

- biogas ●
- biometano ●
- eolico ●
- fotovoltaico ●
- efficienza energetica ●
- waste to chemical ●

# Studio dell'evoluzione dell'ombra: shadow flickering

Progetto definitivo

Impianto eolico "Parco Eolico di Calitri"  
Comuni di Calitri e Bisaccia (AV)  
Località Luzzano

| N. REV. | DESCRIZIONE | ELABORATO       | CONTROLLATO      | APPROVATO                                    |
|---------|-------------|-----------------|------------------|--|
| 0       | Emissione   | Arianna Rolando | Filippo Gagliano | Vincenzo Pace<br>Parco Eolico Calitri s.r.l. |

IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a  
28/02/2024  
Via Ivrea, 70 (To) Italia  
T +39 011.9579211  
F +39 011.9579241  
info@asja.energy

**PARCO EOLICO**  
di CALITRI



|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO</b><br><b>di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:<br>SHADOW FLICKERING           | <b>PAGINA</b><br>2 di 25                              |

## INDICE

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | PREMESSA .....  | 3  |
| 2   | DESCRIZIONE DEL FENOMENO .....                                | 5  |
| 3   | ANALISI DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA DI UN AEROGENERATORE ..... | 7  |
| 4   | CALCOLO DELLO SHADOW FLICKERING .....                         | 10 |
| 4.1 | Scenario peggiore (worst case).....                           | 10 |
| 4.2 | Scenario reale (real case) .....                              | 11 |
| 5   | INDIVIDUAZIONE DEI RICETTORI .....                            | 12 |
| 6   | RISULTATI .....   | 15 |
|     | ALLEGATO.....   | 25 |

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:<br>SHADOW FLICKERING           | <b>PAGINA</b><br>3 di 25                              |

## 1 PREMESSA

La Società Parco Eolico di Calitri s.r.l., con sede operativa in Via Ivrea, 70 a Rivoli (TO), intende realizzare la modifica del progetto di un impianto eolico autorizzato con la sostituzione degli attuali 17 aerogeneratori di potenza unitaria pari a 2,3 MW con 6 aerogeneratori, della potenza unitaria di 6,2 MW, per una potenza totale definitiva di 37,2 MW, da realizzarsi nel Comune di Calitri (AV) in località Luzzano e delle relative infrastrutture di connessione alla RTN, da realizzare nel Comune di Calitri (AV) e Bisaccia (AV).

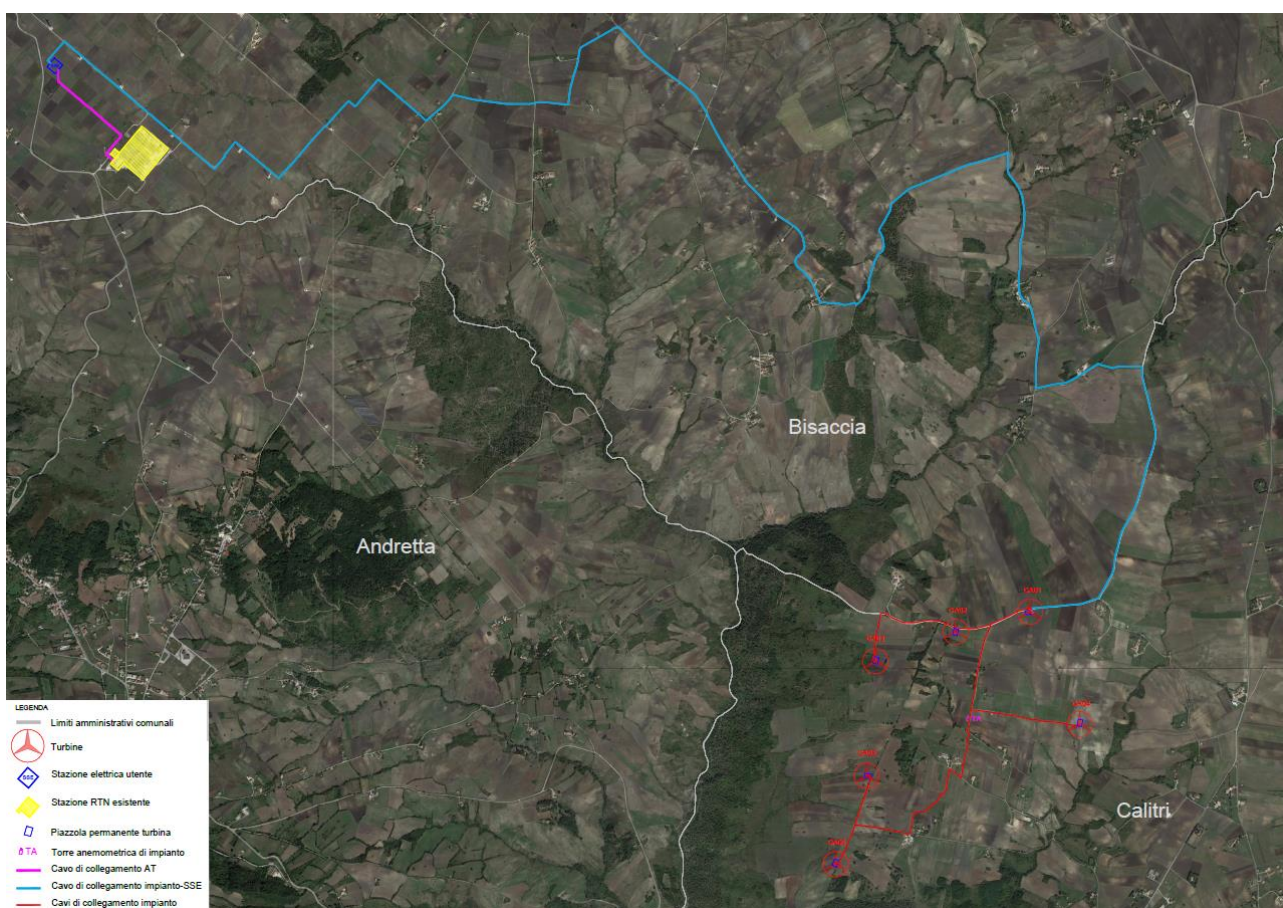


Figura 1 – Inquadramento impianto su ortofoto.

|      | Riferimenti catastali |        |            | Coordinate UTM WGS84 (Fuso 33) |           |
|------|-----------------------|--------|------------|--------------------------------|-----------|
|      | Comune                | Foglio | Particella | Est                            | Nord      |
| CA01 | Calitri               | 11     | 90-91      | 533.566                        | 4.532.955 |
| CA02 | Calitri               | 11     | 2-3        | 533.069                        | 4.532.822 |

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO<br/>di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:<br>SHADOW FLICKERING           | <b>PAGINA</b><br>4 di 25                              |

|      |         |    |     |         |           |
|------|---------|----|-----|---------|-----------|
| CA03 | Calitri | 10 | 115 | 532.534 | 4.532.625 |
| CA04 | Calitri | 16 | 76  | 533.898 | 4.532.206 |
| CA05 | Calitri | 10 | 32  | 532.476 | 4.531.861 |
| CA06 | Calitri | 10 | 44  | 532.269 | 4.531.270 |
| TA   | Calitri | 11 | 371 | 533.154 | 4.532.254 |

*Tabella 1 – Posizione aerogeneratori e torre anemometrica.*

La presente relazione ha lo scopo di valutare il potenziale disturbo da ombreggiamento intermittente (shadow flickering) sui potenziali ricettori individuati nell'area interessata dal proposto impianto eolico, entro una distanza indicativa di 1000 metri dagli aerogeneratori.

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO</b><br><b>di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:<br>SHADOW FLICKERING           | <b>PAGINA</b><br>5 di 25                              |

## 2 DESCRIZIONE DEL FENOMENO

Qualsiasi ostacolo solido opaco posto tra il sole e il terreno genera un'ombra che si proietta al suolo in funzione del movimento relativo del sole sull'orizzonte. Le dimensioni dell'ombra proiettata dipendono in modo inversamente proporzionale all'angolo sull'orizzonte dei raggi del sole. Per tale ragione all'alba ed al tramonto si ottiene la massima dimensione dell'ombra mentre la minima elongazione dell'ombra sul terreno si verifica quando il sole raggiunge la massima altezza, ovvero a mezzogiorno.

