

REGIONE PUGLIA
CITTA' METROPOLITANA DI BARI
COMUNE DI RUVO DI PUGLIA

IMPIANTO EOLICO COMPOSTO DA 8 WTG DA 7.2 MW,
SISTEMA DI ACCUMULO ELETTROCHIMICO DELL'ENERGIA
ELETTRICA E OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE

R40

STUDIO EVOLUZIONE OMBRA

Proponente

RDP

RDP srl
CORSO MONFORTE 2
20122 Milano (MI)
P.IVA 13058670962
rdp.srl.pec@legalmail.it
Legale Rappresentante: Ing. Danilo Lerda

Progetto

STM Engineering

STIM ENGINEERING S.r.l.
VIA GARRUBA, 3 - 70121 BARI
Tel. 080.5210232 - Fax 080.5234353
www.stimeng.it - segreteria@stimeng.it

ing. Massimo CANDEO
Ordine Ing. Bari n° 3755
Via Cancellotto, 3
70125 Bari
m.candeo@pec.it
stimdue@stimeng.it
tel. +39 328 9569922

ing. Gabriele CONVERSANO
Ordine ing. Bari n° 8884
via Garruba, 3
70122 Bari
g.conversano@stimeng.it
gabrieleconversano@pec.it
tel. +39 328 6739206



Collaborazione:
ing. Antonio Campanale
ing. Flavia Blasi

**Progetto
elettrico**

ing. Gianluca Pantile
Ordine Ing. Brindisi n° 803
Via del Lavoro, 15/D
72100 Brindisi (BR)
Tel. cell. 3471939994
PEC: pantile.gianluca@ingpec.eu

gennaio 24	0	PRIMA EMISSIONE	ing. A.Campanale, F.Blasi, G.Conversano	ing. M. Candeo
Data	Rev.	DESCRIZIONE	Elaborato e controllato da:	Approvato da:

REVISIONI

SOMMARIO

1	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	3
2	SHADOW FLICKERING.....	5
3	ANALISI DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA DI UN AEROGENERATORE.....	6
4	CALCOLO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA PER GLI AEROGENERATORI IN PROGETTO	11
5	OMBREGGIAMENTO A CARICO DEI RICETTORI	12

1 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il presente elaborato costituisce parte integrante del progetto di costruzione di un parco eolico, proposto dalla società RDP srl, con sede in C.so Monforte 2, Milano, con potenza complessiva di 57,6 MW ubicato nel comune di Ruvo di Puglia (BA).

L'impianto proposto, destinato alla produzione industriale di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica, sarà realizzato mediante:

- l'installazione di n. **8 aerogeneratori** tripala (WTG) ad asse orizzontale, **ciascuno di potenza nominale pari a 7,2 MW**, per una potenza elettrica complessiva pari a **57,6 MW**, installati su torre tubolare, per una altezza totale di **200 m**, delle opere elettriche accessorie. Ciascun aerogeneratore sarà dotato di una turbina tripala, in configurazione "up-wind";
- l'installazione di un sistema di accumulo elettrochimico dell'energia elettrica prodotta con una potenza di 50 MW;
- installazione di una stazione elettrica utente di trasformazione 30/150 kV;
- l'installazione, in conformità alle disposizioni tecniche contenute nel preventivo di connessione emesso da TERNA SpA, codice pratica 202303409, gestore della RTN e delle normative di settore, di cavidotti interrati MT 30 kV di interconnessione tra gli aerogeneratori (cavidotto interno di parco) e di vettoriamento esterno per la connessione elettrica alla RTN.

La presente relazione riguarda lo **studio dell'evoluzione dell'ombra** per l'impianto eolico in questione.

Di seguito si riporta un inquadramento su base open street maps degli aerogeneratori di progetto.



Inquadramento a scala ampia dell'area di intervento con limiti comunali

Nella tabella sottostante si riporta l'inquadramento catastale dei punti macchina di progetto e le coordinate nel sistema di riferimento WGS 84 UTM 33N, per ogni punto macchina.

WTG	COMUNE	Fg.	Part.	WGS 84 UTM 33N Cord E	WGS 84 UTM 33N Cord N
WTG 01	RUVO DI PUGLIA	55	685	620573	4548214
WTG 02	RUVO DI PUGLIA	55	144	619864	4547948
WTG 03	RUVO DI PUGLIA	73	58	619940	4546988
WTG 04	RUVO DI PUGLIA	79	6	620769	4546255
WTG 05	RUVO DI PUGLIA	85	128	622784	4545939
WTG 06	RUVO DI PUGLIA	92	347	623054	4544544
WTG 07	RUVO DI PUGLIA	86	189	624161	4545265
WTG 08	RUVO DI PUGLIA	87	7	624604	4545787

Layout di progetto – Posizione aerogeneratori

2 SHADOW FLICKERING

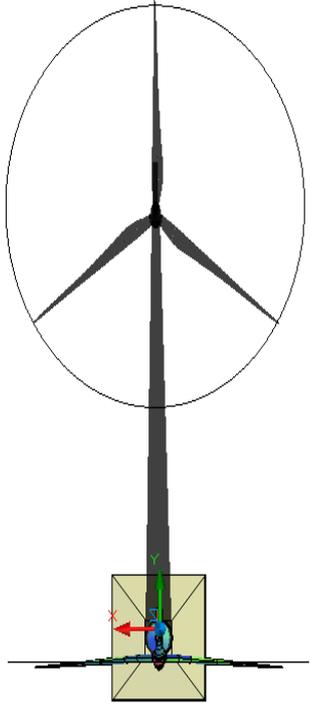
Lo *shadow flickering* consiste in una variazione periodica dell'intensità luminosa solare causata dalla proiezione, su una superficie, dell'ombra indotta da oggetti in movimento.

Per un impianto eolico tale fenomeno è generato dalla proiezione 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:

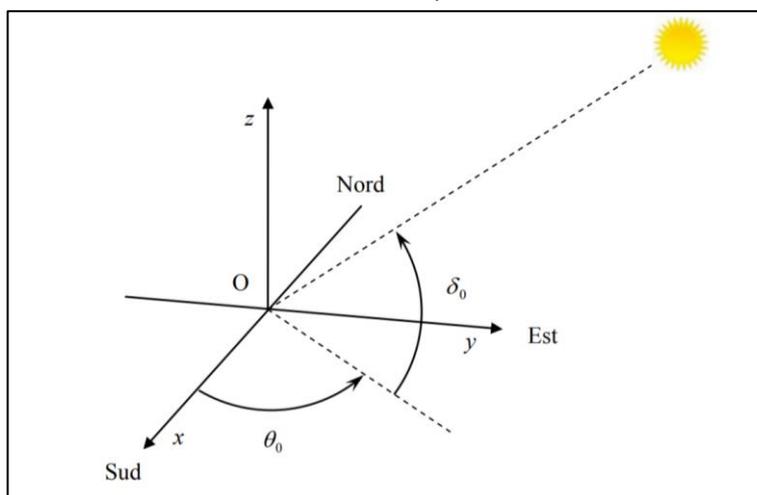
- si sia in presenza di un livello sufficiente di intensità luminosa, ossia in condizioni di cielo sereno sgombro da nubi ed in assenza di nebbia e con sole alto rispetto all'orizzonte;
- la linea recettore-aerogeneratore non incontri ostacoli: in presenza di vegetazione o edifici interposti l'ombra 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.);
- il rotore sia orientato verso la provenienza del sole: 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 "ellisse" (proiezione della circonferenza del rotore) inducendo uno *shadow flickering* non trascurabile;
- quando il piano del rotore è allineato 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.

