



## Studio dell'evoluzione dell'ombra

Progetto definitivo

Impianto eolico in agro di Ginosa

Comune di Ginosa (TA)

Località Corvellara e Cipolluzzo

n. Rev.	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato	IT/EOL/E-GINO/PDF/A/RS/51-a
a	Prima emissione	Ing. Flavia Blasi Ord. Ing. Bari n. 11131 STIM Engineering S.r.l.	Ing. Gabriele Conversano Ord. Ing. Bari n. 8844 STIM Engineering S.r.l.	Ing. Massimo Candeo Ord. Ing. Bari n. 3755 STIM Engineering s.r.l.	21/07/2023 Corso Vittorio Emanuele II, 6 10128 Torino - Italia asja.ginosa@pec.it



## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>SHADOW FLICKERING.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>ANALISI DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA DI UN AEROGENERATORE .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>CALCOLO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA PER GLI AEROGENERATORI IN PROGETTO .....</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>OMBREGGIAMENTO A CARICO DEI RICETTORI .....</b>	<b>10</b>

## 1 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

La presente proposta progettuale è finalizzata alla realizzazione di un impianto eolico per la produzione industriale di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica, costituito da:

- **12** aerogeneratori tripala (WTG) ad asse orizzontale, ciascuno di potenza nominale pari a **6,6 MW**, per una potenza elettrica complessiva pari a **79,2 MW**,

da realizzarsi in agro del Comune di Ginosa (TA).

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

## 2 SHADOW FLICKERING

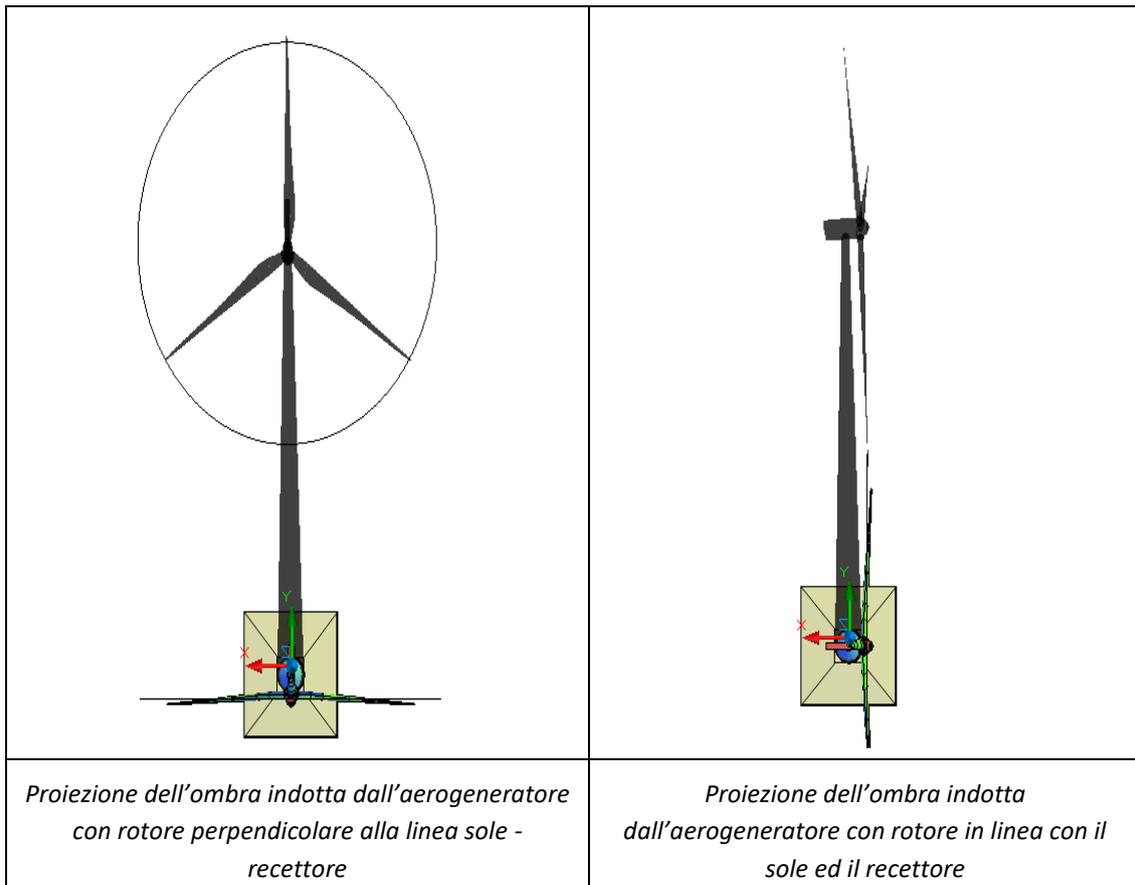
Lo *shadow flickering* consiste in una variazione periodica dell'intensità luminosa solare causata dalla proiezione, su una superficie, dell'ombra indotta da oggetti in movimento.

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:

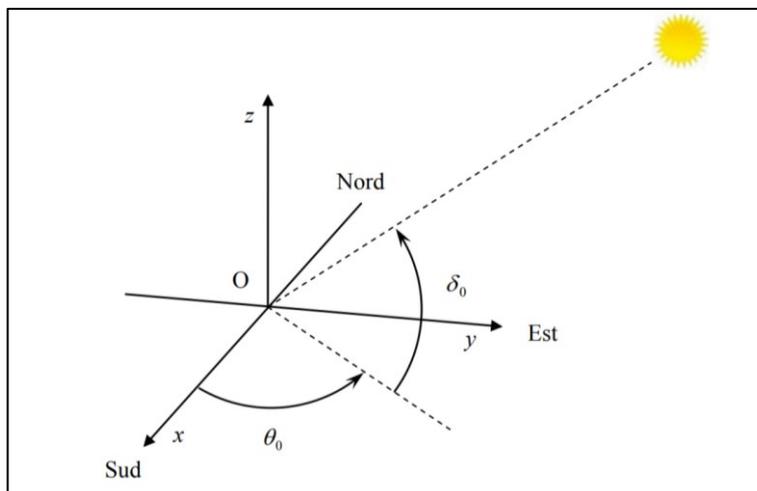
- si sia in presenza di un livello sufficiente di intensità luminosa, ossia in condizioni di cielo sereno sgombro da nubi ed in assenza di nebbia e con sole alto rispetto all'orizzonte;
- la linea recettore-aerogeneratore non incontri ostacoli: in presenza di vegetazione o edifici interposti l'ombra 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.