Anche gli aerogeneratori, in presenza di cielo limpido e soleggiato, proiettano un'ombra che in parte è fissa (torre e navicella) e in parte è in movimento (pale del rotore). Se l'ombra del rotore invece che sul terreno si proietta sulle aperture di un ricettore può generarsi l'effetto di ombra intermittente o shadow flickering (sfarfallio dell'ombra). Tale fenomeno si manifesta in una variazione ciclica dell'intensità luminosa, dovuta al continuo alternarsi di luce diretta ed ombra, e può potenzialmente essere all'origine di un disturbo alle normali attività che possono svolgersi all'interno dell'ambiente abitativo.

Per le ragioni appena descritte, per recettori posti a una distanza dagli aerogeneratori superiore a circa 300 metri solitamente il fenomeno di shadow flickering si manifesta all'alba o al tramonto, quando le ombre proiettate sono sufficientemente lunghe. Inoltre si deve considerare che a distanze elevate le ombre proiettate risulteranno "fuori-fuoco". Ciò non è causa di un'intensità inferiore dello shadow flickering ma contribuisce a rendere meno distinto il fenomeno.

Inoltre tale fenomeno si verifica quando:

- si è in presenza di un livello sufficiente di intensità luminosa, ossia in condizioni di cielo sereno sgombro da nubi ed in assenza di nebbia;
- si è in assenza di ostacoli interposti nella linea ricettore-aerogeneratore. Infatti, in presenza di vegetazione o edifici interposti, l'ombra generata da quest'ultimi annulla il fenomeno. A titolo puramente esemplificativo perché si generi il fenomeno di shadow flickering presso un'abitazione, è necessario che le finestre siano orientate perpendicolarmente alla linea ricettore-aerogeneratore e non vi siano interposti ostacoli;
- il rotore è orientato verso la provenienza del sole, come mostrato in *Figura 2*. Infatti quando il piano del rotore è perpendicolare alla linea sole-ricettore, la proiezione dell'ombra della circonferenza del rotore induce uno shadow flickering non trascurabile. Al contrario, quando il piano del rotore è allineato con il sole ed il ricettore, l'ombra proiettata, di intensità inferiore, presenta minori dimensioni ed è caratterizzata da un rapido movimento, in tal caso è possibile considerare trascurabile lo shadow flickering.

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO</b><br><b>di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO     | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br><b>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:</b><br><b>SHADOW FLICKERING</b> | <b>PAGINA</b><br>6 di 25                              |

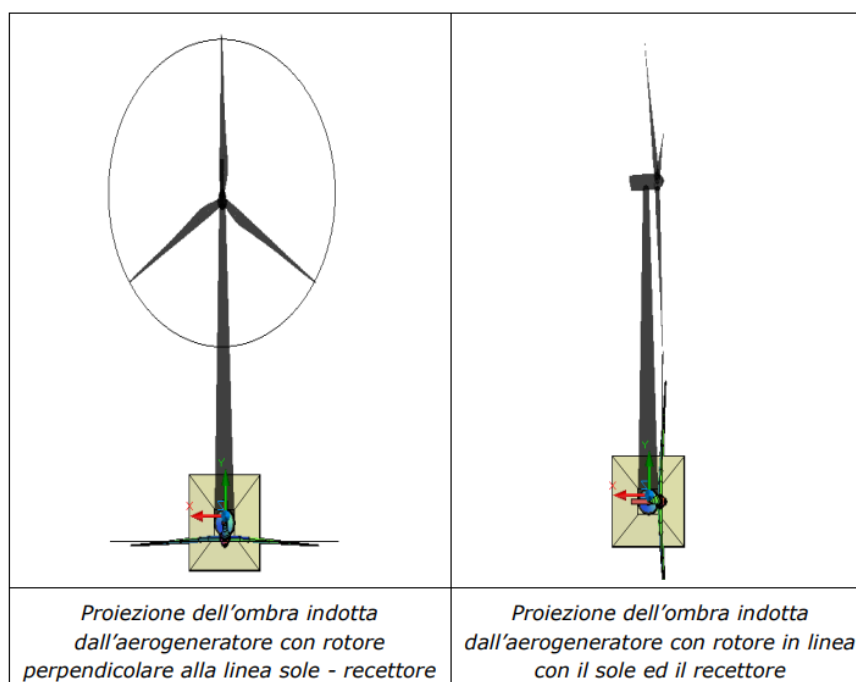


Figura 2 – Proiezione dell'ombra in base all'orientamento del rotore rispetto al sole.

L'intensità dello shadow flickering è definita come la differenza in luminosità, in un determinato sito, in presenza ed assenza di un'ombra.

La frequenza di variazione dell'intensità luminosa, dovuta all'alternarsi di luce e ombra, è proporzionale alla velocità di rotazione del rotore. Considerando il caso in esame, un rotore di diametro pari a 170 metri caratterizzato da una velocità nominale di rotazione di circa 8,83 rpm, presenta una frequenza di passo pari a circa 0,45 Hz. Tali frequenze di oscillazione luminosa sono prive di rischi significativi per la salute in quanto studi hanno dimostrato che le frequenze che possono provocare un senso di fastidio sono comprese tra i 2,5 ed i 20 Hz.

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO</b><br><b>di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:<br>SHADOW FLICKERING           | <b>PAGINA</b><br>7 di 25                              |

### 3 ANALISI DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA DI UN AEROGENERATORE

La posizione del sole rispetto alla terra può essere definita per mezzo di due angoli, noti come coordinate angolari astronomiche  $\theta_0$  e  $\delta_0$ , rispetto ad un riferimento cartesiano in cui l'asse  $z$  è parallelo all'asse terrestre, il piano  $(x,y)$  è parallelo al piano equatoriale e la direzione  $x$  punta da Nord verso Sud e la direzione  $y$  da Ovest verso Est.

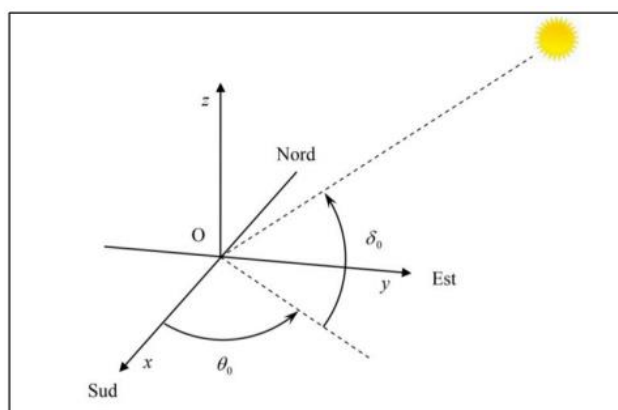


Figura 3 – Coordinate solari astronomiche.

Fissata la latitudine di un sito, la posizione del sole in ciascun istante può essere definita per mezzo dei due angoli  $\theta_1$  e  $\delta_1$ , rispetto ad un riferimento cartesiano in cui l'asse  $z_1$  è perpendicolare al terreno, il piano  $(x_1,y_1)$  è il piano orizzontale della località considerata e la direzione  $x_1$  punta da Nord verso Sud e la direzione  $y_1$  da Ovest verso Est.

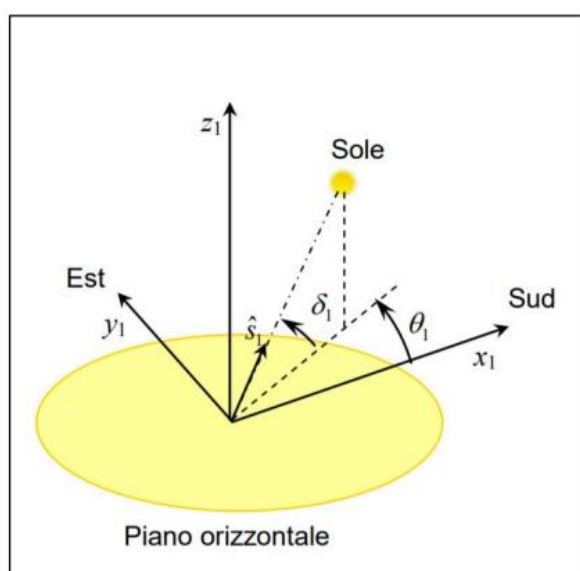


Figura 4 – Coordinate solari locali.