	
<p><i>Proiezione dell'ombra indotta dall'aerogeneratore con rotore perpendicolare alla linea sole - recettore</i></p>	<p><i>Proiezione dell'ombra indotta dall'aerogeneratore con rotore in linea con il sole ed il recettore</i></p>

3 ANALISI DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA DI UN AEROGENERATORE

Come è noto, in ciascun momento del tempo la posizione del sole rispetto alla terra può essere definita per mezzo di due angoli, detti anche Coordinate angolari "astronomiche" θ_0 e δ_0 , rispetto ad un riferimento cartesiano:

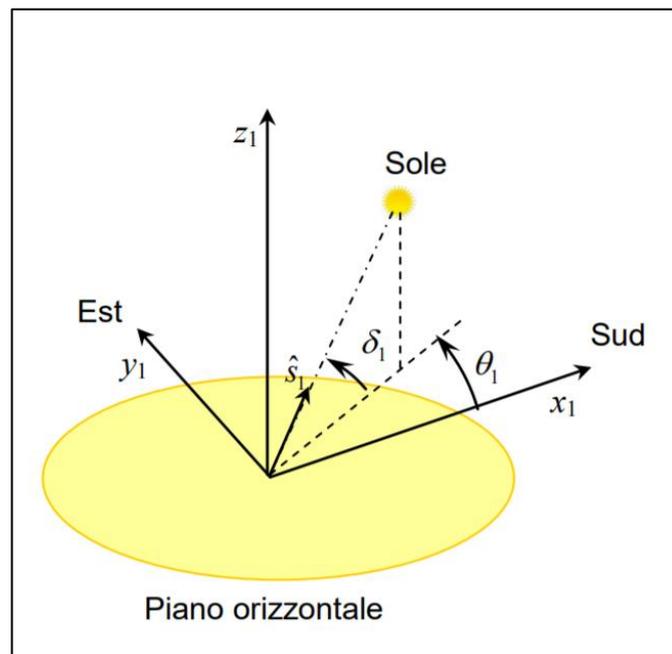
- il cui asse z è parallelo all'asse terrestre
- il cui piano (x.y) è parallelo al piano equatoriale;
- la direzione x punta da Nord verso Sud e la direzione y da Ovest verso Est.



Coordinate solari astronomiche

Ovviamente, assegnata la latitudine di un sito, la posizione del sole in ciascun istante può anche essere definita (per mezzo dei due angoli δ_1 e θ_1 illustrati in figura seguente) rispetto ad un riferimento cartesiano:

- il cui asse z_1 è perpendicolare al suolo nella località considerata
- il cui piano (x_1, y_1) è il piano orizzontale della località considerata;
- la direzione x_1 punta da Nord verso Sud e la direzione y_1 da Ovest verso Est.



Coordinate solari locali

Maggiori dettagli sul calcolo analitico della posizione del sole sono disponibili, fra i tanti riferimenti, nella pubblicazione ENEA "CALCOLO ANALITICO DELLA POSIZIONE DEL SOLE PER L'ALLINEAMENTO DI IMPIANTI SOLARI ED ALTRE APPLICAZIONI", cui si rimanda per maggiori dettagli.

Pertanto, avendo fissato giorno dell'anno, ora (rispetto all'ora solare del luogo considerato) e latitudine, in ogni istante, è possibile calcolare i due angoli δ_1 e θ_1 che definiscono la posizione del sole rispetto al riferimento locale.

Nota la posizione del sole e le caratteristiche geometriche dell'aerogeneratore (altezza all'HUB, diametro del rotore), è possibile definire l'area in cui si osserverà il fenomeno dello shadow flickering, che è coincidente con la proiezione al suolo del rotore secondo la direzione di origine dei raggi solari.

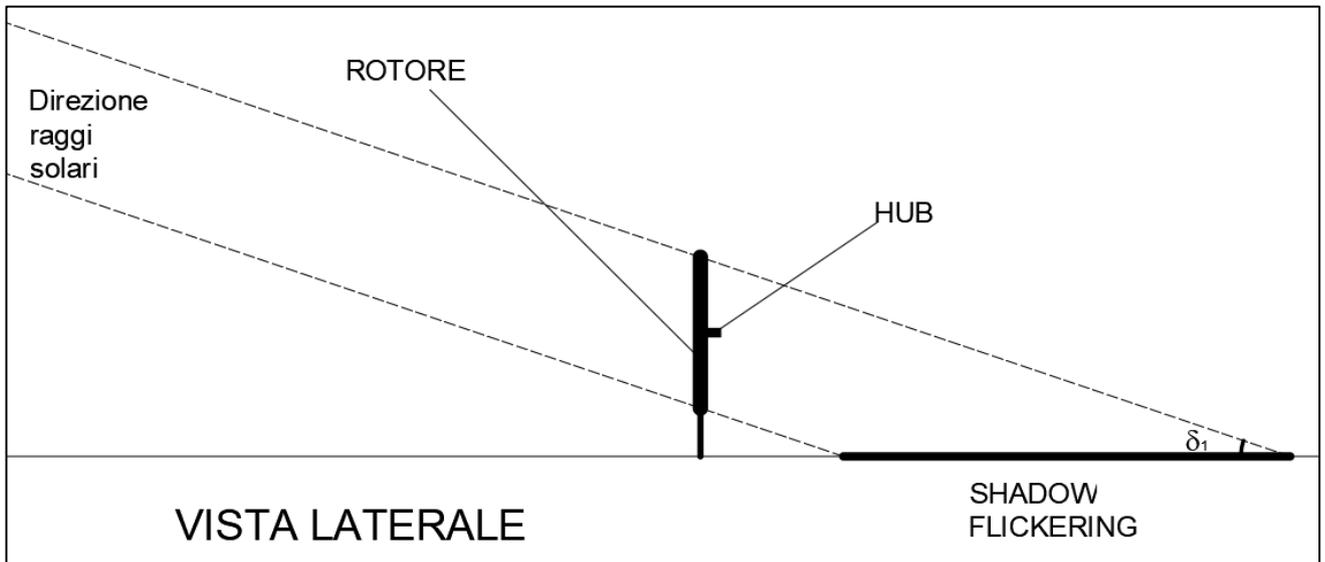
Per comprendere meglio il fenomeno, si consideri che nelle ipotesi di:

- rotore perfettamente perpendicolare alla direzione di provenienza dei raggi solari e
- terreno orizzontale,

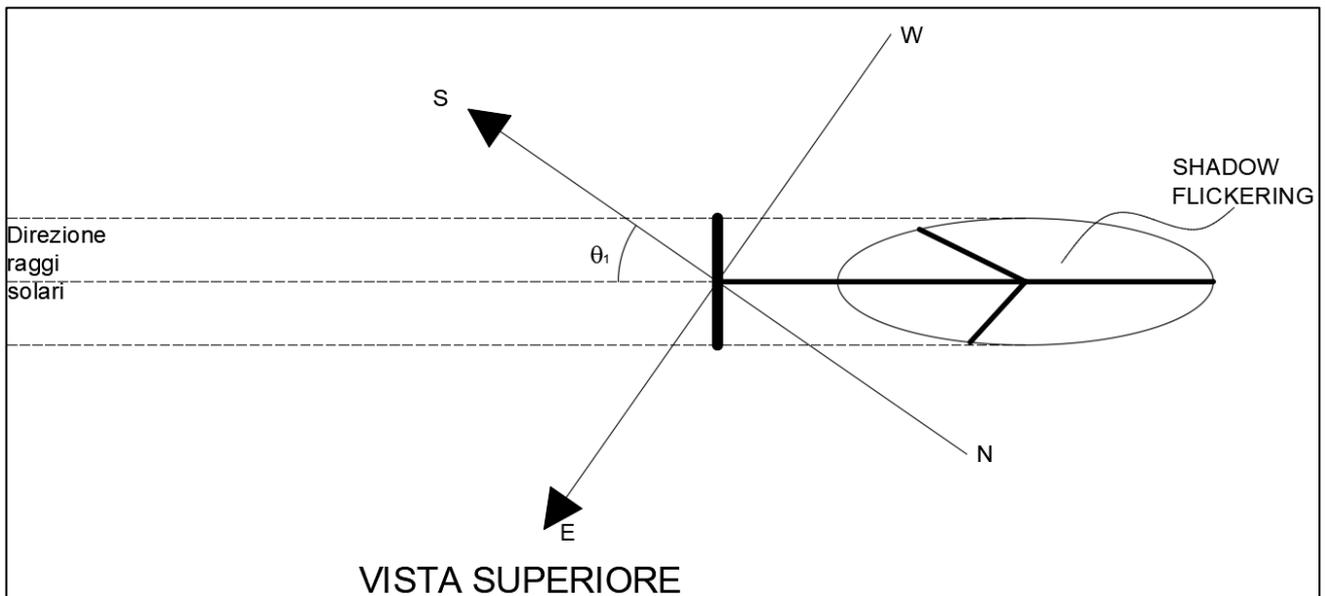
l'area su cui avviene il fenomeno di shadow flickering è data dall'ellisse i cui estremi si ricavano, mediante semplici considerazioni geometriche, dalle immagini seguenti. In particolare l'ellisse di shadow flickering ha:

- semiasse maggiore pari alla metà della lunghezza indicata con "SHADOW FLICKERING" nella vista laterale seguente;

- semiasse minore pari al raggio del rotore, come evidente dalla vista superiore seguente;
- posizione nel riferimento cartesiano avente assi coincidenti con il SUD dipendente dall'angolo δ_1 .