### 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"  $\delta_0$  e  $\theta_0$ , rispetto ad un riferimento cartesiano:

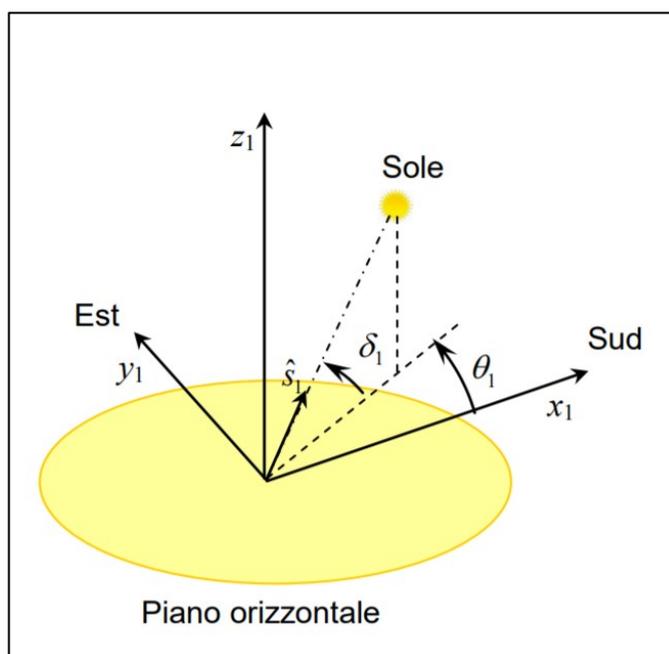
- il cui asse z è parallelo all'asse terrestre
- il cui piano (x.y) è parallelo al piano equatoriale;
- la direzione x punta da Nord verso Sud e la direzione y da Ovest verso Est.



### 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  $\delta_1$  e  $\theta_1$  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  $\delta_1$  e  $\theta_1$  che definiscono la posizione del sole rispetto al riferimento locale.

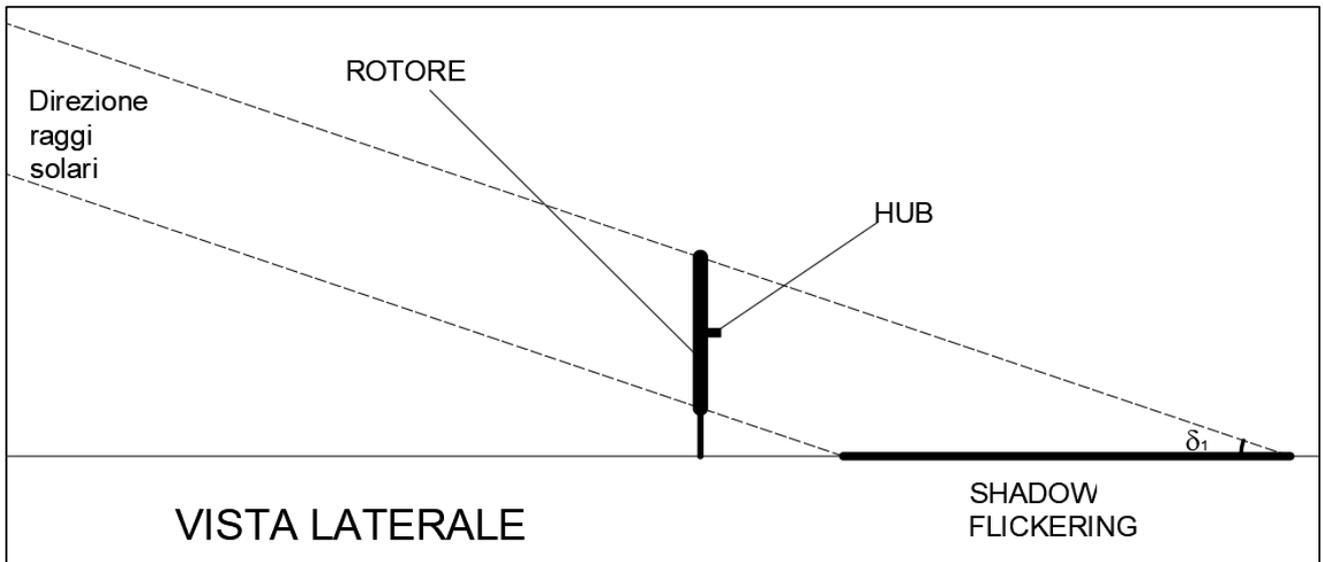
Nota la posizione del sole e le caratteristiche geometriche dell'aerogeneratore (altezza all'HUB, diametro del rotore), è possibile definire l'area in cui si osserverà il fenomeno dello shadow flickering, che è coincidente con la proiezione al suolo del rotore secondo la direzione di origine dei raggi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

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

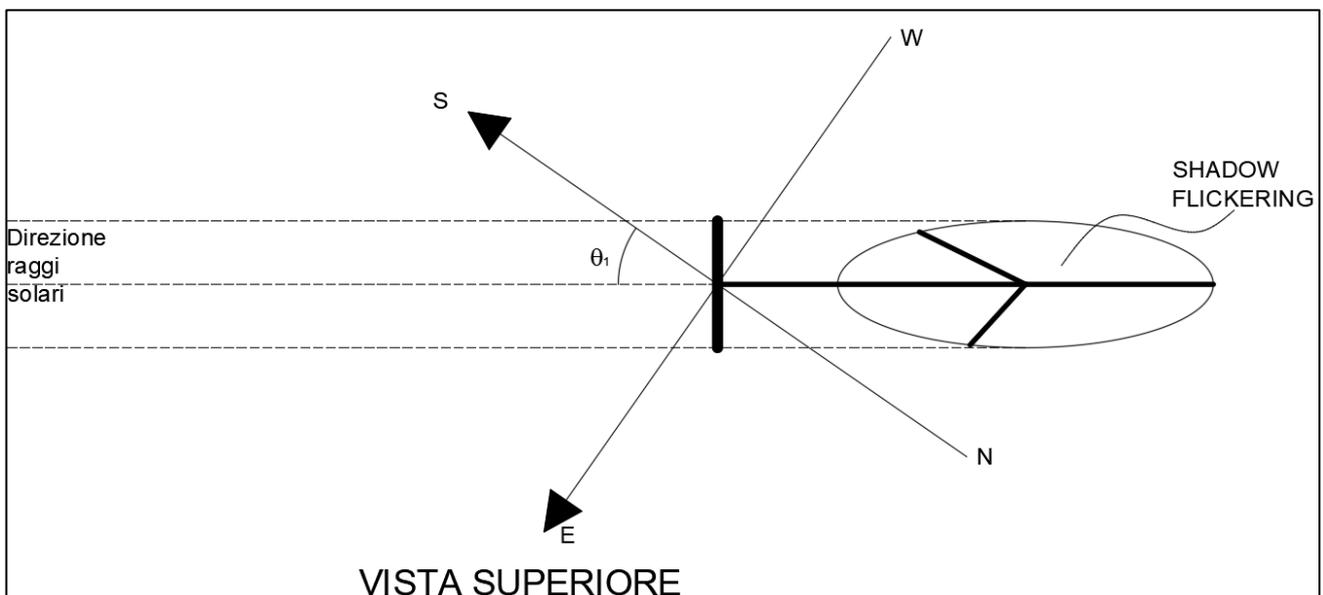
- rotore perfettamente perpendicolare alla direzione di provenienza dei raggi solari e
- terreno orizzontale,

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  $\delta_1$ .