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO</b><br><b>di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO     | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br><b>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:</b><br><b>SHADOW FLICKERING</b> | <b>PAGINA</b><br>8 di 25                              |

Fissati latitudine, giorno dell'anno ed orario è possibile calcolare i due angoli  $\delta_1$  e  $\theta_1$  che definiscono la posizione del sole rispetto al riferimento locale. Note anche le caratteristiche geometriche dell'aerogeneratore, in termini di altezza mozzo e diametro del rotore, è possibile definire l'area in cui si osserverà il fenomeno dello shadow flickering, le cui dimensioni dipendono dall'orientamento dei raggi solari rispetto al rotore.

Nelle ipotesi di rotore perfettamente perpendicolare alla direzione di provenienza dei raggi solari e di terreno orizzontale, l'area su cui è proiettata l'ombra che dà origine al fenomeno di shadow flickering è valutabile mediante semplici considerazioni geometriche come rappresentato dalle immagini seguenti.

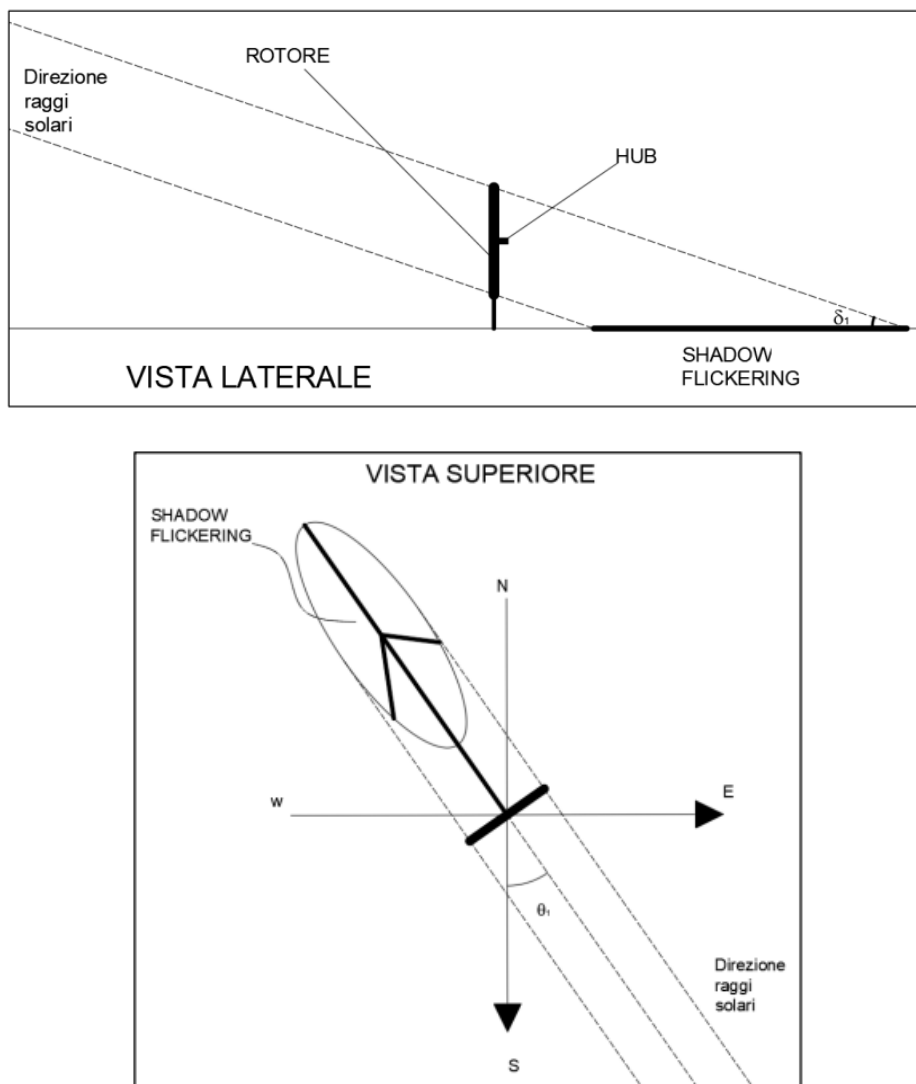


Figura 5 – Vista laterale e superiore del fenomeno di shadow flickering nelle ipotesi di rotore perpendicolare ai raggi del sole e terreno perfettamente orizzontale.



|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO</b><br><b>di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:<br>SHADOW FLICKERING           | <b>PAGINA</b><br>9 di 25                              |

L'ipotesi di perfetta perpendicolarità del rotore rispetto alla direzione di provenienza dei raggi solari è una ipotesi fortemente cautelativa dal momento che 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. Quando il rotore non si trova in posizione ortogonale alla direzione dei raggi solari la proiezione dell'ombra risulta fortemente ridotta come evidenziato nella figura successiva.

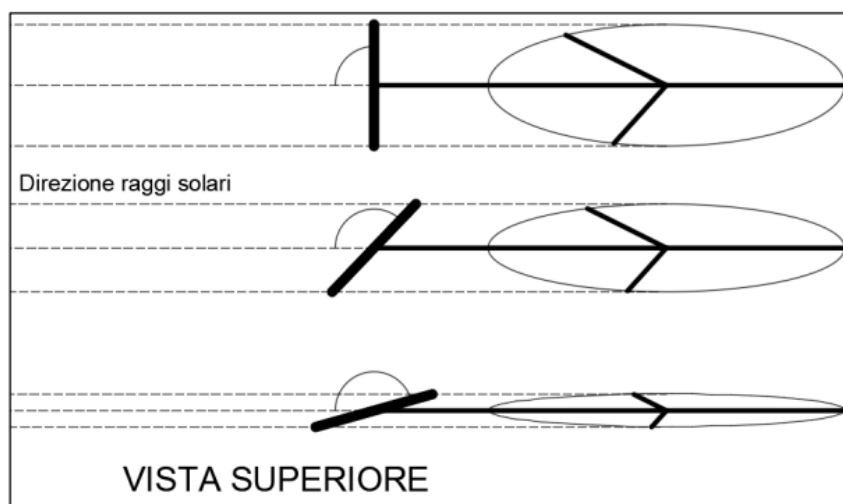


Figura 6 – Effetto della variazione dell'angolo tra la direzione dei raggi solari e il rotore.

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO<br/>di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:<br>SHADOW FLICKERING           | <b>PAGINA</b><br>10 di 25                             |

## 4 CALCOLO DELLO SHADOW FLICKERING

La valutazione del fenomeno di shadow flickering prodotto da un impianto eolico è solitamente effettuata attraverso l'uso di specifici software che si basano sull'impiego di modelli digitali del terreno.

Per l'impianto eolico in progetto, al fine di valutare l'impatto da shadow flickering dell'area oggetto di progettazione, è stato impiegato il software *WindFarmer*. Il modulo *Intermittenza dell'ombra*, fornito dal software permette, caricato un file DTM, di ricavare le coordinate geografiche per il calcolo dell'intermittenza dell'ombra dal centro del progetto. Inoltre noti il fuso orario dell'area in esame, le caratteristiche geometriche e le posizioni degli aerogeneratori, è possibile valutare il fenomeno e creare mappe raffiguranti isolinee che mostrano le ore d'ombra intermittente per l'intero parco eolico o per le singole macchine nell'arco dell'anno.

L'accuratezza del calcolo è definita dalle ipotesi di calcolo adottate:

- diametro rotore  $D = 170 \text{ m}$ ;
- altezza mozzo  $H_{\text{mozzo}} = 135 \text{ m}$ ;
- buffer da ogni turbina per il calcolo fenomeno  $1000 \text{ m}$ ;
- valutazione del fenomeno di shadow flickering ogni  $10 \text{ m}$ ;
- valutazione del fenomeno di shadow flickering ogni  $10 \text{ min}$ ;
- altezza minima del sole sull'orizzonte  $3^\circ$ ;
- altezza dal suolo per calcolo mappe di intermittenza  $2 \text{ m}$ ;
- sole modellato come disco (ipotesi cautelativa che permette di ottenere una previsione più vicina ai risultati di shadow flickering potenziale);
- asse del rotore sempre a  $180^\circ$  dall'azimut del sole (rotore ortogonale alla direzione di provenienza dei raggi solari);
- terreno perfettamente orizzontale (il calcolo non considera che la proiezione dell'ombra possa essere ostruita da alcun aspetti orografici che caratterizzano il terreno).