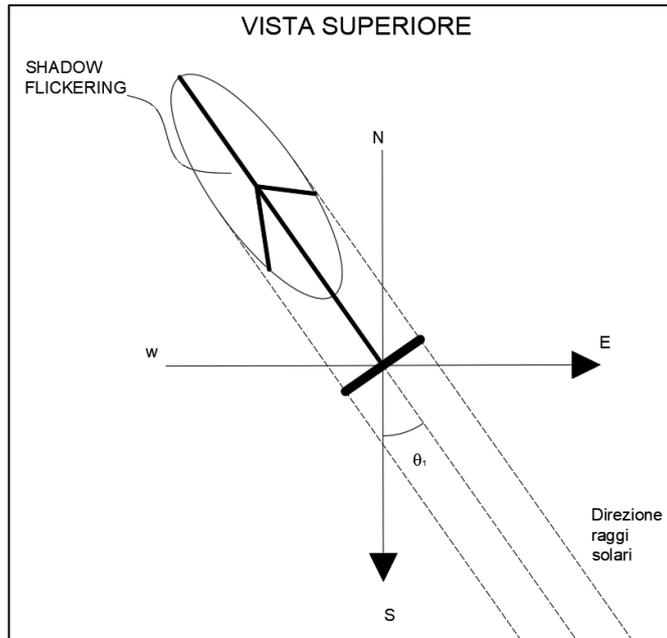


Vista laterale (rispetto al rotore) del fenomeno di shadow flickering



Vista superiore del fenomeno di shadow flickering

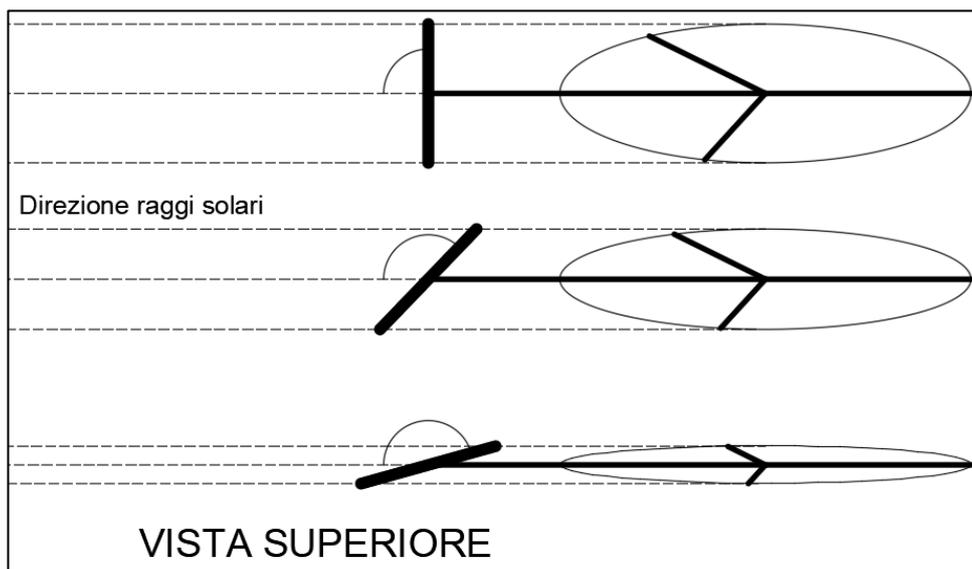
Ovviamente la vista precedente può anche essere resa, per sola chiarezza grafica e senza che nulla cambi nella sostanza, con gli assi cartesiani locali orientati secondo le direzioni orizzontale e verticale



Vista superiore del fenomeno di shadow flickering – rotazione con asse SUD verticale

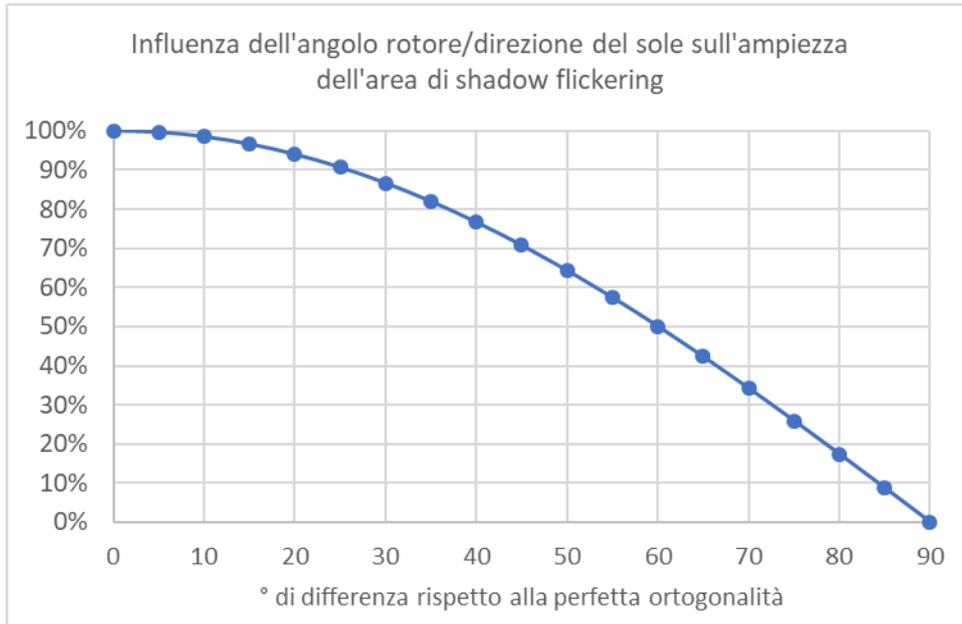
Si consideri adesso che l'ipotesi di perfetta perpendicolarità del rotore con la direzione di provenienza dei raggi solari è una ipotesi fortemente cautelativa, dal momento che, come è noto, il rotore è orientato rispetto alla direzione di provenienza del vento che non coincide, se non casualmente, con la direzione di provenienza dei raggi solari.

Facendo riferimento agli schemi nelle figure seguenti, si può osservare che ruotando di 45° il rotore rispetto alla direzione ortogonale ai raggi solari, l'area spazzata dallo Shadow flickering si riduce del 30%, e ruotandolo di ulteriori 30° l'area spazzata è appena il 25% circa di quella originaria.



Effetto dell'angolo tra direzione dei raggi solari e rotore sull'ampiezza dello shadow flickering

Questa dipendenza si può esprimere secondo quanto nel grafico seguente.



Assumendo, per semplicità, che la direzione del sole e la direzione del vento siano completamente non correlate, e quindi qualunque angolo tra le due direzioni può osservarsi con uguale frequenza, si ottiene un'area media dell'ellisse di shadow flickering pari al 63% circa dell'area di shadow flickering massima.

Per ottenere stime in vantaggio di sicurezza si utilizzerà comunque sempre, nei calcoli seguenti, l'area massima di shadow flickering.

4 CALCOLO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA PER GLI AEROGENERATORI IN PROGETTO

Alla luce di quanto sopra, si è proceduto ad effettuare il calcolo dell'area di shadow flickering in ogni istante temporale di ogni giorno dell'anno (con passo di ¼ ora), secondo la procedura seguente:

Determinazione della posizione del sole (angoli α_1 e β_1) in funzione della latitudine del luogo, del giorno e dell'ora;

Calcolo, nel sistema di riferimento locale (N-S; W-E) avente centro nell'asse della WTG:

- della posizione degli estremi dell'ellisse di shadow flickering;
- dei fuochi di tale ellisse;

Verifica, per ciascun punto del dominio di calcolo, dell'appartenenza o meno del punto all'ellisse di flickering. (L'appartenenza all'ellisse può essere verificata semplicemente sommando le distanze del punto considerato dai due fuochi dell'ellisse e confrontandola con il doppio del semiasse maggiore dell'ellisse)

In caso di verifica positiva, aggiunta di un quarto d'ora al conteggio del tempo annuale di flickering per il punto considerato.

