRIA RECETTORI

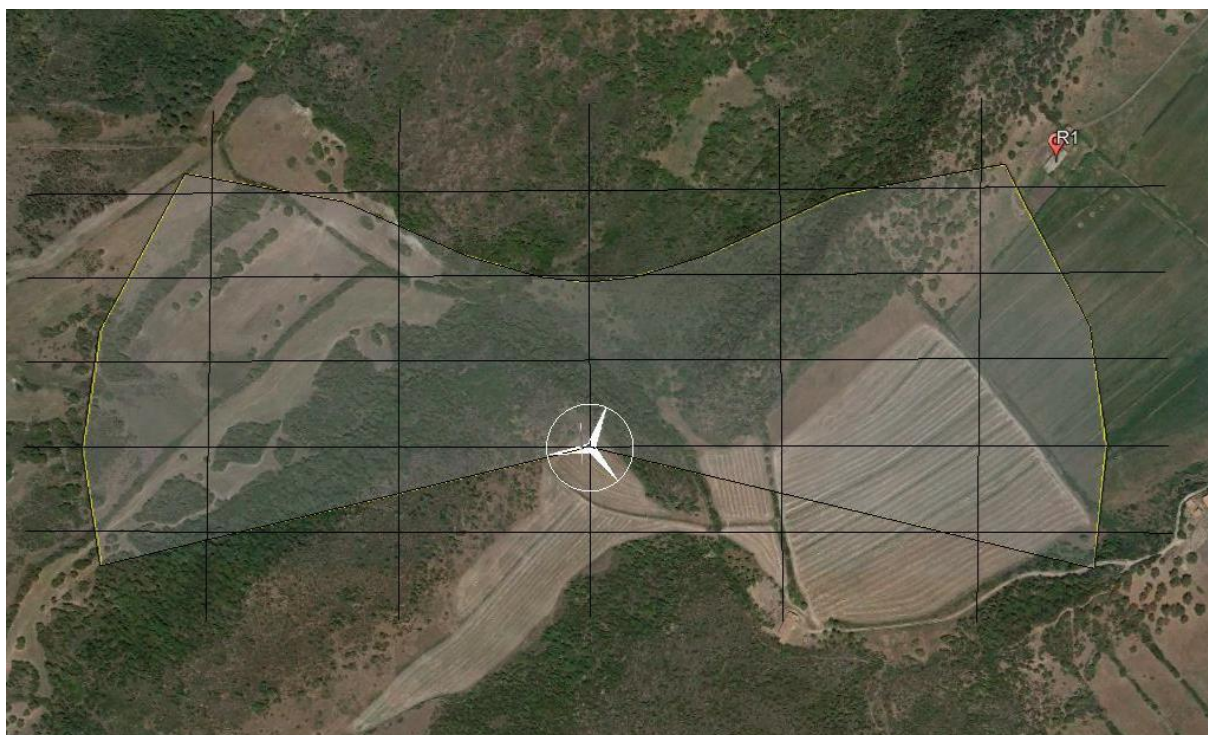


Figura: ORTOFOTO – Stralcio Tavola allegata alla presente relazione con evidenza la presenza di un solo recettore potenzialmente presente che rimane ad una distanza di più di 500 metri.

TABELLA RECETTORI

ID RECETTORE	Coord. UTM WGS84 EST	Coord. UTM WGS84 NORD	Quota slm [m]	Distanza da TURBINA [m]
R1	482101.00 m	4524312.00 m	401	554

Edificio rurale adibito a ricovero attrezzi e animali. Dalla interrogazione catastale non risulta un edificio accatastato come nelle figure sotto. L'edificio individuato come recettore è ubicato nel Foglio 53, particella 13 e risulta intestato a:

Catasto: Terreni Comune: SEDINI Codice: I565 - Foglio:53 Particella:13

- *ARRICA MARGHERITA nata a ALA' DEI SARDI (SS) il 23/08/1950*
- *METTE ANTONELLA nata a SASSARI (SS) il 16/09/1977*
- *METTE FILIPPA nata a SEDINI (SS) il 21/12/1974*
- *METTE MARIA LUCIA nata a ALA' DEI SARDI (SS) il 16/08/1979*



Figura: (fonte Topoprogram e Catasto) dall'analisi cartografica l'edificio risulta accatastato con categoria F02.



Foto: edificio non accatastato considerato come recettore sensibile.

La valutazione tecnica è comunque eseguita con l'ausilio di svariati software online di simulazione, specifici per la proiezione delle ombre sulla superficie terrestre date da un ostacolo, le cui dimensioni sono i primi dati di input unitamente alla posizione geografica, costituito da un insieme di moduli di elaborazione orientati alla simulazione di una moltitudine di aspetti che caratterizzano le diverse fasi progettuali.