### 4.1 Scenario peggiore (worst case)

Il software permette di valutare lo scenario peggiore (worst case) in quanto nessuno dei fattori di influenza indicati al capitolo 2 è considerato nei calcoli del modello di simulazione.

Infatti il software computa il contributo teorico del fenomeno anche in situazioni di cielo coperto (assenza di ombre) o calma di vento (rotore fermo) o in caso di direzione del vento tale da porre il

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO<br/>di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:<br>SHADOW FLICKERING           | <b>PAGINA</b><br>11 di 25                             |

rotore in posizione differente da quella ortogonale alla direzione di provenienza dei raggi solari (riduzione o assenza di intermittenza ombre). Inoltre il modello esegue i calcoli considerando il terreno come perfettamente orizzontale senza dunque considerare che l'ombra possa essere intercettata da elementi orografici o altri ostacoli fuori terreno prima di raggiungere il ricettore.

Di conseguenza, lo scenario peggiore rappresenta il massimo rischio potenziale di impatto da shadow flickering e dunque si può supporre che i ricettori considerati saranno soggetti ad un impatto significativamente inferiore a quello ipotizzato dal modello.

## 4.2 Scenario reale (real case)

Nello scenario reale (real case), bisognerebbe considerare le reali condizioni di funzionamento degli aerogeneratori sia in termini di ore di funzionamento attese per ogni settore angolare di provenienza del vento sia in termini di condizioni di eliofania locale, ovvero di numero di ore medio di soleggiamento della specifica zona di studio.

Il software non permette di settare queste condizioni, pertanto al fine di ottenere valori di impatto, maggiormente prossimi alla realtà, si è impiegato il valore di eliofania locale. Per l'area in esame tale valore corrisponde a circa 2200 h/anno, quindi, considerando che in un anno le ore di luce sono 4380, è possibile abbattere i risultati del calcolo del 50% circa:

$$1 - \frac{2200}{4380} = 0,498 = 48,9\%$$

Questa riduzione percentuale risulta ancora cautelativa in quanto, come citato, non vengono in ogni caso considerati nella valutazione fattori come l'orografia, l'eventuale presenza di ostacoli e le effettive ore di funzionamento in cui le turbine saranno operative per ciascuna direzione di provenienza del vento nel corso dell'anno. Per tale ragione ci si aspetta dunque che nella realtà le ore annue di ombreggiamento ai ricettori siano ancora inferiori a quelle ottenute dall'analisi.

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO</b><br><b>di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:<br>SHADOW FLICKERING           | <b>PAGINA</b><br>12 di 25                             |

## 5 INDIVIDUAZIONE DEI RICETTORI

Al fine di valutare il potenziale impatto da shadow flickering sui ricettori sensibili, ovvero quei ricettori dove potrebbe verificarsi la presenza di persone per più di 4 ore al giorno, si è proceduto ad una individuazione complessiva dei fabbricati nelle aree ricomprese entro una distanza massima di 1000 m dalle postazioni degli aerogeneratori. Per completezza di analisi sono stati inclusi nel censimento anche quei fabbricati che non presentavano caratteristiche di potenziali abitazioni, come ruderi o depositi. A valle di tali riscontri, si è proceduto ad accertare la categoria catastale di appartenenza degli edifici, laddove disponibile.

La tabella seguente riporta, per ciascun ricettore censito, i relativi riferimenti catastali, la categoria catastale del fabbricato e la distanza dall' aerogeneratore più prossimo. Le righe evidenziate in giallo rappresentano i fabbricati accatastati come abitazioni, ovvero quei ricettori considerati sensibili al fenomeno di shadow flickering.

| Ricettore | Comune  | Foglio | Particella | Categoria fabbricato | Distanza da WTG [m] | WTG più prossima |
|-----------|---------|--------|------------|----------------------|---------------------|------------------|
| R1        | Calitri | 10     | 79         | FU D ACCERT          | 275                 | CA02             |
| R2        | Calitri | 10     | 6          | CORTE                | 260                 | CA02             |
| R3        | Calitri | 10     | 101        | C02                  | 225                 | CA02             |
| R4        | Calitri | 11     | 392        | E03                  | 210                 | CA02             |
| R5        | Calitri | 11     | 253        | SEMINATIVO           | 315                 | CA02             |
| R6        | Calitri | 11     | 403        | C02                  | 330                 | CA02             |
| R7        | Calitri | 11     | 227        | FABB DIRUTO          | 445                 | CA02             |
| R8        | Calitri | 11     | 409        | C06                  | 445                 | CA02             |
| R9        | Calitri | 11     | 406        | C06                  | 450                 | CA02             |
| R10       | Calitri | 11     | 23         | SEMINATIVO           | 370                 | CA03             |
| R11       | Calitri | 11     | 372        | C02                  | 495                 | CA02             |
| R12       | Calitri | 11     | 371        | SEMINATIVO           | 510                 | CA02             |
| R13       | Calitri | 11     | 255        | C02                  | 595                 | CA04             |
| R14       | Calitri | 11     | 261        | SEMINATIVO           | 545                 | CA04             |
| R15       | Calitri | 11     | 394        | C02                  | 690                 | CA04             |
| R16       | Calitri | 11     | 404        | C02                  | 730                 | CA05             |
| R17       | Calitri | 11     | 379        | A03                  | 535                 | CA04             |
| R18       | Calitri | 11     | 380        | C06                  | 540                 | CA04             |
| R19       | Calitri | 11     | 419        | C06                  | 560                 | CA04             |
| R20       | Calitri | 11     | 413        | C02                  | 570                 | CA04             |
| R21       | Calitri | 11     | 417        | A04-C06              | 575                 | CA04             |
| R22       | Calitri | 11     | 399        | A02-D10              | 535                 | CA05             |
| R23       | Calitri | 11     | 402        | C02                  | 570                 | CA05             |
| R24       | Calitri | 11     | 397        | C02                  | 600                 | CA05             |
| R25       | Calitri | 11     | 395        | A03-C02              | 625                 | CA05             |
| R26       | Calitri | 11     | 386        | A03-C02-C06          | 705                 | CA05             |
| R27       | Calitri | 11     | 183        | SEMINATIVO/PASCOLO   | 670                 | CA04             |
| R28       | Calitri | 11     | 161        | FABB RURALE          | 600                 | CA04             |

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO</b><br><b>di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO     | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br><b>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:</b><br><b>SHADOW FLICKERING</b> | <b>PAGINA</b><br>13 di 25                             |