Con passo temporale di un quarto d'ora questa verifica è stata effettuata, per l'intero anno, a passi spaziali di 10 metri nell'intorno della WTG, ottenendo i risultati mostrati nelle figure seguenti.

Le ipotesi di calcolo adottate sono state:

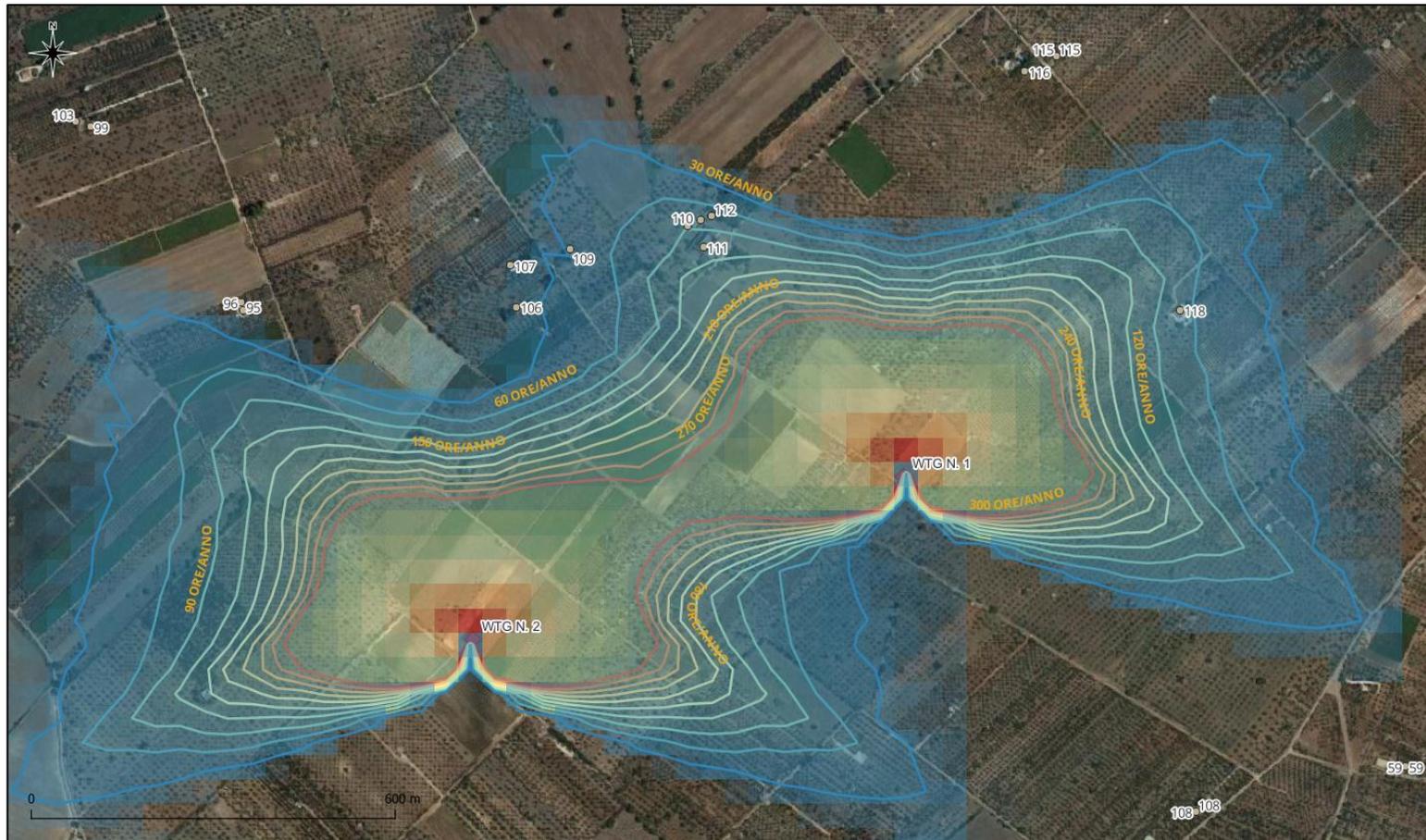
Latitudine: 41,05°

Altezza HUB: 114 m

Diametro rotore: 172 m

I risultati del calcolo sono mostrati, per ciascuna WTG, negli stralci cartografici su ortofoto alle pagine seguenti, con un commento esplicativo per ciascuno stralcio cartografico. Non sono stati considerati i ricettori sui quali graverà un'ombra indotta dalle WTG inferiori alle 30 ore all'anno