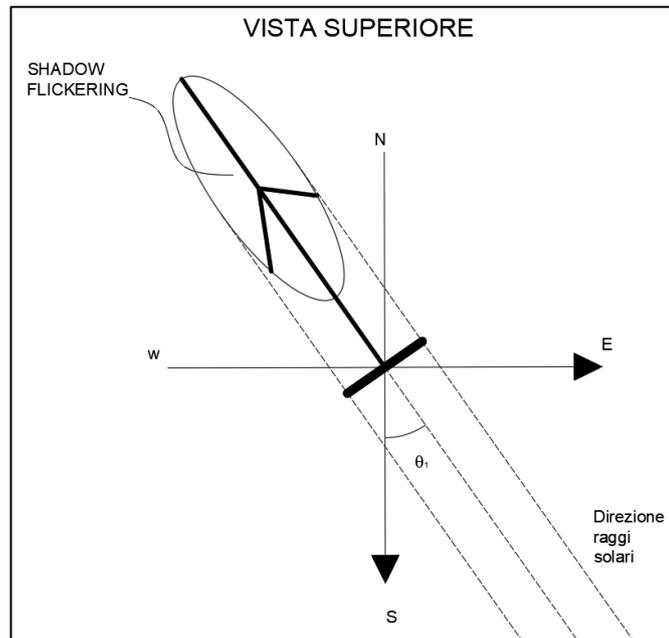


Vista laterale (rispetto al rotore) del fenomeno di shadow flickering



Vista superiore del fenomeno di shadow flickering

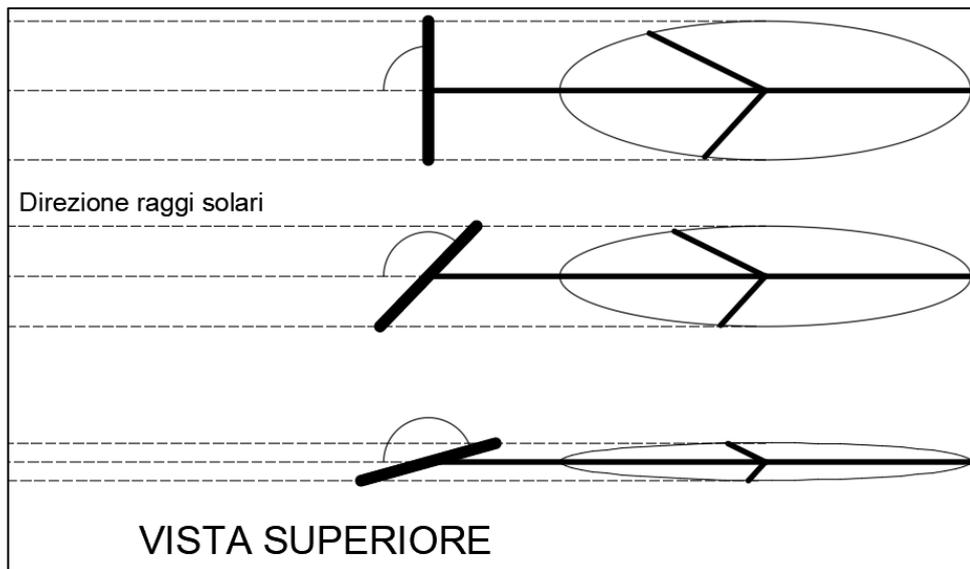
Ovviamente la vista precedente può anche essere resa, per sola chiarezza grafica e senza che nulla cambi nella sostanza, con gli assi cartesiani locali orientati secondo le direzioni orizzontale e verticale



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

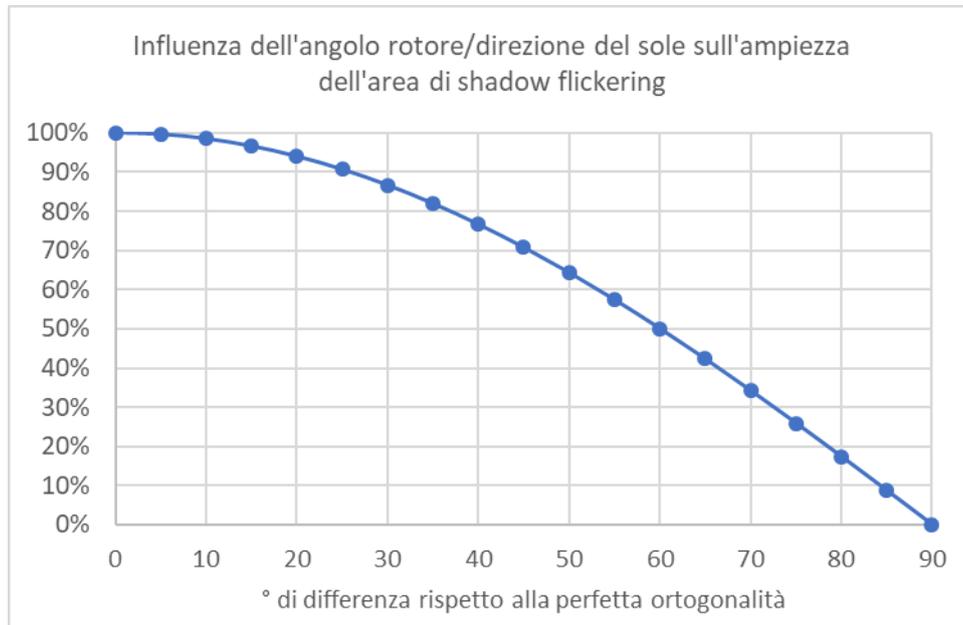
Si consideri adesso che l'ipotesi di perfetta perpendicolarità del rotore con la direzione di provenienza dei raggi solari è una ipotesi fortemente cautelativa, dal momento che, come è noto, il rotore è orientato rispetto alla direzione di provenienza del vento che non coincide, se non casualmente, con 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  $\delta_1$  e  $\theta_1$ ) 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:

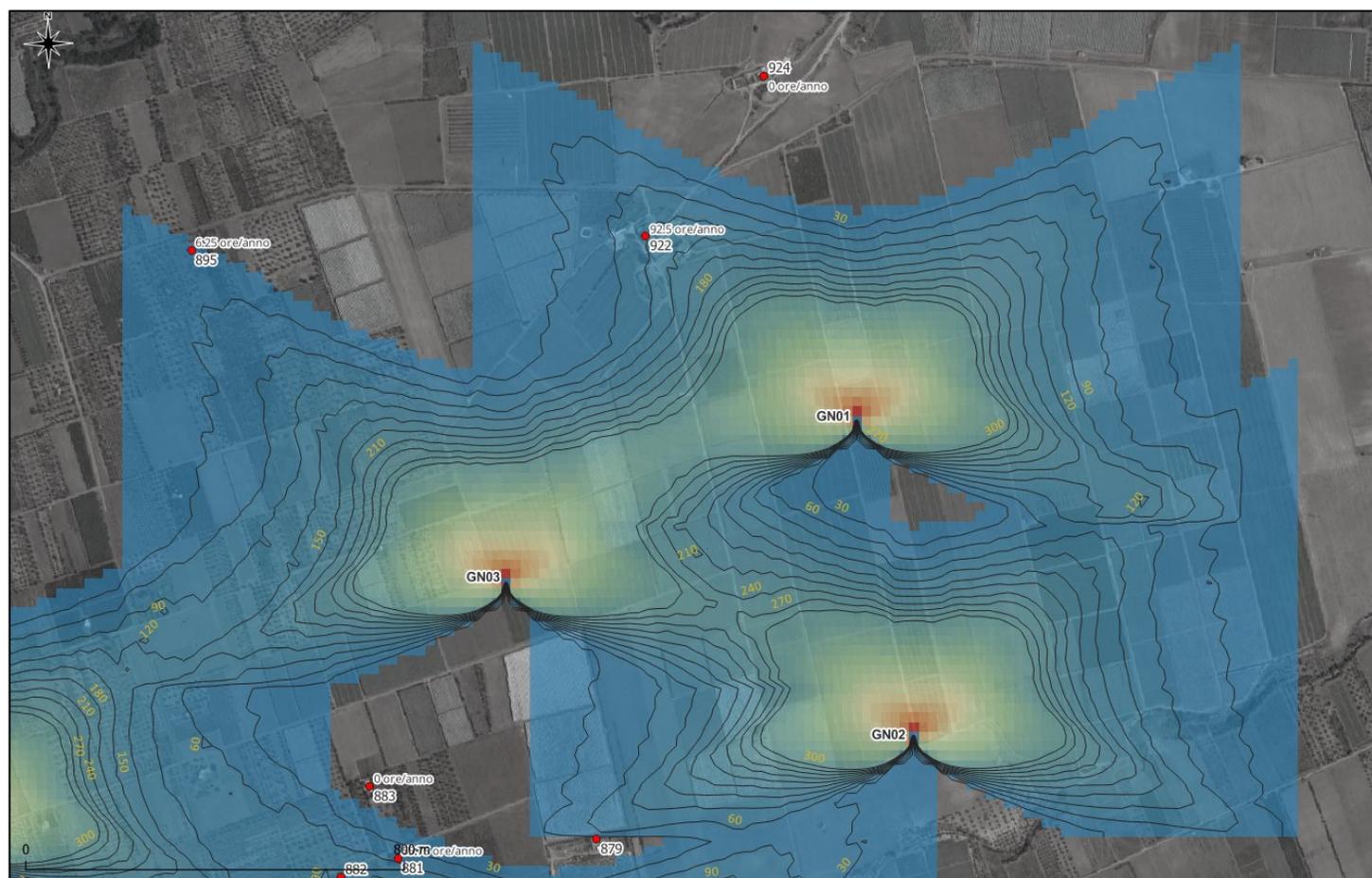
Latitudine: 40,52929°

Altezza HUB: 135 m

Diametro rotore: 170 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.

## 5 OMBREGGIAMENTO A CARICO DEI RICETTORI

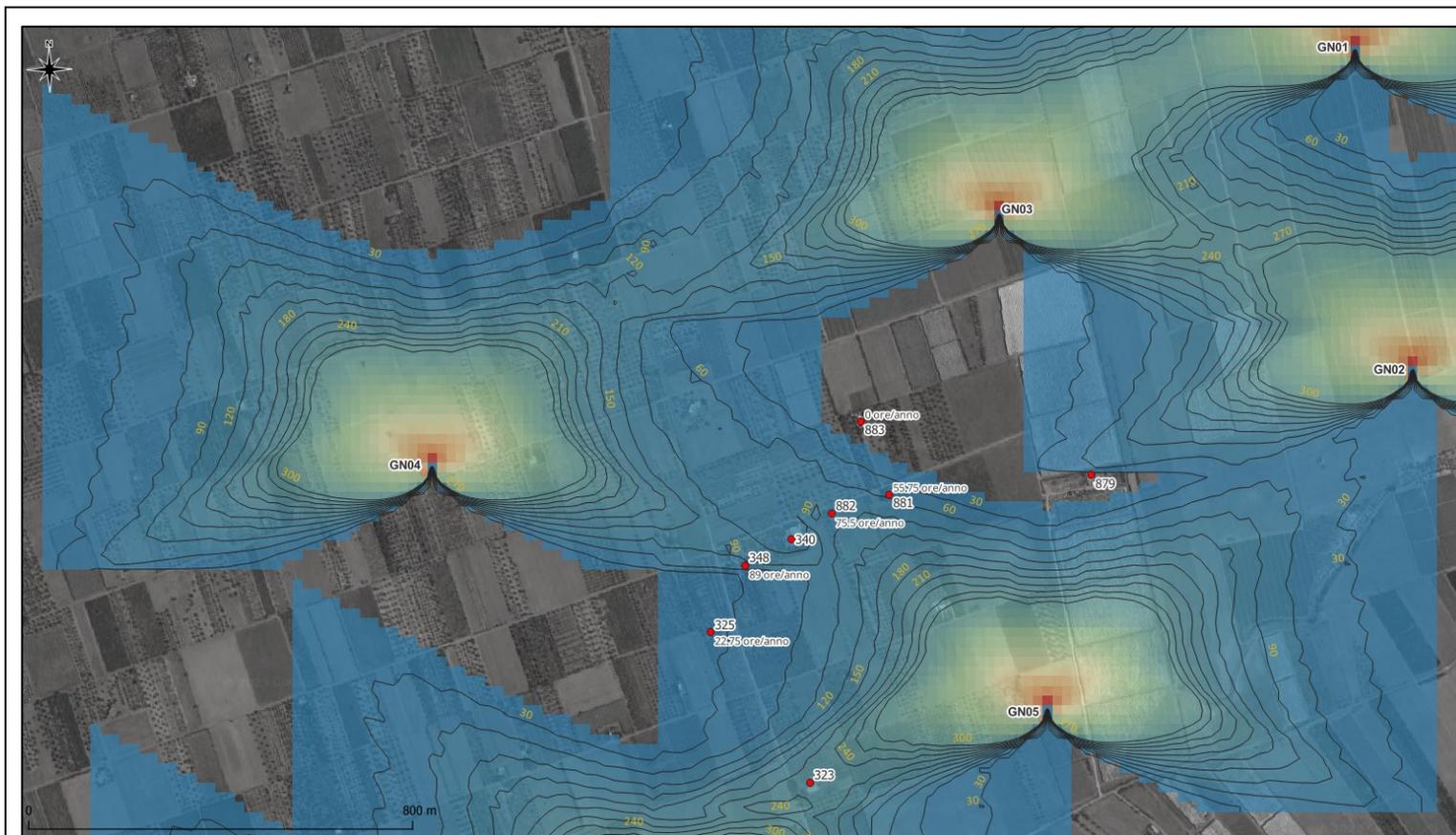


Ore di ombreggiamento annuali e ricettori - WTG 1, WTG 2 e WTG 3

Nell'area di shadow flickering indotta dalla GN01 è presente un unico edificio "ID 922", sul quale graveranno ombre per una durata inferiore a 92.5 ore/anno.