|     |         |    |     |             |     |      |
|-----|---------|----|-----|-------------|-----|------|
| R29 | Calitri | 11 | 377 | C02         | 580 | CA04 |
| R30 | Calitri | 11 | 407 | F02         | 635 | CA04 |
| R31 | Calitri | 11 | 396 | C02         | 610 | CA04 |
| R32 | Calitri | 11 | 375 | A03         | 615 | CA04 |
| R33 | Calitri | 11 | 374 | C02         | 655 | CA04 |
| R34 | Calitri | 12 | 233 | C02         | 550 | CA05 |
| R35 | Calitri | 12 | 225 | C02         | 510 | CA05 |
| R36 | Calitri | 12 | 226 | C02         | 525 | CA05 |
| R37 | Calitri | 12 | 227 | A04-C02     | 500 | CA05 |
| R38 | Calitri | 12 | 228 | C06         | 505 | CA05 |
| R39 | Calitri | 12 | 230 | C02         | 485 | CA05 |
| R40 | Calitri | 12 | 231 | C02         | 520 | CA05 |
| R41 | Calitri | 12 | 148 | FABB DIRUTO | 515 | CA05 |
| R42 | Calitri | 12 | 239 | F02         | 510 | CA05 |
| R43 | Calitri | 12 | 256 | F02         | 505 | CA05 |
| R44 | Calitri | 12 | 241 | F02         | 500 | CA05 |
| R45 | Calitri | 12 | 257 | C06         | 520 | CA05 |
| R46 | Calitri | 12 | 242 | C06         | 525 | CA05 |
| R47 | Calitri | 12 | 243 | C06         | 530 | CA05 |
| R48 | Calitri | 12 | 238 | C02         | 535 | CA05 |
| R49 | Calitri | 12 | 237 | A04-C06     | 510 | CA05 |
| R50 | Calitri | 12 | 235 | C06         | 480 | CA06 |
| R51 | Calitri | 12 | 113 | SEMINATIVO  | 495 | CA06 |
| R52 | Calitri | 13 | 466 | F02         | 660 | CA05 |
| R53 | Calitri | 13 | 421 | FABB RURALE | 785 | CA04 |
| R54 | Calitri | 13 | 420 | FABB RURALE | 805 | CA04 |
| R55 | Calitri | 13 | 465 | F02         | 750 | CA04 |
| R56 | Calitri | 13 | 440 | C02         | 950 | CA05 |
| R57 | Calitri | 13 | 441 | F02         | 950 | CA05 |
| R58 | Calitri | 13 | 442 | A03         | 980 | CA05 |
| R59 | Calitri | 15 | 209 | C02         | 615 | CA04 |
| R60 | Calitri | 15 | 210 | A03-C02     | 620 | CA04 |
| R61 | Calitri | 15 | 241 | D10         | 850 | CA04 |
| R62 | Calitri | 15 | 224 | F02         | 875 | CA04 |
| R63 | Calitri | 15 | 228 | F03         | 835 | CA04 |
| R64 | Calitri | 16 | 267 | C02         | 295 | CA01 |
| R65 | Calitri | 16 | 258 | C02         | 480 | CA01 |
| R66 | Calitri | 16 | 255 | C06         | 495 | CA01 |
| R67 | Calitri | 16 | 254 | A02-C06-C02 | 500 | CA01 |
| R68 | Calitri | 16 | 270 | C06         | 700 | CA04 |
| R69 | Calitri | 16 | 286 | ENTE URBANO | 690 | CA04 |
| R70 | Calitri | 16 | 298 | A04         | 680 | CA04 |
| R71 | Calitri | 16 | 300 | A04-C02     | 675 | CA04 |
| R72 | Calitri | 16 | 299 | A04-C02     | 665 | CA04 |
| R73 | Calitri | 16 | 277 | C06         | 655 | CA04 |
| R74 | Calitri | 16 | 291 | C06         | 700 | CA04 |
| R75 | Calitri | 16 | 292 | ENTE URBANO | 695 | CA04 |
| R76 | Calitri | 17 | 218 | C02         | 770 | CA04 |
| R77 | Calitri | 17 | 225 | A03         | 685 | CA04 |
| R78 | Calitri | 17 | 226 | C06         | 675 | CA04 |
| R79 | Calitri | 17 | 227 | C02         | 680 | CA04 |

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO</b><br><b>di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:<br>SHADOW FLICKERING           | <b>PAGINA</b><br><br>14 di 25                         |

|     |          |    |     |             |     |      |
|-----|----------|----|-----|-------------|-----|------|
| R80 | Calitri  | 17 | 212 | C02         | 820 | CA04 |
| R81 | Calitri  | 17 | 240 | C06         | 805 | CA04 |
| R82 | Calitri  | 17 | 256 | C02         | 810 | CA04 |
| R83 | Calitri  | 17 | 46  | C02         | 840 | CA04 |
| R84 | Calitri  | 17 | 47  | FR DIV SUB  | 850 | CA04 |
| R85 | Calitri  | 17 | 234 | A03         | 645 | CA04 |
| R86 | Calitri  | 17 | 220 | ENTE URBANO | 690 | CA04 |
| R87 | Calitri  | 17 | 221 | ENTE URBANO | 705 | CA04 |
| R88 | Calitri  | 17 | 223 | A07-C02-C06 | 750 | CA04 |
| R89 | Calitri  | 17 | 216 | C02         | 910 | CA04 |
| R90 | Calitri  | 17 | 232 | C02         | 680 | CA04 |
| R91 | Calitri  | 30 | 307 | F03         | 885 | CA06 |
| R92 | Calitri  | 30 | 309 | F02         | 920 | CA06 |
| R93 | Bisaccia | 80 | 180 | A04-C02     | 585 | CA02 |
| R94 | Bisaccia | 80 | 171 | FABB RURALE | 535 | CA02 |
| R95 | Bisaccia | 80 | 172 | FABB RURALE | 525 | CA02 |
| R96 | Bisaccia | 80 | 181 | ENTE URBANO | 515 | CA02 |
| R97 | Bisaccia | 80 | 182 | ENTE URBANO | 495 | CA02 |
| R98 | Bisaccia | 80 | 183 | ENTE URBANO | 465 | CA02 |
| R99 | Bisaccia | 80 | 178 | F02         | 280 | CA02 |

*Tabella 2 – Fabbricati presenti in un buffer dagli aerogeneratori di 1000m.*

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO<br/>di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:<br>SHADOW FLICKERING           | <b>PAGINA</b><br>15 di 25                             |

## 6 RISULTATI

Il risultato dei calcoli è reso disponibile dal software di simulazione *WindFarmer* in forma tabellare in termini di ore di ombreggiamento annuo e grafica sia per ciascun ricettore nel quale vengono rappresentati i periodi dell'anno in cui si verifica il fenomeno, l'orario e le turbine responsabili dell'ombra, che globale tramite isolinee rappresentanti l'incidenza dell'ombra espressa in ore/anno. E' tuttavia importante evidenziare che le isolinee di ombreggiamento in termini di ore/anno generate dal software, ed allegate all'elaborato, rappresentano il caso peggiore (worst case). Per tale ragione, al fine di ottenere una stima maggiormente realistica (così come riportato nella colonna real case della Tabella 3) del fenomeno di shadow flickering, si è applicata la riduzione percentuale dovuta alle condizioni di eliofania locale, così come evidenziato nel paragrafo 4.2 della presente relazione.

I risultati forniti dal modello di calcolo consentono di valutare approssimativamente sia l'impatto distribuito sul territorio sia l'impatto puntuale sul singolo ricettore sensibile (categoria catastale A – abitazioni) così come evidenziato nella tabella seguente.

| Ricettore | Comune   | Foglio | Particella | Categoria fabbricato | Distanza da WTG [m] | WTG più prossima | WORST CASE  | REAL CASE   |
|-----------|----------|--------|------------|----------------------|---------------------|------------------|-------------|-------------|
|           |          |        |            |                      |                     |                  | SF [h/anno] | SF [h/anno] |
| R17       | Calitri  | 11     | 379        | A03                  | 535                 | CA04             | 145         | 72          |
| R21       | Calitri  | 11     | 417        | A04-C06              | 575                 | CA04             | 62          | 31          |
| R22       | Calitri  | 11     | 399        | A02-D10              | 535                 | CA05             | 124         | 62          |
| R25       | Calitri  | 11     | 395        | A03-C02              | 625                 | CA05             | 128         | 64          |
| R26       | Calitri  | 11     | 386        | A03-C02-C06          | 705                 | CA05             | 89          | 44          |
| R32       | Calitri  | 11     | 375        | A03                  | 615                 | CA04             | 0           | 0           |
| R37       | Calitri  | 12     | 227        | A04-C02              | 500                 | CA05             | 63          | 31          |
| R49       | Calitri  | 12     | 237        | A04-C06              | 510                 | CA05             | 83          | 41          |
| R58       | Calitri  | 13     | 442        | A03                  | 980                 | CA05             | 0           | 0           |
| R60       | Calitri  | 15     | 210        | A03-C02              | 620                 | CA04             | 0           | 0           |
| R67       | Calitri  | 16     | 254        | A02-C06-C02          | 500                 | CA01             | 43          | 21          |
| R70       | Calitri  | 16     | 298        | A04                  | 680                 | CA04             | 110         | 55          |
| R71       | Calitri  | 16     | 300        | A04-C02              | 675                 | CA04             | 120         | 60          |
| R72       | Calitri  | 16     | 299        | A04-C02              | 665                 | CA04             | 120         | 60          |
| R77       | Calitri  | 17     | 225        | A03                  | 685                 | CA04             | 58          | 29          |
| R85       | Calitri  | 17     | 234        | A03                  | 645                 | CA04             | 113         | 56          |
| R88       | Calitri  | 17     | 223        | A07-C02-C06          | 750                 | CA04             | 6           | 3           |
| R93       | Bisaccia | 80     | 180        | A04-C02              | 585                 | CA02             | 145         | 72          |

Tabella 3 – Risultati dei calcoli di ombreggiamento intermittente presso i ricettori considerati.