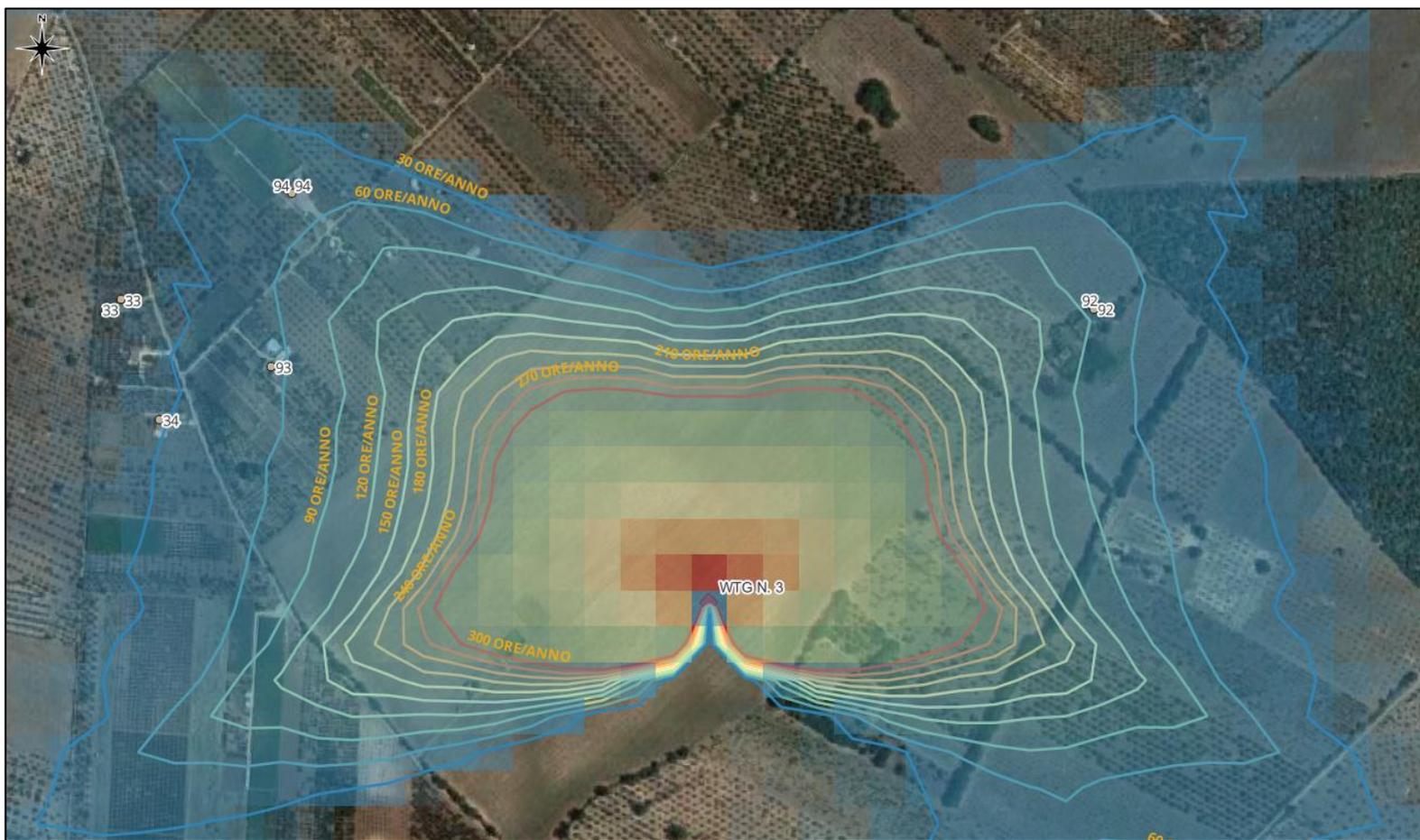
5 OMBREGGIAMENTO A CARICO DEI RICETTORI



Ore di ombreggiamento annuali e ricettori - WTG 1 e WTG 2

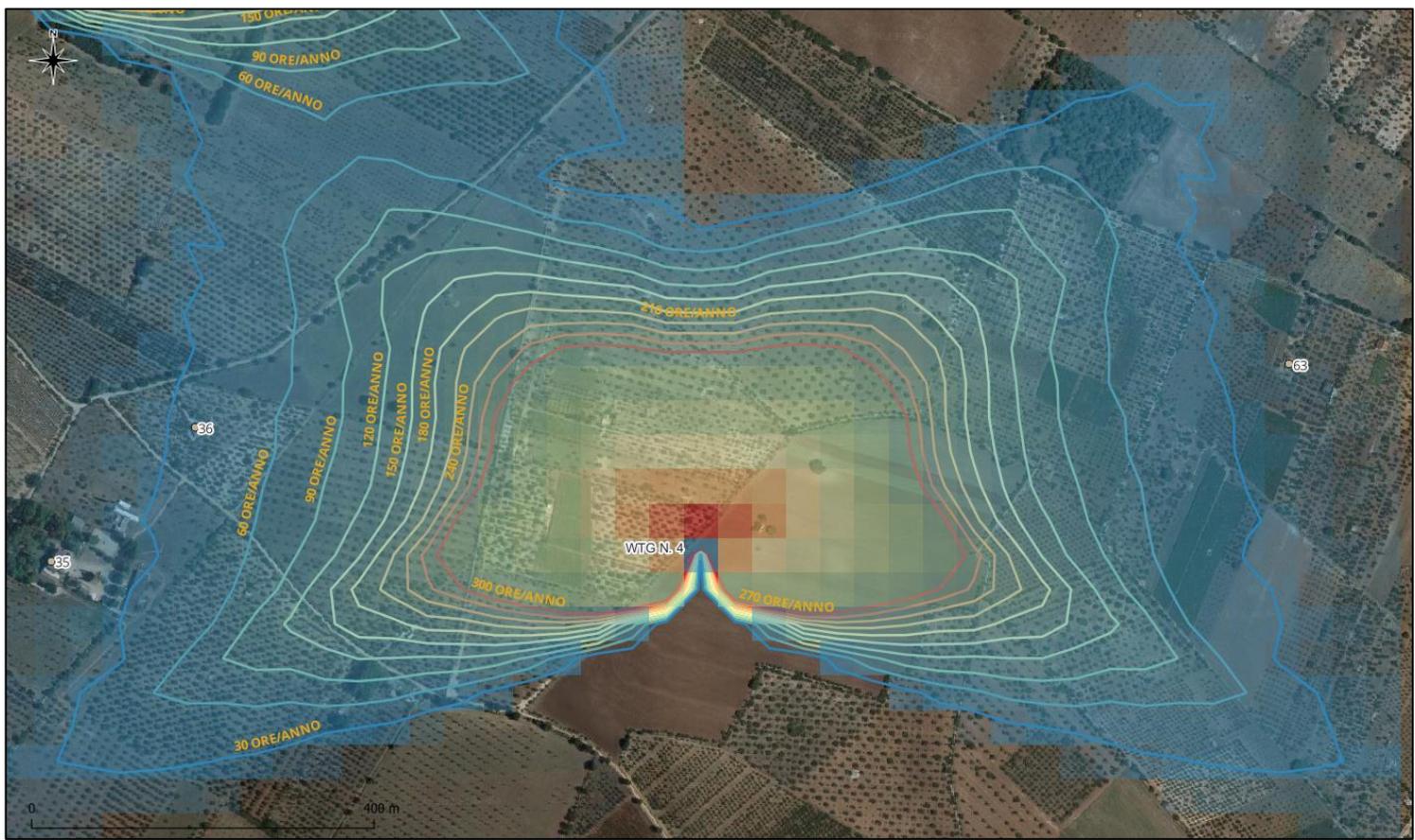
Nell'area di shadow flickering indotta dalla WTG 1 sono presenti 6 ricettori sui quali graveranno ombre per una durata inferiore a 112,5 ore/anno.

Nell'area di shadow flickering indotta dalla WTG 2 NON sono presenti edifici sui quali graveranno ombre per una durata superiore delle 30 ore/anno.



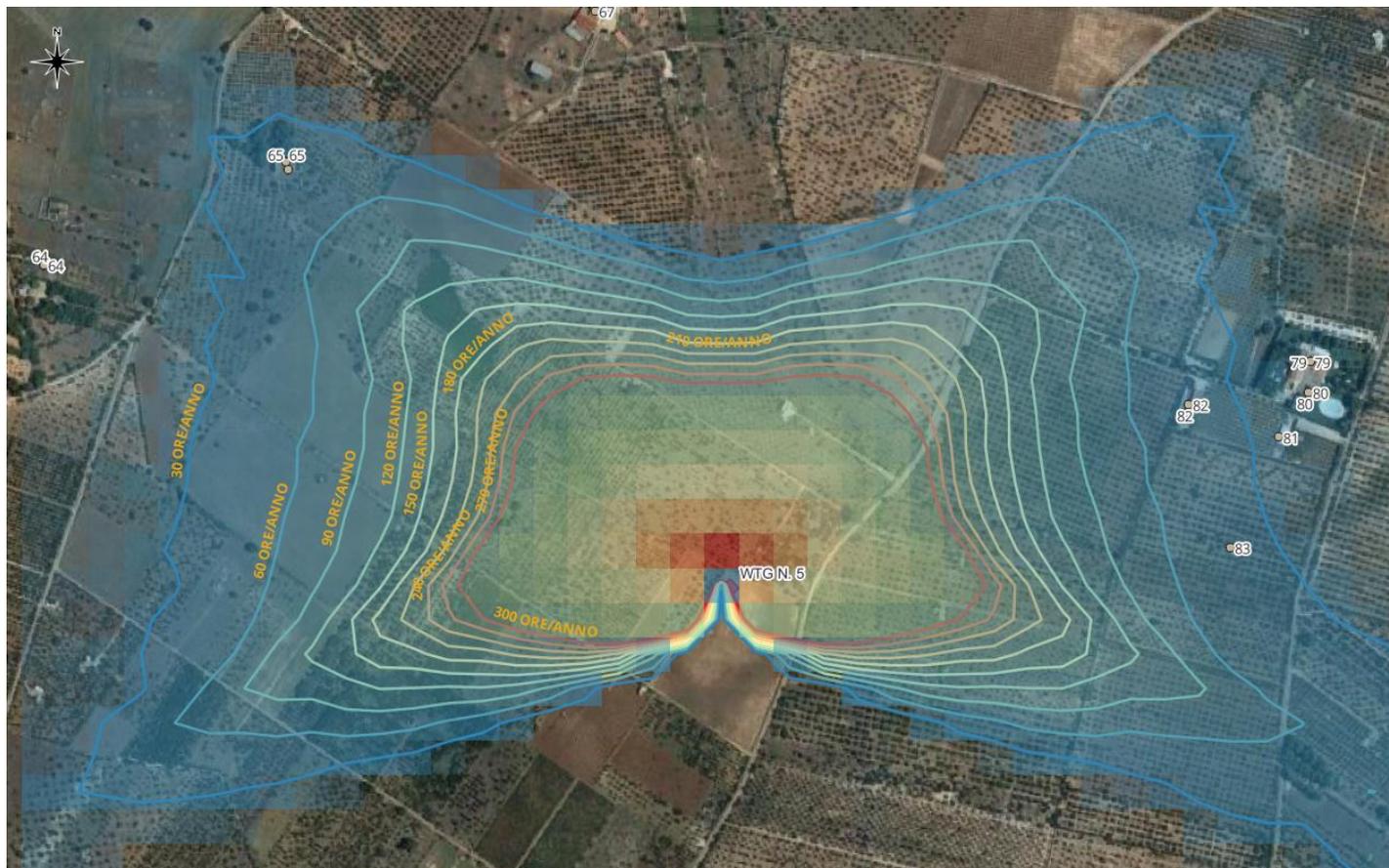
Ore di ombreggiamento annuali e ricettori - WTG 3

Nell'area di shadow flickering indotta dalle WTG 3 sono presenti 3 ricettori sui quali graveranno ombre per una durata irrisoria inferiore alle 89 ore/anno.