Il metodo di analisi è quello specifico per la valutazione dell'evoluzione dell'ombra e del flickering. I dati di input sono:

- Modello DTM del terreno;
- Modello delle turbine e loro caratteristiche dimensionali;
- Definizione di aree sensibili o recettori;
- Definizione di caratteristiche Anemologiche dell'area per il calcolo del "real case" basato sulla effettiva distribuzione statistica dei dati del vento in relazione alle ore di funzionamento ed al posizionamento della navicella per la proiezione del rotore (Wind Rose).

La presente relazione è stata redatta allo scopo di analizzare l'effetto "flickering" indotto dall'aerogeneratore sui potenziali recettori, rappresentati da edifici presenti in un intorno di 500 metri dalla turbina di progetto. 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 dagli edifici.

Nello studio viene comunque calcolato un "worst case" ovvero la condizione più sfavorevole possibile, in quanto si considera che:

- Il sole splende per tutta la giornata, dall'alba al tramonto (cioè si è sempre in assenza di copertura nuvolosa);
- Il piano di rotazione delle pale è sempre perpendicolare alla direttrice sole-aerogeneratore (l'aerogeneratore "insegue" il sole);
- L'aerogeneratore è sempre operativo.

Inoltre, per le simulazioni, ogni singolo ricettore viene considerato in modalità "green house", cioè come se tutte le pareti esterne fossero esposte al fenomeno, senza considerare la presenza di finestre e/o porte dalle quali l'effetto arriva realmente all'interno dell'abitazione.

Allo stesso tempo, si è trascurata la presenza degli alberi e di altri ostacoli che bordano le strade "intercettando" l'ombra degli aerogeneratori riducendo il fastidio del Flickering.

Ciò significa che i risultati ai quali si perverrà sono ampiamente cautelativi. Per completezza, lo studio è stato effettuato anche tenendo conto dei dati statistici ricavati dai dati di direzione prevalente dei venti come valutazione della superficie di ombreggiamento prodotta dalla turbina. In tal modo, viene ricavato il numero di ore di ombreggiamento più realistico, poiché, a differenza del caso precedente, si tiene conto delle ore stimate di funzionamento della turbina nell'arco di un anno, anche in funzione della direzione del vento che influisce sull'orientamento delle pale rispetto al sole e dunque sull'ombra proiettate sui ricettori.

5. ANALISI DEI RISULTATI

Si riportano di seguito sinteticamente i risultati della simulazione con l'ausilio del software online SunCALC nelle date del 4GEN, 21 MAR, 21GIU, 21SET e 21DIC, che utilizza una simulazione grafica proiettata sul terreno, con l'ausilio di Google Earth come base cartografica.