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO<br/>di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:<br>SHADOW FLICKERING           | <b>PAGINA</b><br>16 di 25                             |

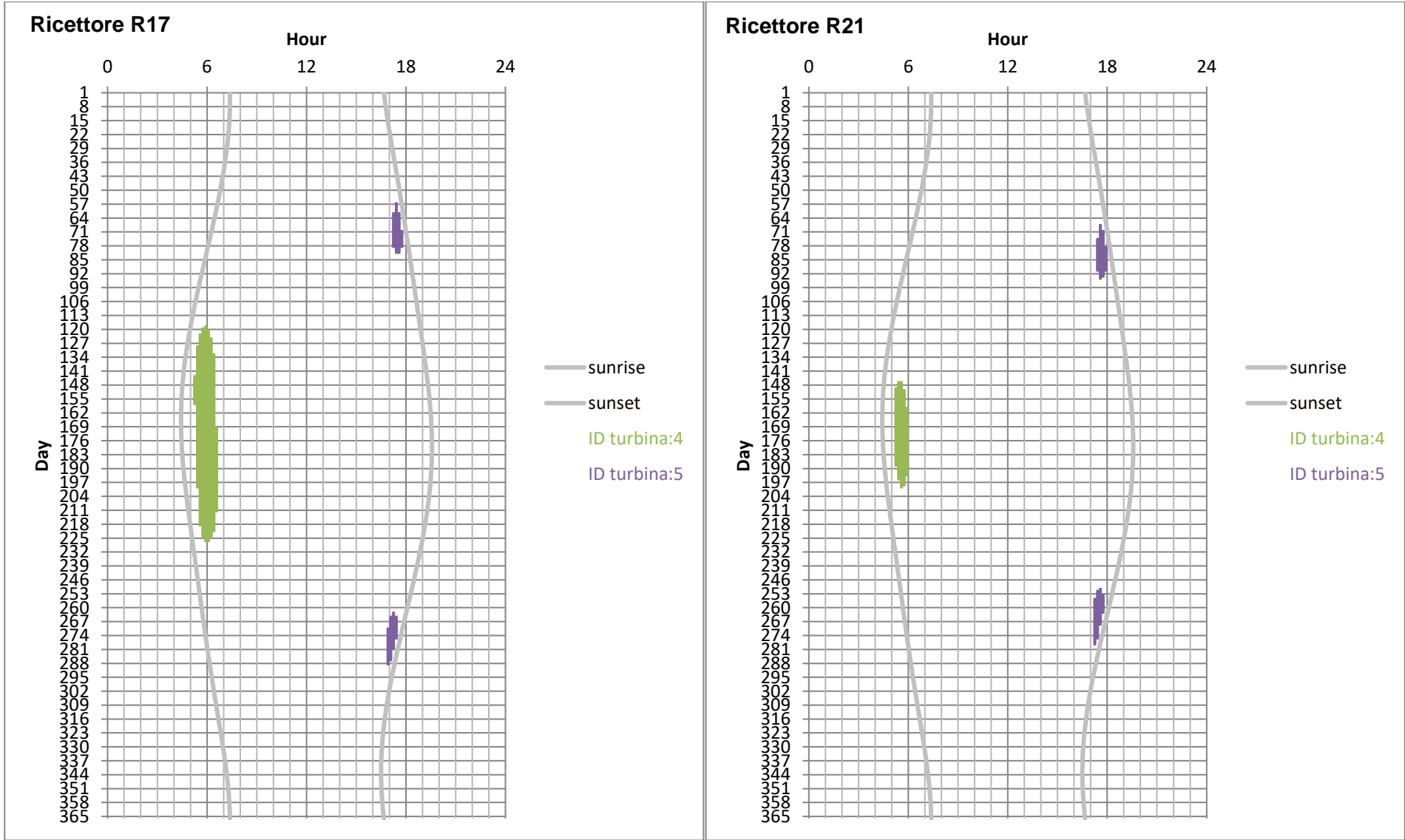
Dall'esame della Tabella 3 si evince quanto segue:

- tra i 18 fabbricati individuati come potenziali ricettori entro l'areale di interesse, **6 fabbricati (R32, R58, R60, R67, R77, R88) non risulteranno esposti ad alcun impatto o l'impatto annuale potrà ritenersi trascurabile;**
- i restanti 12 ricettori, che saranno soggetti in media ad un massimo di 5 giorni l'anno di ombreggiamento intermittente, presentano comunque un **impatto da shadow flickering accettabile in considerazione del fatto che i risultati dell'analisi rimangono cautelativi in quanto non vengono considerati i potenziali effetti schermanti dell'ombra, come orografia ed ostacoli, e che il rotore possa non essere perpendicolare alla direzione di provenienza dei raggi solari.**

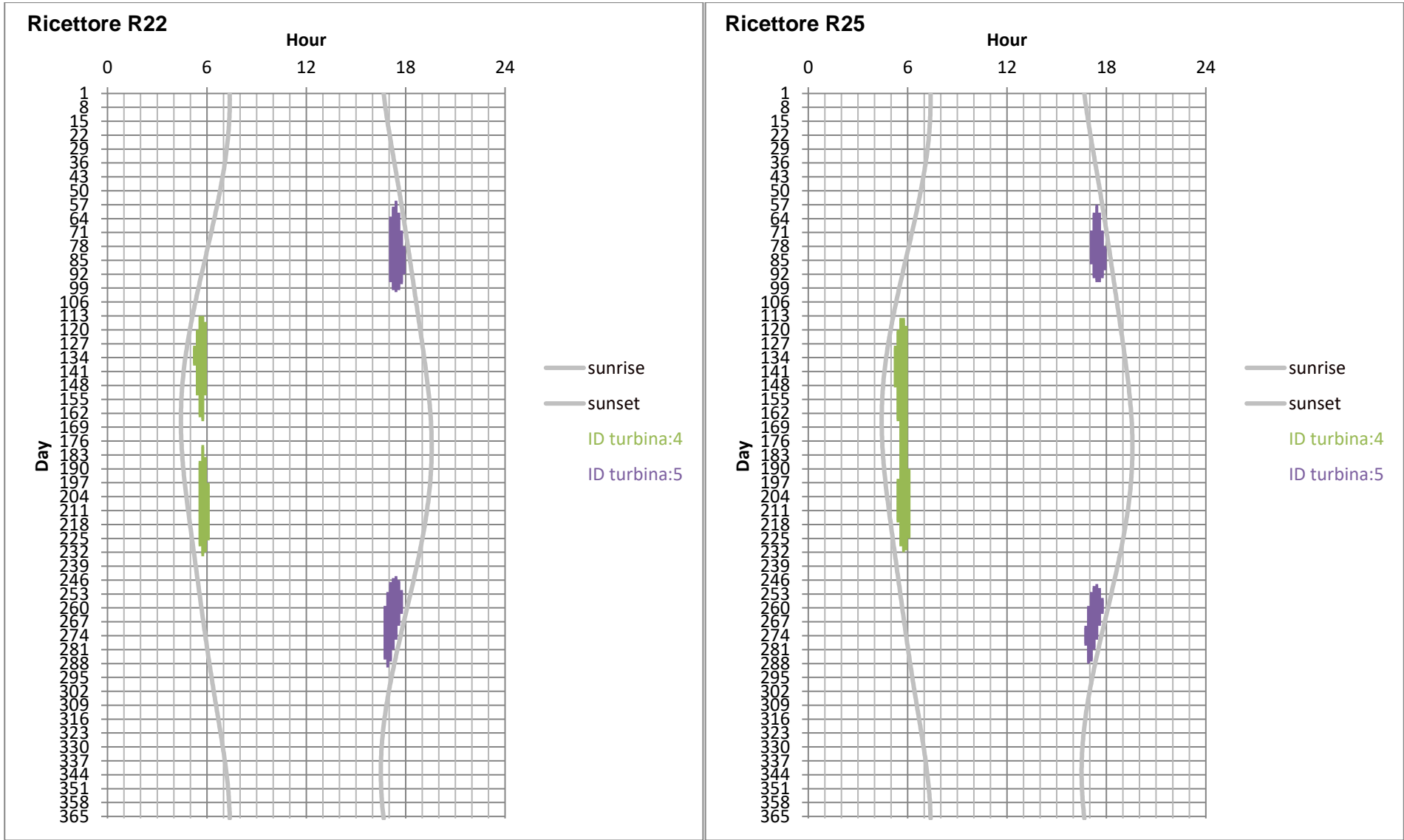
Per quanto concerne i ricettori che sono sottoposti ad un impatto da shadow flickering, se pur trascurabile o accettabile, si è deciso di investigare in quale periodo dell'anno e a quali orari il fenomeno è riscontrabile. Come si evince dai seguenti grafici, essendo questi ricettori tutti localizzati a distanze superiori ai 500 m dagli aerogeneratori, **il fenomeno di shadow flickering si verifica sempre in prossimità dell'alba o del tramonto** quando il sole è più basso sull'orizzonte. Considerati gli orari in cui inizierà a manifestarsi il fenomeno, ossia alle prime ore del mattino, è ragionevolmente bassa la probabilità che gli occupanti dei ricettori risultino esposti all'ombreggiamento per tutta la sua durata.