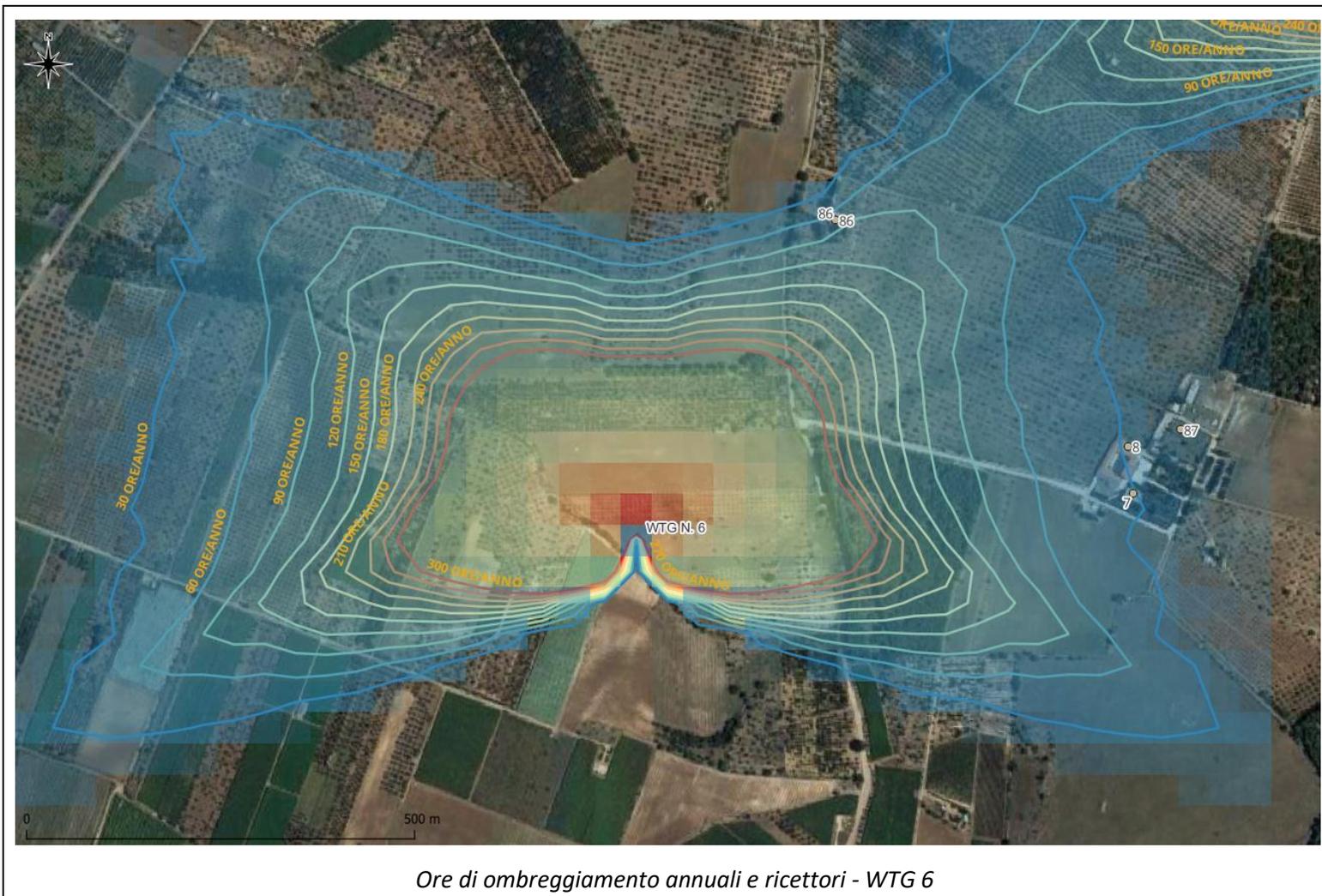
Ore di ombreggiamento annuali e ricettori - WTG 4

Nell'area di shadow flickering indotta dalla WTG 04 è presente il ricettore ID 36 sul quale graverà un'ombra per una durata di circa 34 ore/anno

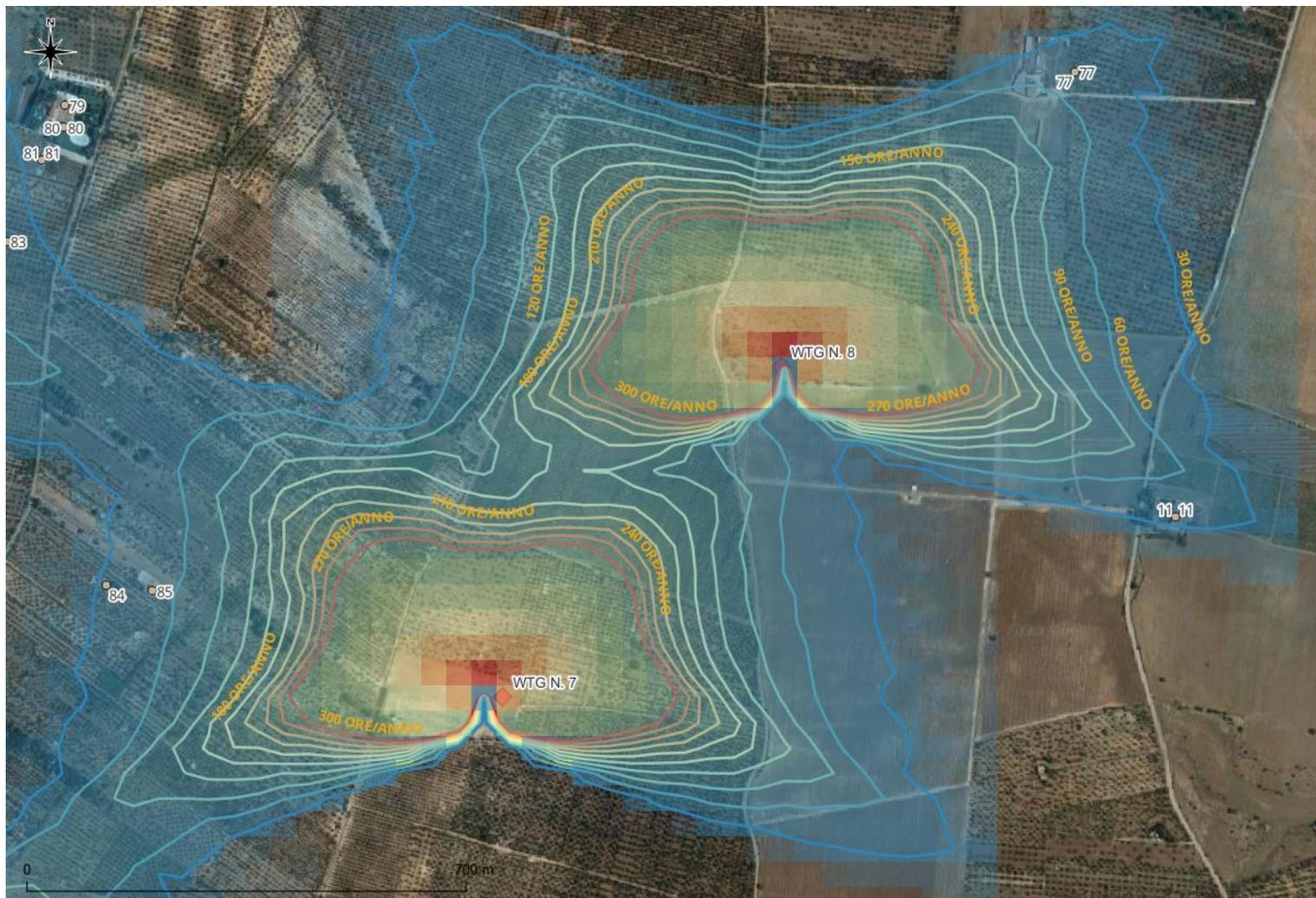


Ore di ombreggiamento annuali e ricettori - WTG 5

Nell'area di shadow flickering indotta dalla WTG 5 sono presenti 3 ricettori con ID 65, 83 e 82 sui quali graveranno ombre per una durata inferiore alle 39 ore/anno.