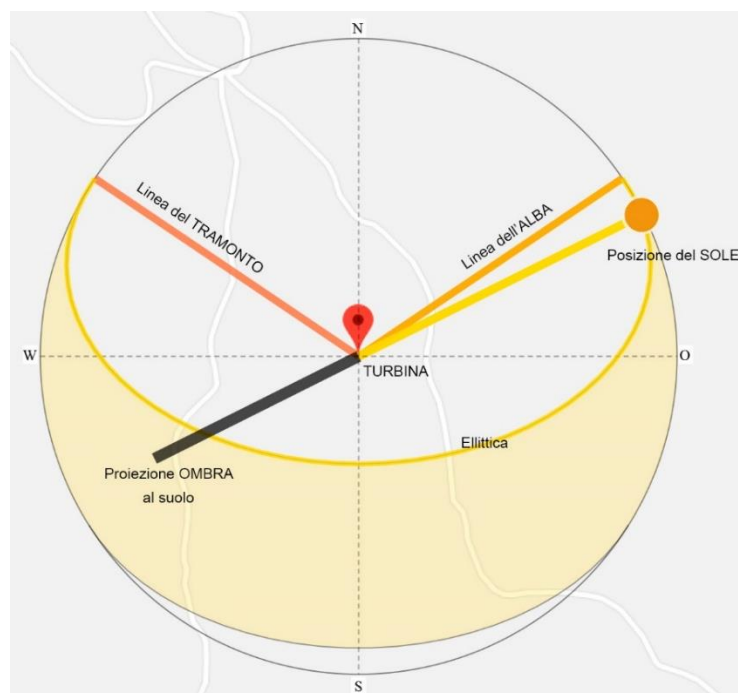
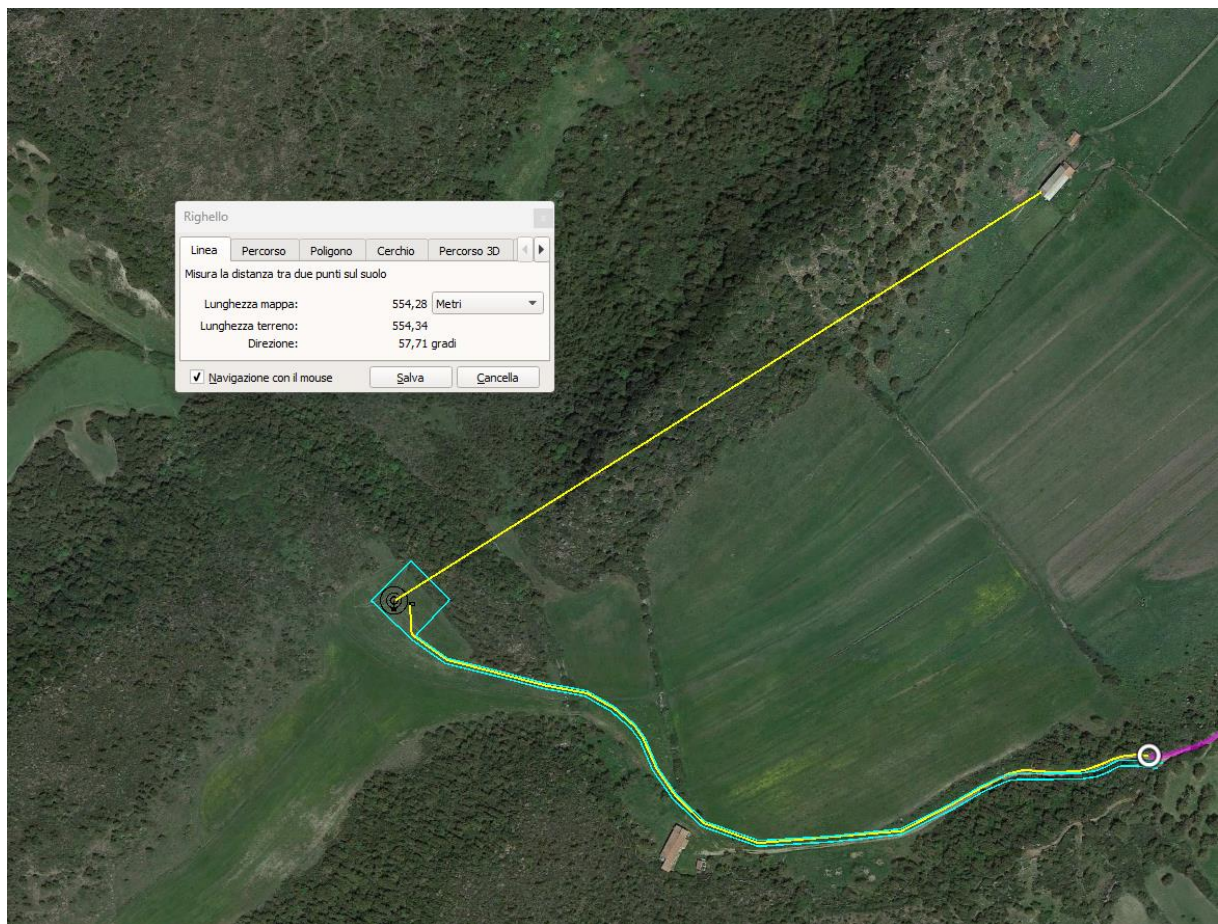


Figura: grafico SunCALC per la proiezione dell'ombra giornaliera al suolo

Facendo una piccola premessa per il recettore individuato, rispetto alla turbina in progetto, e alla posizione reciproca e alle interdistanze relative riportate nella tabella precedente è evidente che:

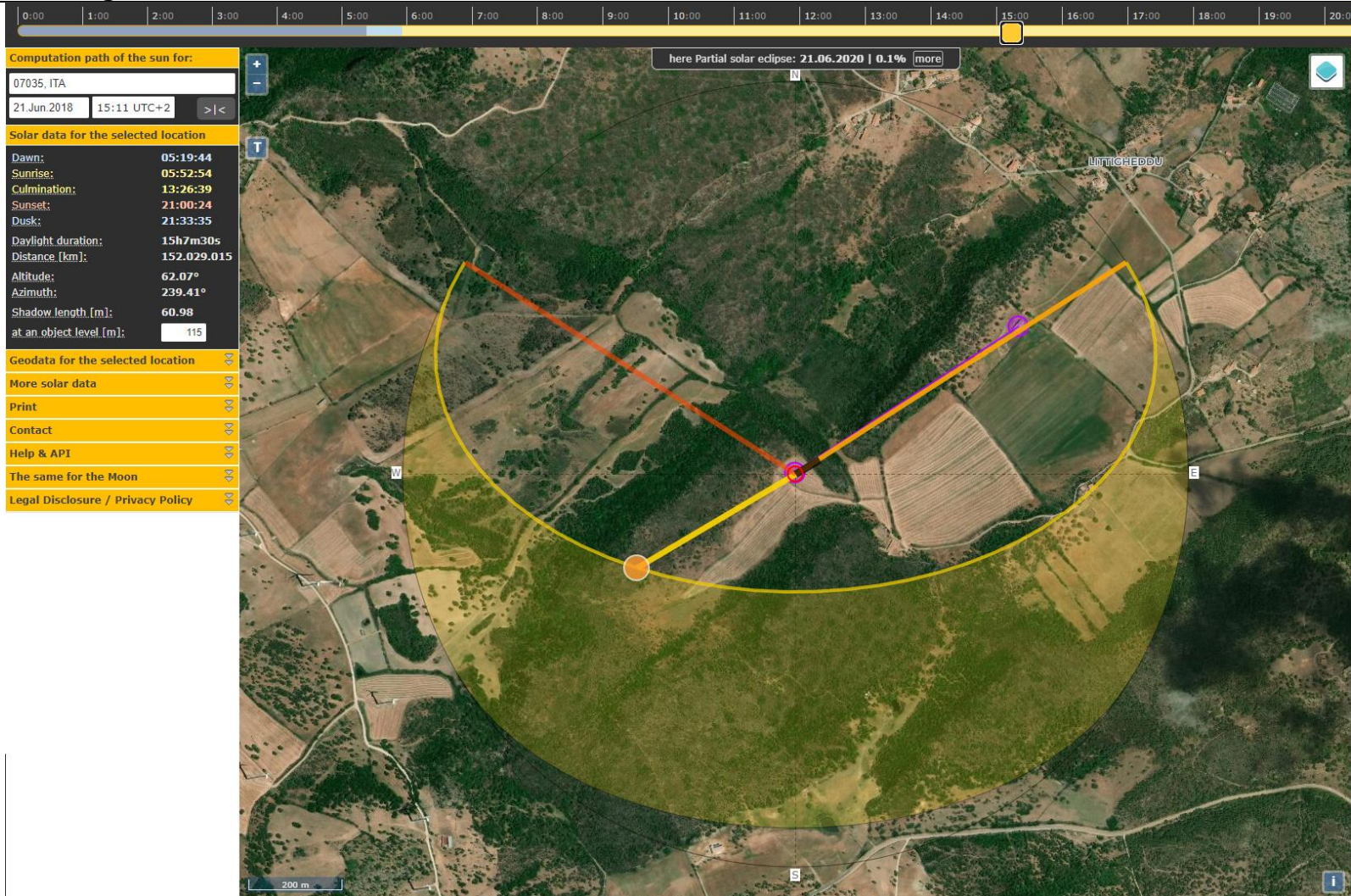
- il recettore si trova nel quadrante a 59° NE ed è quindi automatica ogni interferenza nelle prime e ultime ore pomeridiane tra le 14.00 e le 16.30 per i recettori 2 e 3, mentre per il recettore 01 solo il pomeriggio tardi quando l'influenza del sole è scarsa e poco influente.



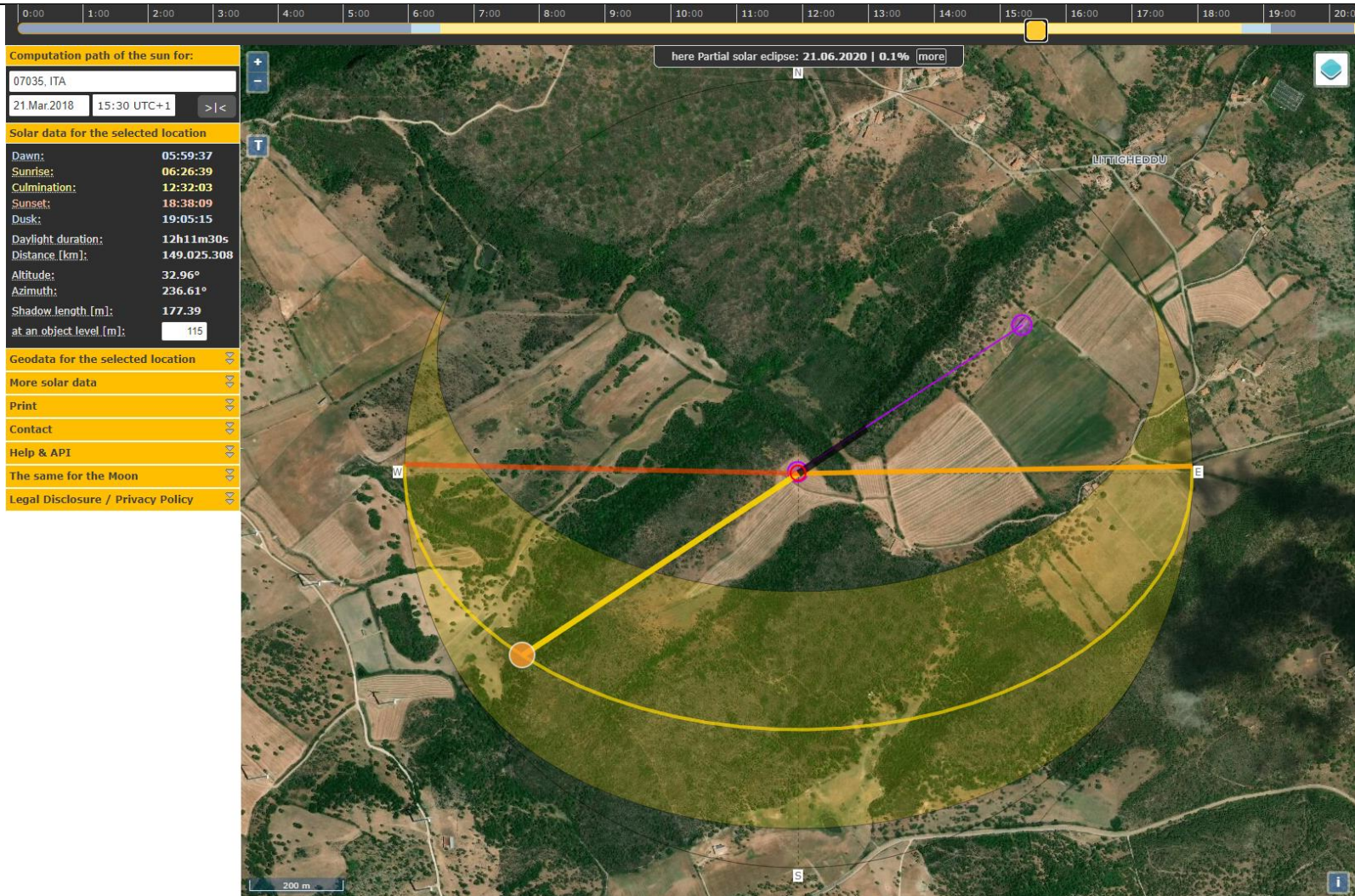
- Non esistono recettori nei restanti quadranti, per cui ogni valutazione in merito non sarà considerata. Ma anche il recettore unico individuato, in effetti, risente pochissimo se non nulla, dell'influenza, in quanto hanno anche alberature a schermarne ogni possibile fenomeno indotto, oltre che la distanza ragguardevole (> 500 metri) oltre che l'orografia presente nel percorso tra la turbina e il recettore stesso.
- si terrà conto dell'altezza al Tip di pala della turbina, nella posizione di una pala verticale al palo di sostegno e cioè $84+61/2= 114,5$ m sls;