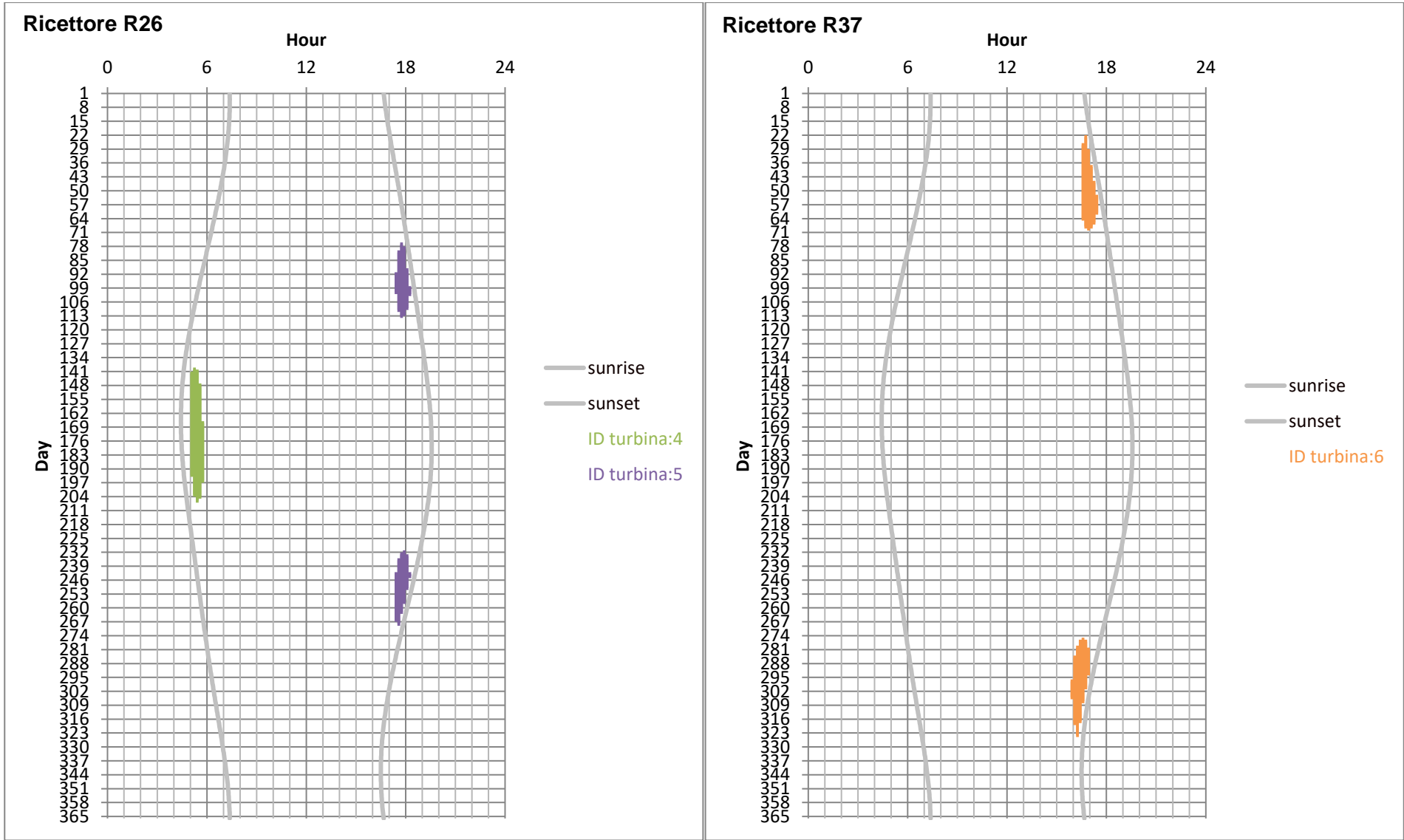
|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO</b><br><b>di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:<br>SHADOW FLICKERING           | <b>PAGINA</b><br>17 di 25                             |



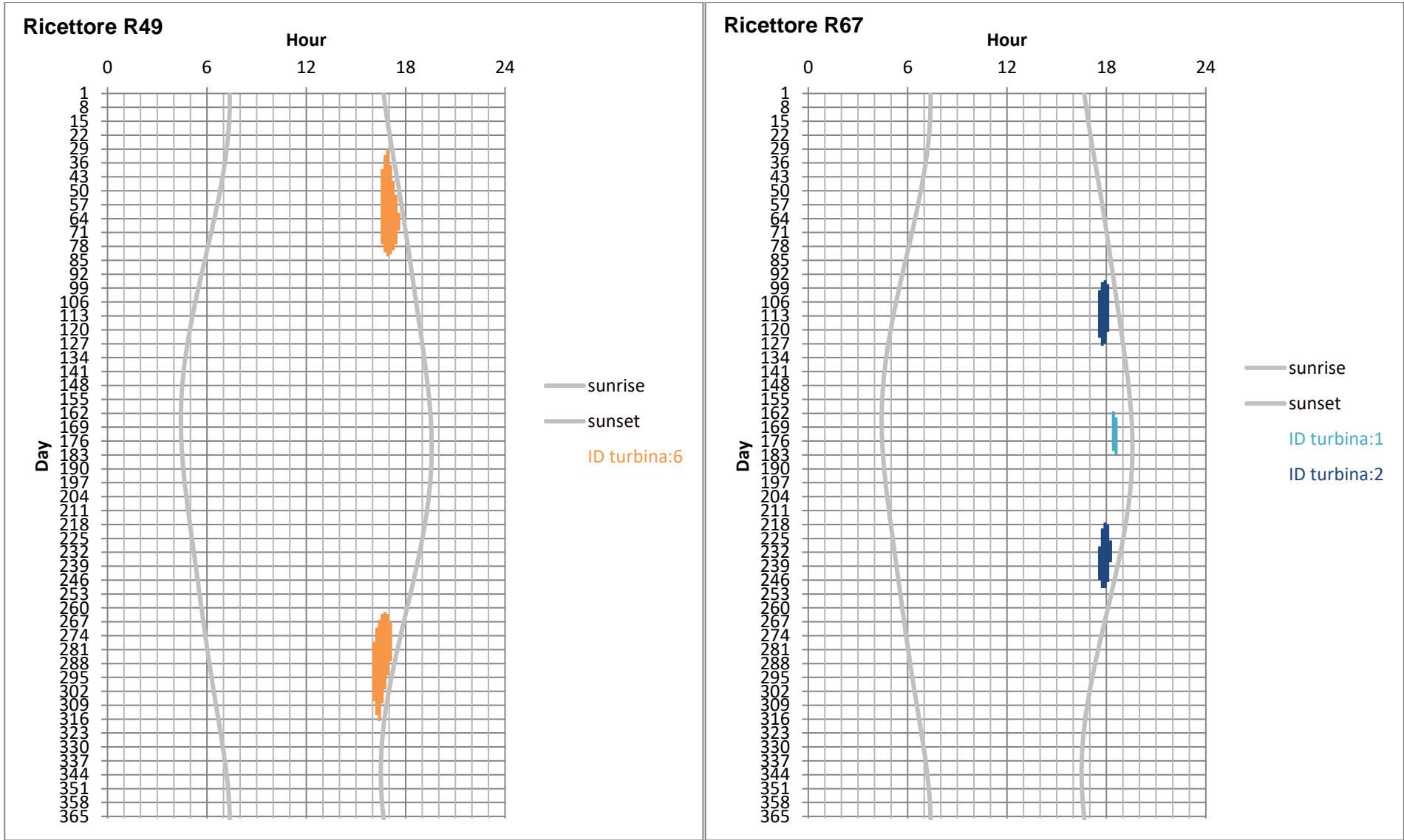
|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO</b><br><b>di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:<br>SHADOW FLICKERING           | <b>PAGINA</b><br>18 di 25                             |