Nell'area di shadow flickering indotta dalla WTG 06 è presente un ricettore con ID 86, sul quale graverà ombre per una durata inferiore alle 71,5 ore/anno.



Ore di ombreggiamento annuali e ricettori - WTG 7 e WTG 8

Nell'area di shadow flickering indotta dalla WTG 7 sono presenti 2 ricettori, ID 84 e 85, sui quali graveranno ombre per una durata inferiore a 51,25 ore/anno.

Nell'area di shadow flickering indotta dalla WTG 8 sono presenti 2 ricettori, ID 77 e 11, sui quali graveranno ombre per una durata inferiore a 47,5 ore/anno.

Nella tabella seguente si riportano i ricettori sui quali graveranno ombre per più di 50 ore/anno.

Id Ricettore	Ore/anno
111	112,5
110 - 113	91
92	82
118	73,75
86	71,5
112	60,25
93	57,25
85	51,25

Per i ricettori più vicini sono stati elaborati i calendari dell'ombra di ogni WTG per ogni ricettore: dai grafici si evincono le ore e i giorni dell'anno in cui il fenomeno di flickering può verificarsi.

Nel grafico si riporta sull'asse delle ascisse i giorni dell'anno e sull'asse delle ordinate le ore del giorno.

ID 111 – Ombre WTG 01



Calendario dell'ombra ID 111

Il fenomeno di ombreggiamento indotto dalla GN 01 di progetto si può verificare dal 1° gennaio al 25 febbraio e dal 20 Ottobre fino al 31 Dicembre tra le ore 8.00 e le 9.30. Si precisa che la stima del fenomeno è stata effettuata nelle condizioni più sfavorevoli: una stima più approfondita, che tiene conto anche del clima meteorologico (presenza/assenza di sole o di vento), porterebbe ad una riduzione del fenomeno.

ID 110/113 – Ombre WTG 01



Calendario dell'ombra ID 110/113

Il fenomeno di ombreggiamento indotto dalla GN 01 di progetto si può verificare dal 1° gennaio al 15 febbraio e dal 30 Ottobre fino al 31 Dicembre tra le ore 8.00 e le 9.15. Si precisa che la stima del fenomeno è stata effettuata nelle condizioni più sfavorevoli: una stima più approfondita, che tiene conto anche del clima meteorologico (presenza/assenza di sole o di vento), porterebbe ad una riduzione del fenomeno.

ID 92 – Ombre WTG 03

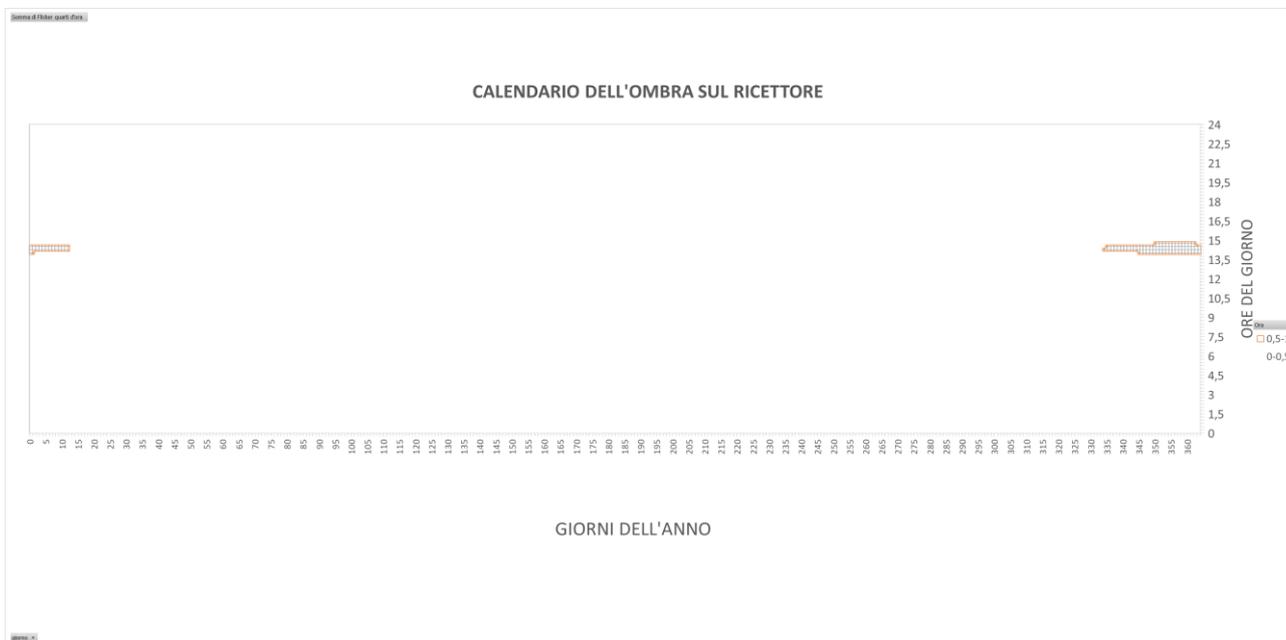


Calendario dell'ombra ID 92

Il fenomeno di ombreggiamento indotto dalla WTG 03 di progetto si può verificare dal 1° gennaio al 25 Gennaio e dal 15 Novembre fino al 31 Dicembre tra le ore 14.00 e le 15.00. Si precisa che la stima del fenomeno è stata

effettuata nelle condizioni più sfavorevoli: una stima più approfondita, che tiene conto anche del clima meteorologico (presenza/assenza di sole o di vento), porterebbe ad una riduzione del fenomeno.

ID 118 – Ombre WTG 01



Calendario dell'ombra ID 118

Il fenomeno di ombreggiamento indotto dalla WTG 01 di progetto si può verificare dal 1 Gennaio al 15 Gennaio e dal 1 Dicembre fino al 31 Dicembre tra le ore 14.00 e le 15.00. Si precisa che la stima del fenomeno è stata effettuata nelle condizioni più sfavorevoli: una stima più approfondita, che tiene conto anche del clima meteorologico (presenza/assenza di sole o di vento), porterebbe ad una riduzione del fenomeno.