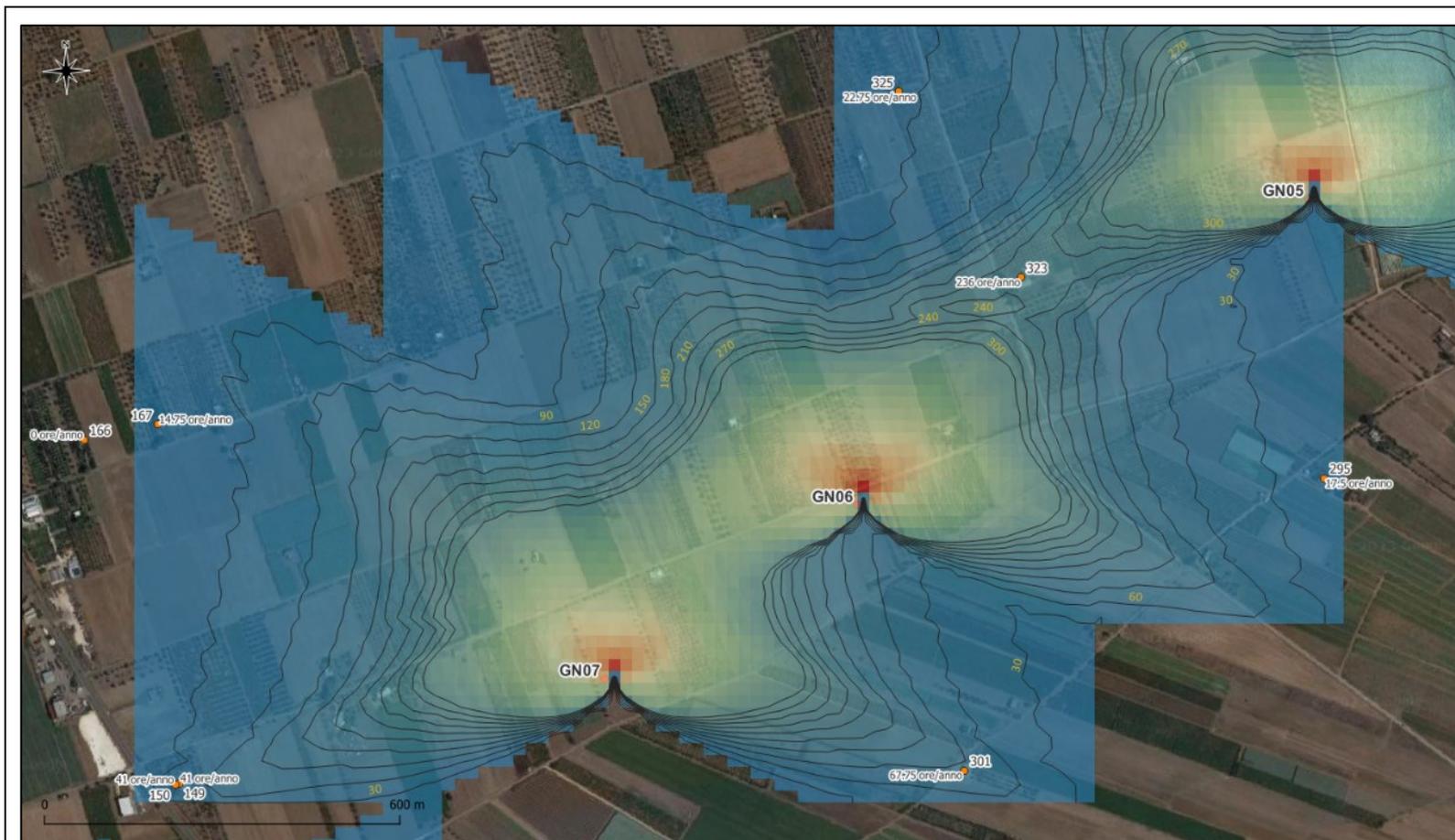
Nell'area di shadow flickering indotta dalla GN03 è presente un unico edificio "ID 895", sul quale graveranno ombre per una durata irrisoria inferiore alle 6 ore/anno.

Non ci sono edifici nell'area di shadow flickering indotta dalla GN02.



Ore di ombreggiamento annuali e ricettori - WTG 4 e WTG 5

Nell'area di shadow flickering indotte dalle GN04 e GN05 sono presenti i ricettori con ID 881,882,340,348,325 sui quali graveranno ombre per una durata irrisoria inferiore alle 89 ore/anno.



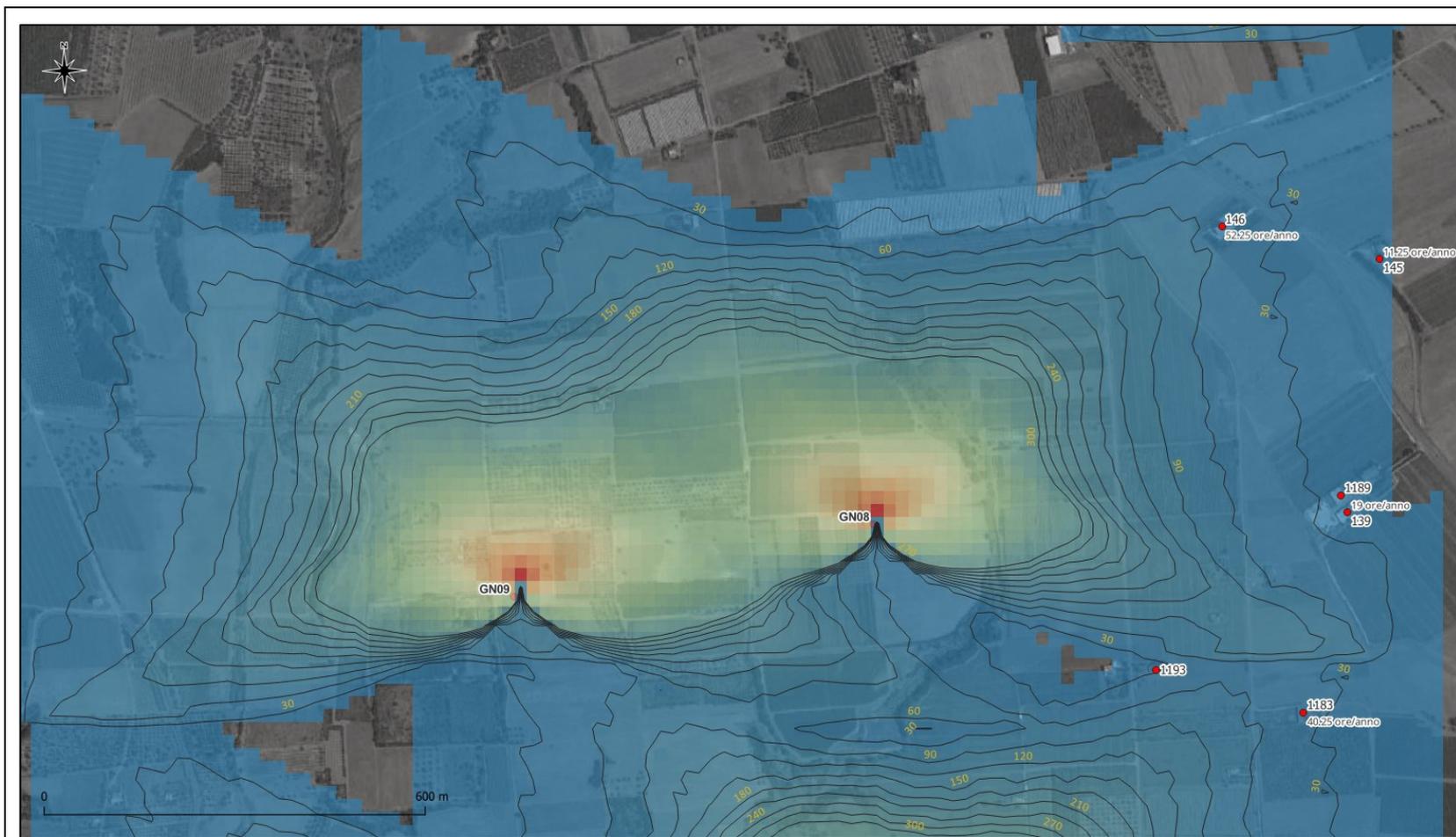
Ore di ombreggiamento annuali e ricettori - WTG 6 e WTG 7

Nell'area di shadow flickering indotte dalle GN06 e GN07 sono presenti i ricettori:

- ID 323, sul quale graveranno ombre per una durata di circa 236 ore/anno da parte di GN06 e GN05;

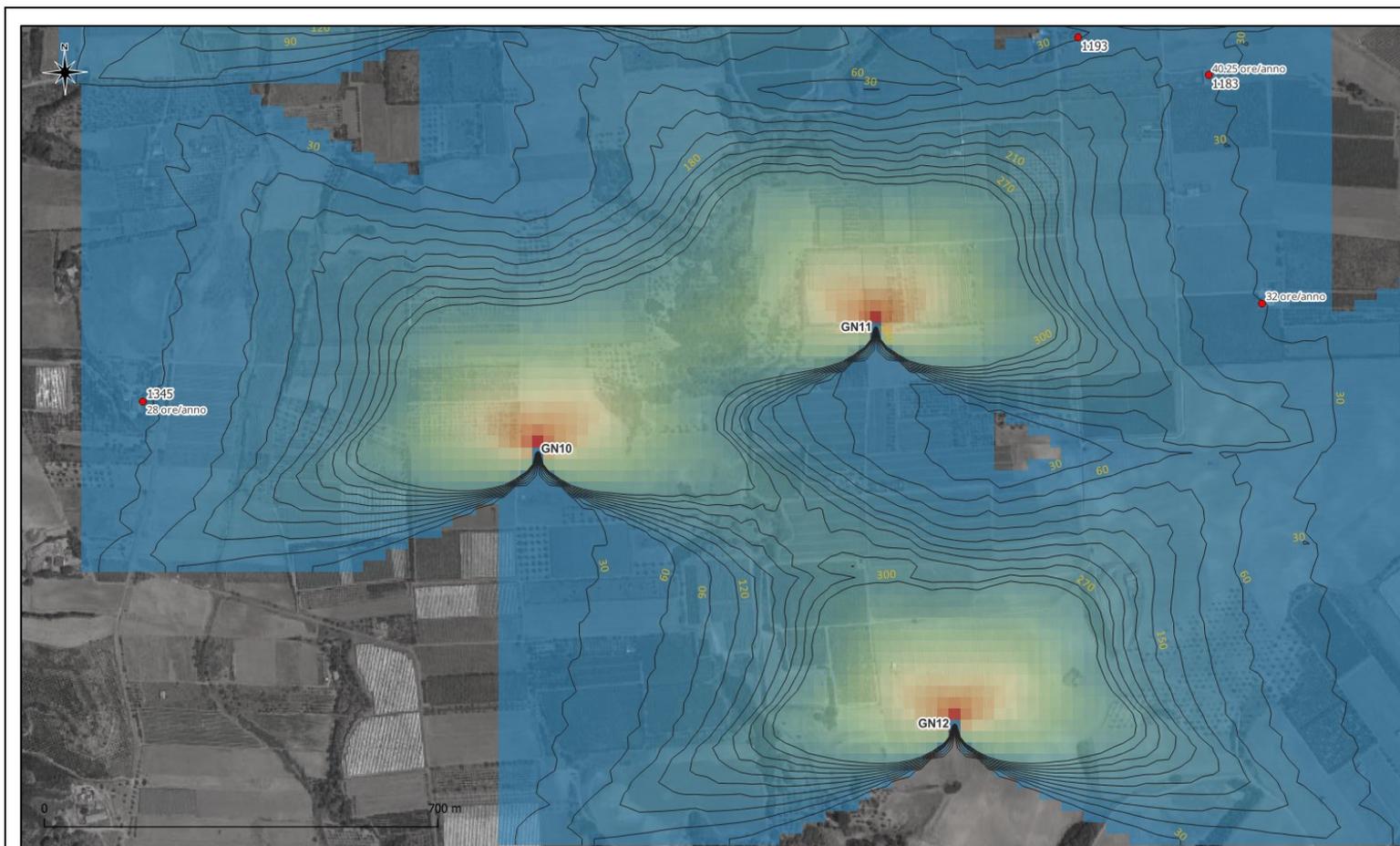
- ID 301 sul quale graveranno ombre per una durata inferiore alle 68 ore/anno;

- ID 167, 295, 167, 140, 150 sui quali graveranno ombre per una durata inferiore alle 40 ore/anno.



Ore di ombreggiamento annuali e ricettori - WTG 8 e WTG 9

Nell'area di shadow flickering indotte dalle GN08 e GN09 sono presenti i ricettori con ID 145,146 1189 e 1193 sui quali graveranno ombre per una durata inferiore alle 50 ore/anno.



Ore di ombreggiamento annuali e ricettori - WTG 10, WTG 11 e WTG 12

Nell'area di shadow flickering indotte dalle GN08 e GN09 sono presenti i ricettori con ID 1183, 1345, sui quali graveranno ombre per una durata inferiore alle 40 ore/anno.

Per i ricettori più vicino 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 922 – Ombre GN 01**



*Calendario dell'ombra ID 922*

Il fenomeno di ombreggiamento indotto dalla GN 01 di progetto si può verificare dal 1° gennaio al 15 febbraio e dal 1 Novembre fino al 31 Dicembre tra le ore 8.30 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 881 – Ombre GN 04**



*Calendario dell'ombra ID 881*

Il fenomeno di ombreggiamento indotto dalla GN 04 di progetto si può verificare dal 5 aprile al 20 aprile e dal 20 Luglio fino al 15 Agosto tra le ore 17.30 e le 18.30. 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.

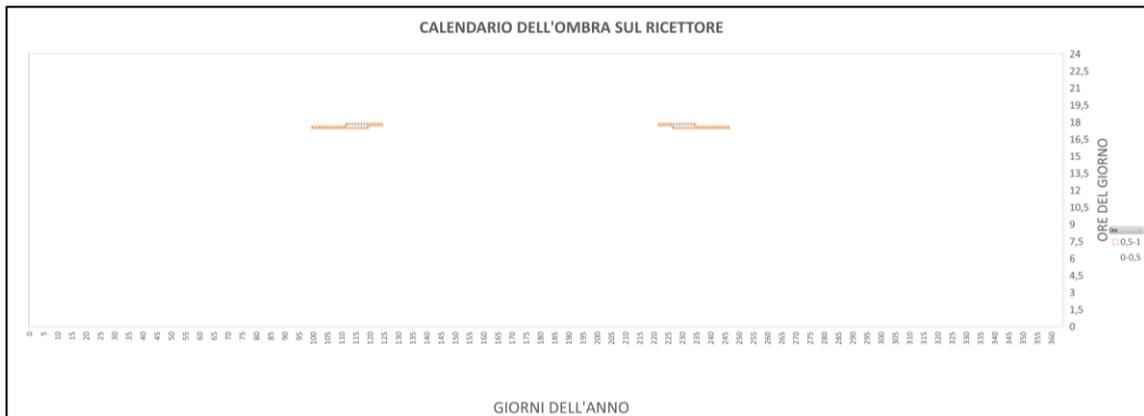
**ID 881 – Ombre GN 05**



*Calendario dell'ombra ID 881*

Il fenomeno di ombreggiamento indotto dalla GN 04 di progetto si può verificare dal 1° gennaio al 15 febbraio e dal 1 Novembre fino al 31 Dicembre tra le ore 8.30 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.