Di seguito le elaborazioni del software Sun-CALC nei periodi dell'anno considerati come scritto in precedenza, e solo nel momento in cui l'ipotetico fenomeno si realizza in loro prossimità.

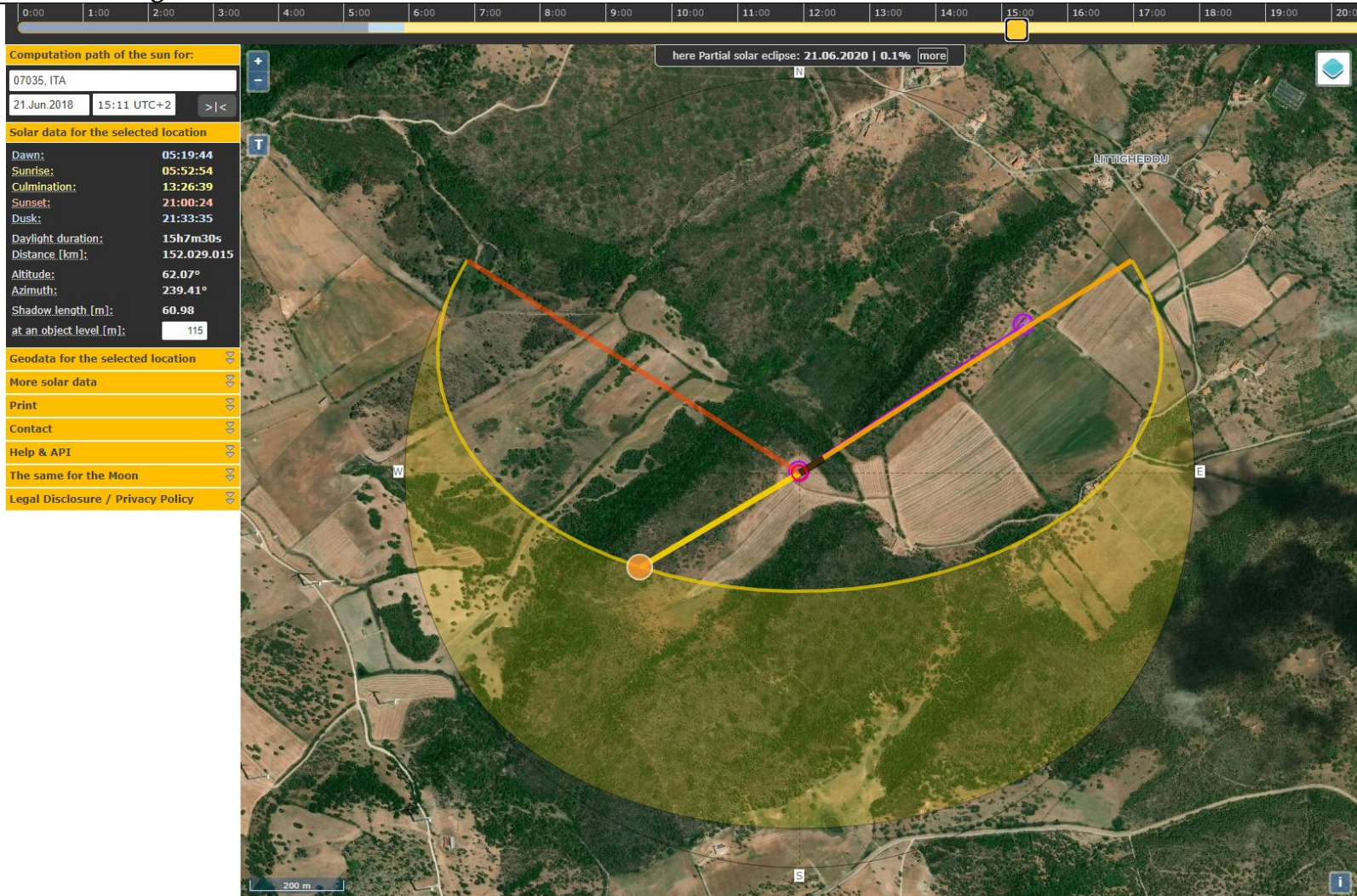
SCHEMA RC01 - 4 gennaio



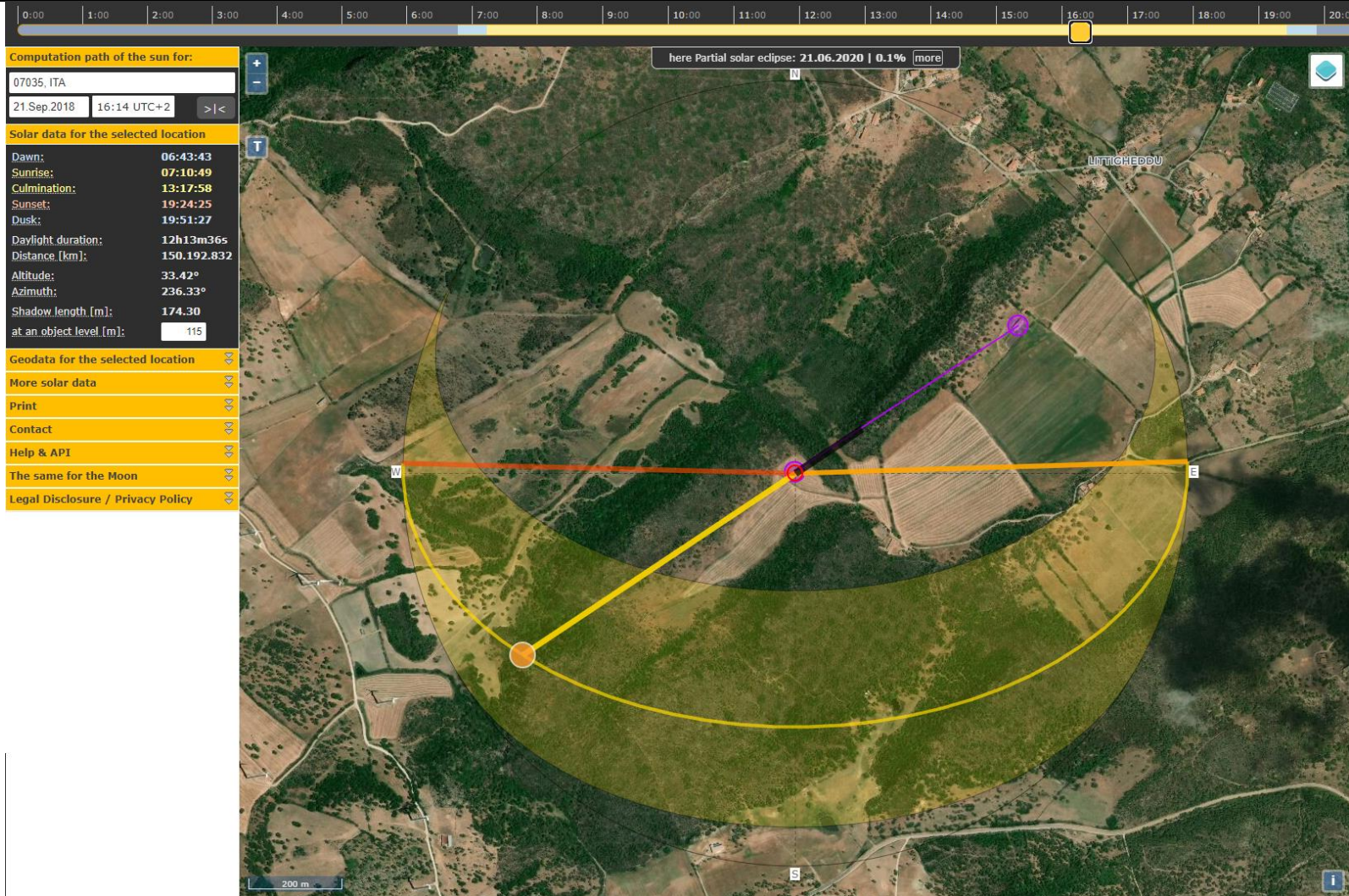
SCHEDA RC01 - 21 Marzo



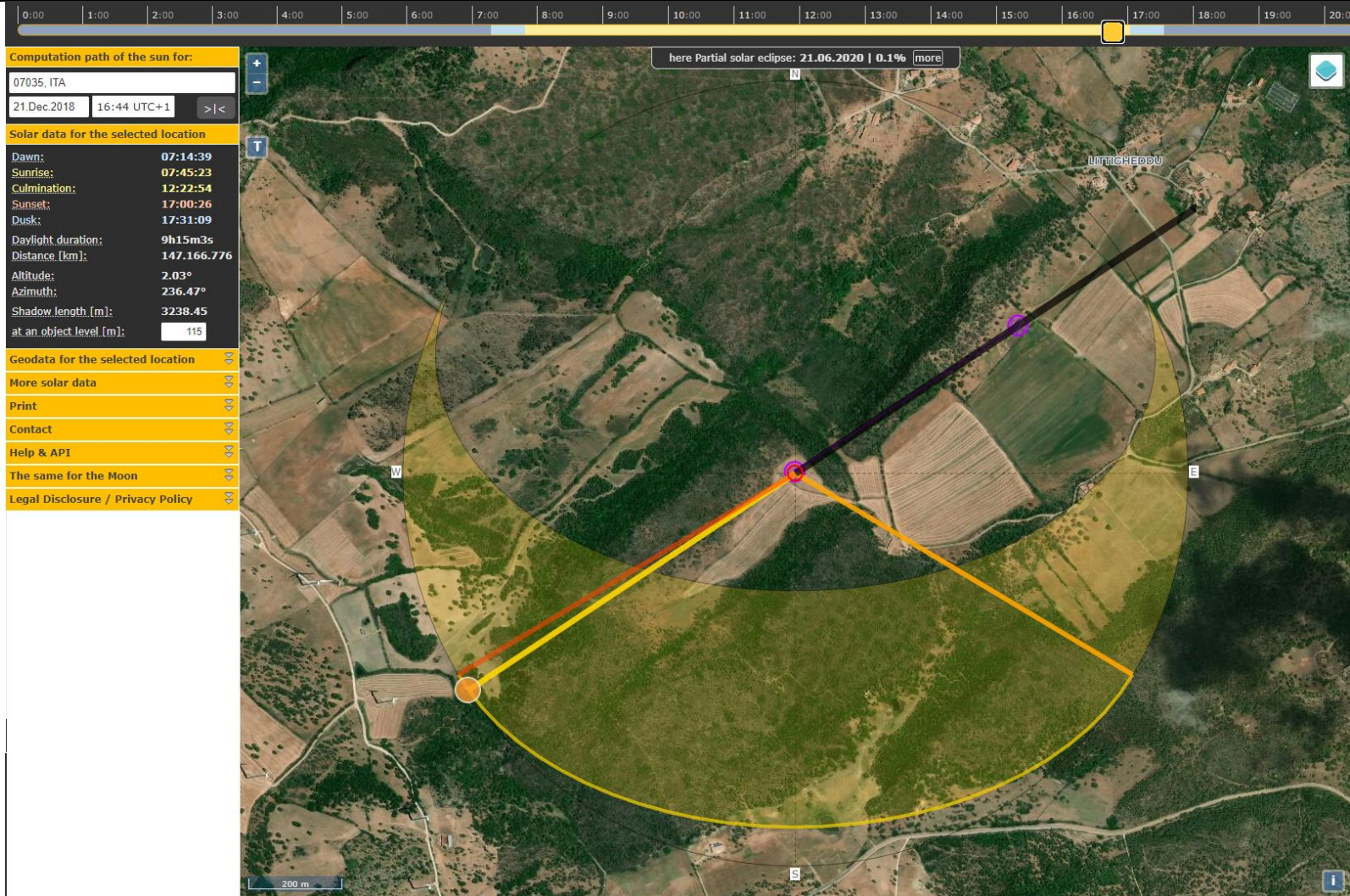
SCHEMA RC01- 21 Giugno



SCHEDA RC01- 21 Settembre



SCHEDA RC01- 21 Dicembre



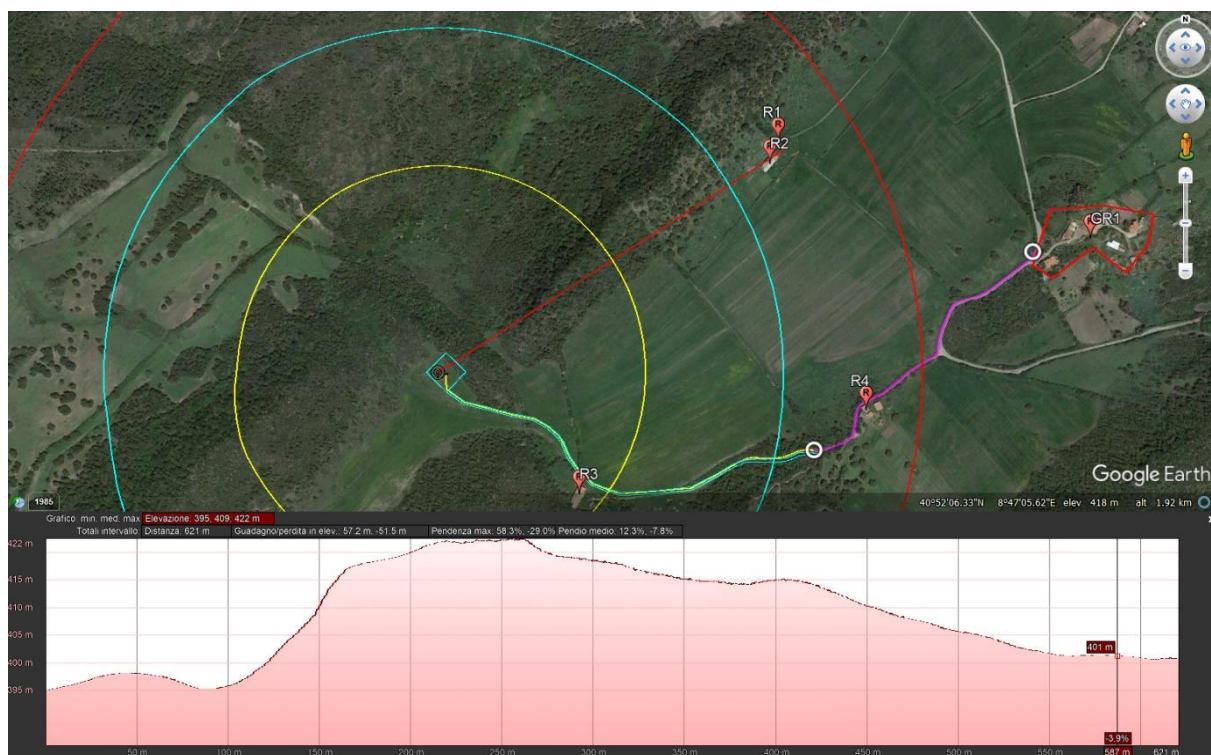
6. CONCLUSIONI

La conclusione dello studio (worst case) è che l'unico ricettore R1-R2 individuato come quello più prossimo all'impianto eolico, e comunque oltre i 500 metri, non risente minimamente, dell'ombra causata dalla turbina in quanto:

- Le interferenze sono presenti solo nelle prime ed ultime ore del pomeriggio in quanto il recettore (edificio) è posizionati a ENE (59°) rispetto alla turbina, ma soprattutto nelle ultime ore della sera nel periodo invernale il 21 GEN e il 21 DIC.
- Il recettore risulta essere accatastato negli ultimi anni come F02 e cioè, nello specifico, gli immobili di tale categoria sono classificati come "Unità collabenti – fabbricati fatiscenti, ruderi, unità con tetto crollato e inutilizzabili".

Inoltre, si fa presente che per quanto riguarda la proiezione dell'ombra e del fenomeno del flickering il fabbricato posto a SSE (R3), del sig. Dasara, proprietario del fondo su cui insiste la turbina, non risente di tale fenomeno per ovvie ragioni di posizione reciproca sul percorso del sole, come riportato nella Tavola T15 revisionata e con nuova Tavola T49 con l'inserimento dei recettori censiti da dove si può osservare l'assenza di interferenze del fenomeno.

Il gruppo di recettori R1 ed R2, posti a più di 500 m ad Est dalla turbina non risentono dell'effetto ombra e del fenomeno del flickering in quanto, a parte la notevole distanza per cui l'effetto sarebbe ininfluenza, l'orografia tra la turbina e i fabbricati funge da schermatura naturale alle ore serali del solo periodo invernale ed autunnale.



È ben visibile, nella sezione del profilo altimetrico, l'orografia tra la turbina e i fabbricati che non consente all'ombra di proiettarsi alla distanza che intercorre tra la turbina e questi ultimi (real case).

Il gruppo di recettori R4 non risentono del flickering in quanto la copertura vegetale presente a ridosso dei fabbricati scherma completamente l'effetto. Trattasi comunque di edifici non abitati e frequentati saltuariamente con categoria C02 ed F02.

Vedere nuova Tavola T49 nel dettaglio.