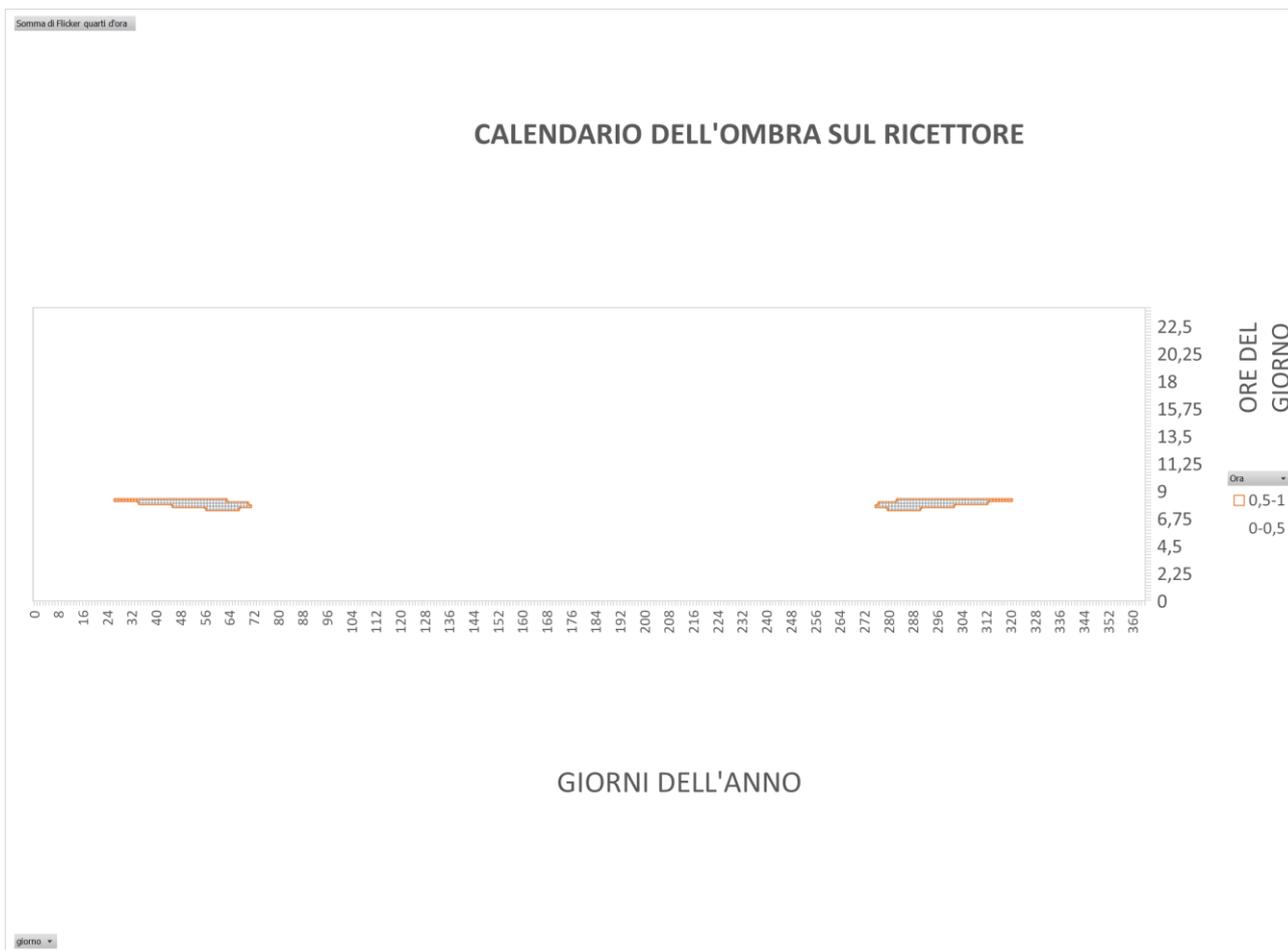
ID 86 – Ombre WTG 06



Calendario dell'ombra ID 86

Il 1 Gennaio al 15 Gennaio e dal 1 Dicembre fino al 31 Dicembre tra le ore 14.00 e le 14.30 e dal 10 Novembre fino al 31 Dicembre tra le ore 14.00 e le 14.30. Si precisa che la stima del fenomeno è stata effettuata nelle condizioni più sfavorevoli: una stima più approfondita, che tiene conto anche del clima meteorologico (presenza/assenza di sole o di vento), porterebbe ad una riduzione del fenomeno.

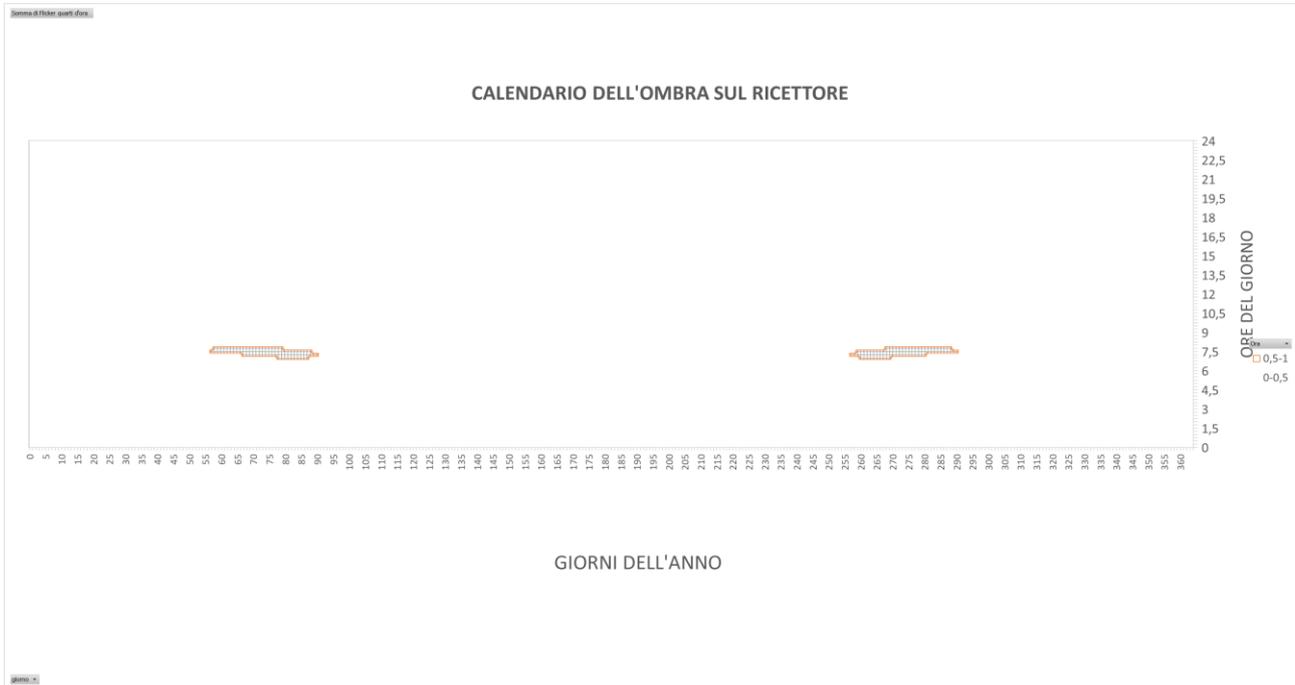
ID 93 – Ombre WTG 03



Calendario dell'ombra ID 93

Il fenomeno di ombreggiamento indotto dalla WTG 03 di progetto si può verificare dal 1 Febbraio al 20 marzo e tra il 15 Settembre e il 20 Novembre tra le ore 7.00 e le 8.30. Si precisa che la stima del fenomeno è stata effettuata nelle condizioni più sfavorevoli: una stima più approfondita, che tiene conto anche del clima meteorologico (presenza/assenza di sole o di vento), porterebbe ad una riduzione del fenomeno.

ID 85 – Ombre WTG 07



Calendario dell'ombra ID 85

Il fenomeno di ombreggiamento indotto dalla WTG 07 di progetto si può verificare dal 24 Febbraio al 30 Marzo e dal 15 Settembre al 15 ottobre tra le ore 6.30 e le 8.30. Si precisa che la stima del fenomeno è stata effettuata nelle condizioni più sfavorevoli: una stima più approfondita, che tiene conto anche del clima meteorologico (presenza/assenza di sole o di vento), porterebbe ad una riduzione del fenomeno.

Dall'analisi delle immagini si conclude che:

- Il ricevitore ID 11 sarà oggetto di fenomeno di shadow flickering per meno di 112,5 ore/anno;
- Il ricevitore ID 110/113 sarà oggetto di fenomeno di shadow flickering per meno di 91 ore/anno;
- Il ricevitore ID 92 sarà oggetto di fenomeno di shadow flickering per meno di 82 ore/anno;
- Il ricevitore ID 118 sarà oggetto di fenomeno di shadow flickering per meno di 73,75 ore/anno;
- Il ricevitore ID 86 sarà oggetto di fenomeno di shadow flickering per meno di 71,5 ore/anno;
- Il ricevitore ID 112 sarà oggetto di fenomeno di shadow flickering per meno di 60,25 ore/anno;
- Il ricevitore ID 93 sarà oggetto di fenomeno di shadow flickering per meno di 57,25 ore/anno;
- Il ricevitore ID 85 sarà oggetto di fenomeno di shadow flickering per meno di 51,25 ore/anno;
- Tutti gli altri ricevitori saranno oggetto di fenomeno di shadow flickering per meno di 50 ore/anno;
- Dai calendari delle ombre riportati si evince come per tutti il fenomeno potrà avvenire esclusivamente di prima mattina o nel tardo pomeriggio, quando l'intensità della luce solare è minore.

Su tutti i ricevitori individuati, solamente per 9 potrà verificarsi il fenomeno di Shadow Flickering per un numero di ore apprezzabile, sia pure estremamente contenuto.

Al fine di valutare i risultati del calcolo, si tenga in fatti presente:

- che la stima è stata effettuata nell'ipotesi che il rotore sia sempre ortogonale alla direzione di provenienza dei raggi solari
- trascurando il fatto che in giornate nuvolose il fenomeno non è apprezzabile.

Si può quindi escludere che le opere in progetto apportino un significativo disturbo da shadow flickering sia alla viabilità che agli edifici individuati come ricettori.