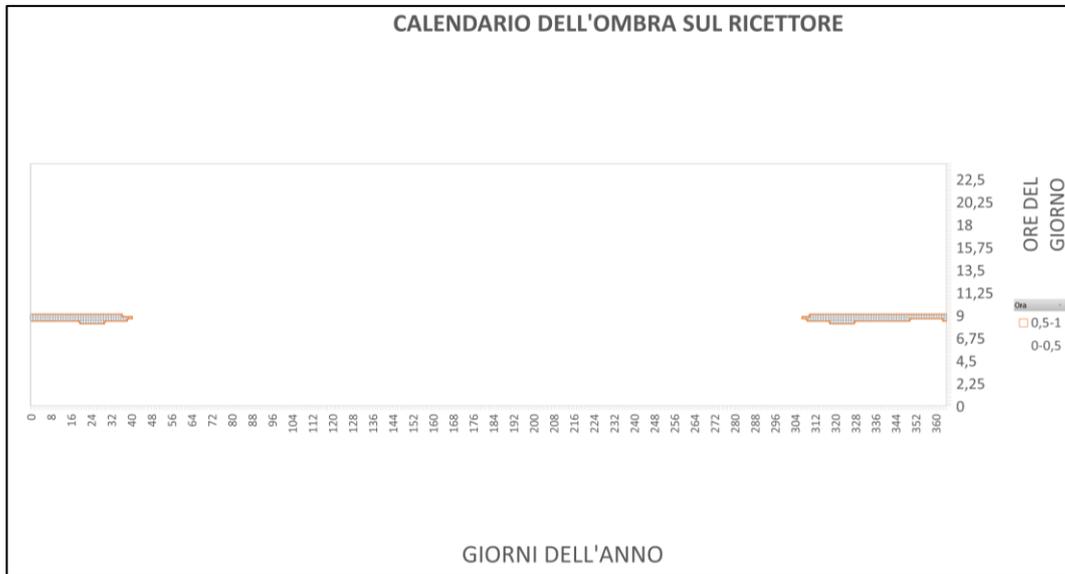
**ID 882 – Ombre GN 04**



*Calendario dell'ombra ID 882*

Il fenomeno di ombreggiamento indotto dalla GN 04 di progetto si può verificare dal 5 aprile al 20 Maggio e dal 20 Luglio fino al 20 Agosto tra le ore 17.30 e le 18.30. 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.

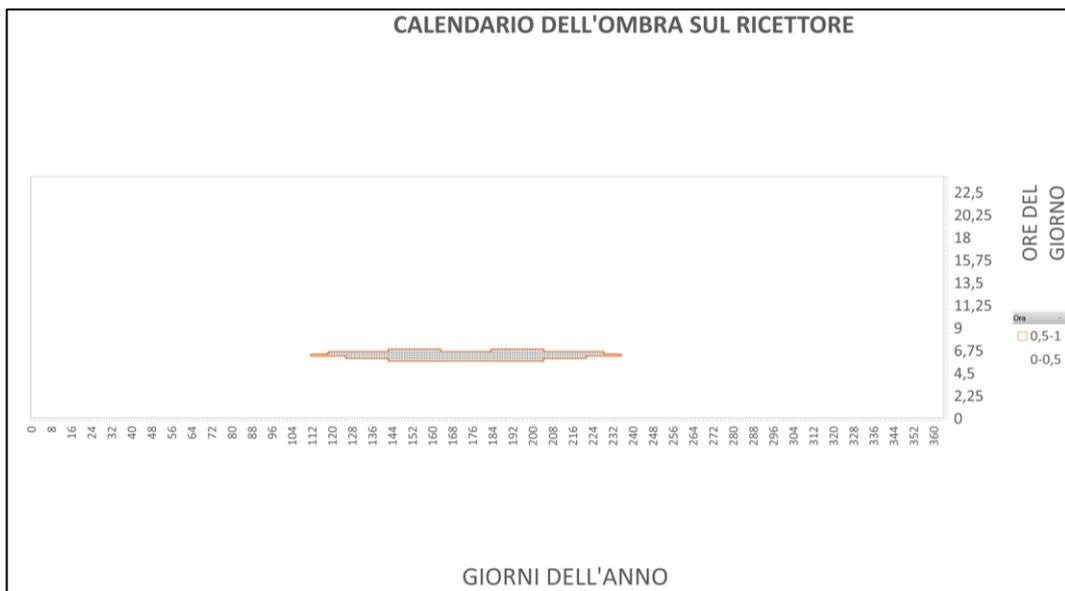
**ID 882 – Ombre GN 05**



*Calendario dell'ombra ID 882*

Il fenomeno di ombreggiamento indotto dalla GN 04 di progetto si può verificare dal 1° gennaio al 15 febbraio e dal 12 Novembre fino al 31 Dicembre tra le ore 8.30 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 323 – Ombre GN 05**

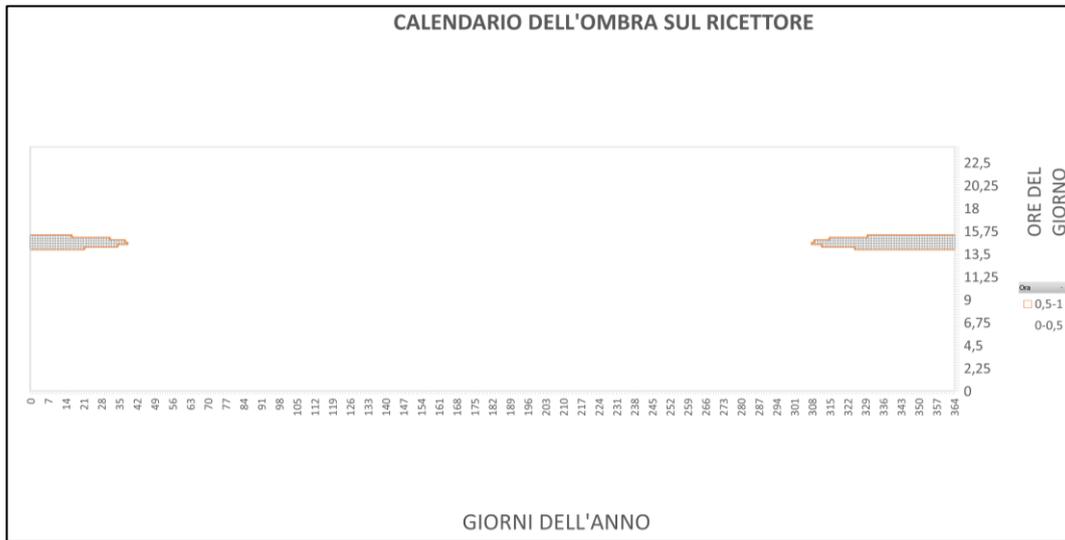


*Calendario dell'ombra ID 323*

Il fenomeno di ombreggiamento indotto dalla GN 04 di progetto si può verificare dal 15 aprile al 30 Luglio tra le ore 4.30 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.

**ID 323 – Ombre GN 06**



*Calendario dell'ombra ID 323*

Il fenomeno di ombreggiamento indotto dalla GN 04 di progetto si può verificare dal 1° gennaio al 10 febbraio e dal 5 Novembre fino al 31 Dicembre tra le ore 13.30 e le 15.45. 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.

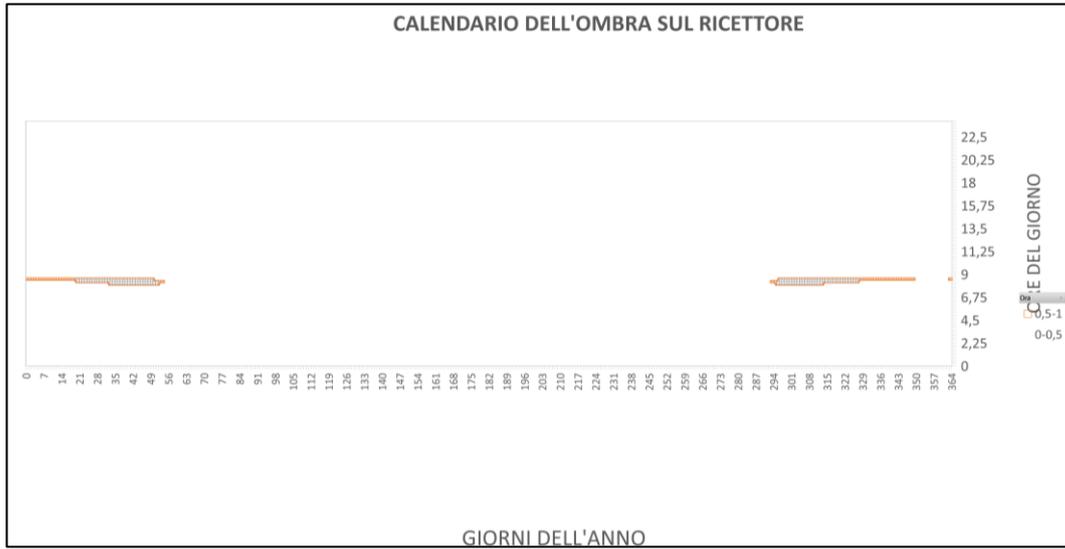


*Calendario dell'ombra ID 340*

Il fenomeno di ombreggiamento indotto dalla GN 04 di progetto si può verificare dal 20 aprile al 30 Maggio e dal 15 Luglio fino al 30 Agosto tra le ore 17.30 e le 18.30. 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 340– Ombre GN 05**



*Calendario dell'ombra ID 340*

Il fenomeno di ombreggiamento indotto dalla GN 05 di progetto si può verificare dal 1 gennaio al 20 Febbraio e dal 15 ottobre fino al 15 Dicembre tra le ore 7.45 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 348– Ombre GN 04**



*Calendario dell'ombra ID 348*

Il fenomeno di ombreggiamento indotto dalla GN 04 di progetto si può verificare dal 10 Maggio al 30 Luglio tra le ore 17.30 e le 19.30. 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 348– Ombre GN 05



*Calendario dell'ombra ID 348*

Il fenomeno di ombreggiamento indotto dalla GN 05 di progetto si può verificare dal 1 febbraio al 15 Marzo e dal 15 ottobre fino al 15 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.

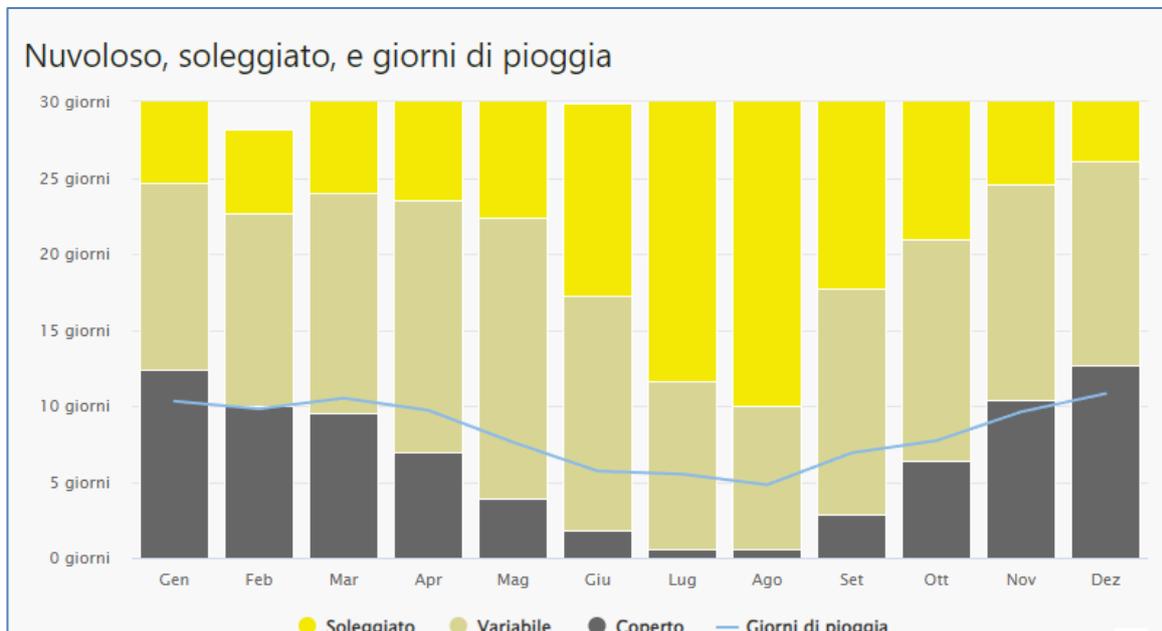
Dall'analisi delle immagini si conclude che:

- Il ricevitore ID 323 sarà oggetto di fenomeno di shadow flickering per meno di 240 ore/anno;
- Il ricevitore ID 922 sarà oggetto di fenomeno di shadow flickering per meno di 95 ore/anno;
- Tutti gli altri ricevitori saranno oggetto di fenomeno di shadow flickering per meno di 40 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.

**Il fenomeno di shadow flickering si potrebbe verificare esclusivamente su 21 ricevitori individuati. Di questi solamente per 2 (ID 323, ID 922) potrà verificarsi 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.
- Che in questa relazione si è mostrato come



Media dei giorni di sole o nuvolosi per Ginosa (fonte meteoblue.com)

Sulla base del grafico precedente si può quindi costruire la seguente tabella dei giorni in cui il fenomeno dello shadow flickering non si verifica a causa delle condizioni meteo (considerando come giorni di assenza di shadow flickering i giorni nuvolosi ed il 40% dei giorni con copertura variabile)

	Giorni nuvolosi	Giorni con copertura nuvolosa variabile	Giorni in cui non si verifica lo shadow flickering
Gennaio	12.4	12.3	17.3
Febbraio	10.0	12.7	15.1
Marzo	9.5	14.5	15.3
Aprile	7.0	16.5	13.6
Maggio	3.9	18.5	11.3
Giugno	1.8	15.4	8.0
Luglio	0.6	11.0	5.0
Agosto	0.6	9.4	4.4
Settembre	2.9	14.8	8.8
Ottobre	6.4	14.6	12.2
Novembre	10.4	14.2	16.1
Dicembre	12.7	13.4	18.1
<b>TOTALE</b>			<b>145.1</b>

Si conclude quindi che rimangono circa 220 giorni in un anno in cui può verificarsi il fenomeno dello shadow flickering. Rapportando questo dato alle 236 ore di shadow flickering sul ricevitore più esposto, si ottiene una stima – comunque ancora per eccesso - di circa 142 ore di shadow flickering durante l'anno.

**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.**