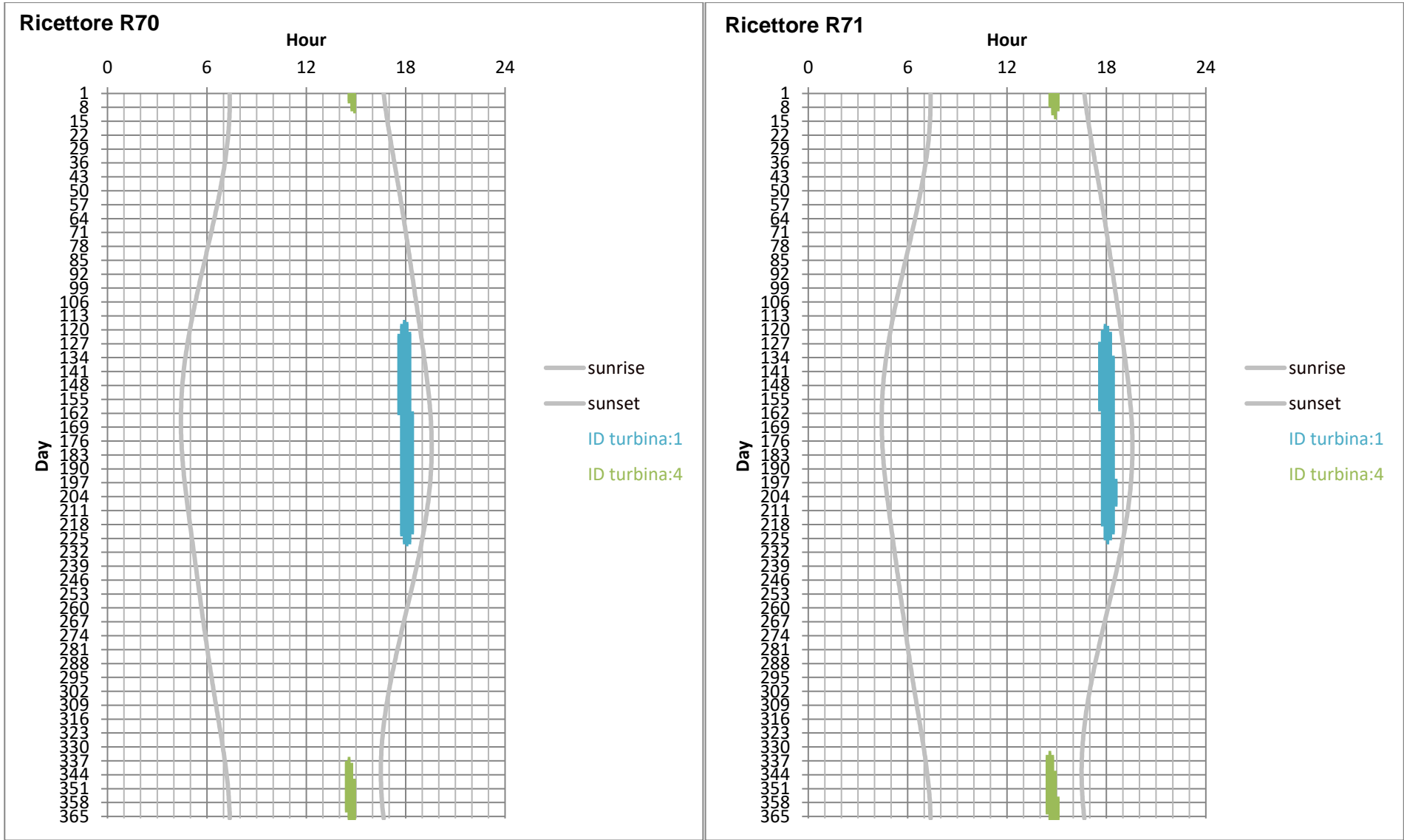
|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO<br/>di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:<br>SHADOW FLICKERING           | <b>PAGINA</b><br>19 di 25                             |



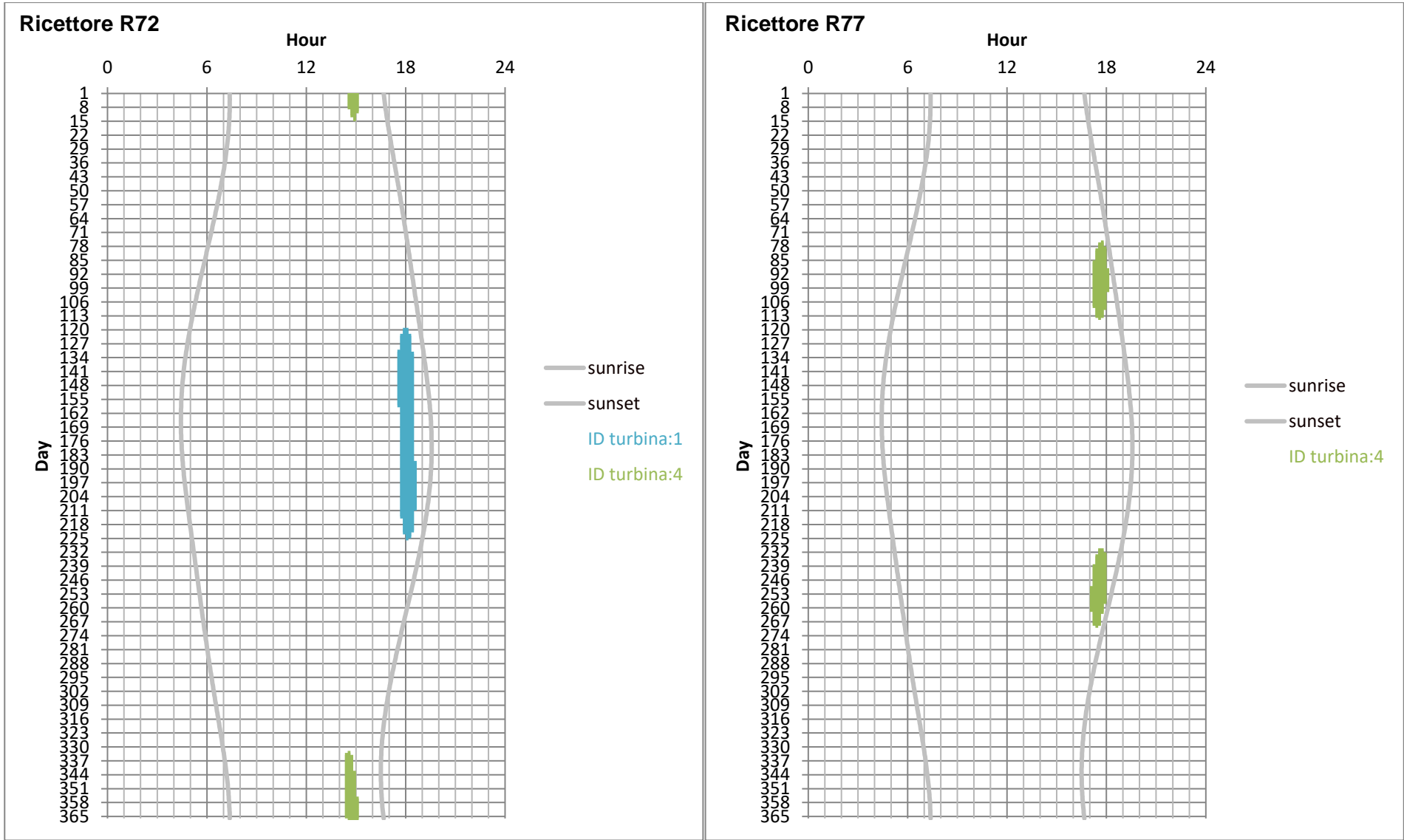
|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO</b><br><b>di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:<br>SHADOW FLICKERING           | <b>PAGINA</b><br>20 di 25                             |



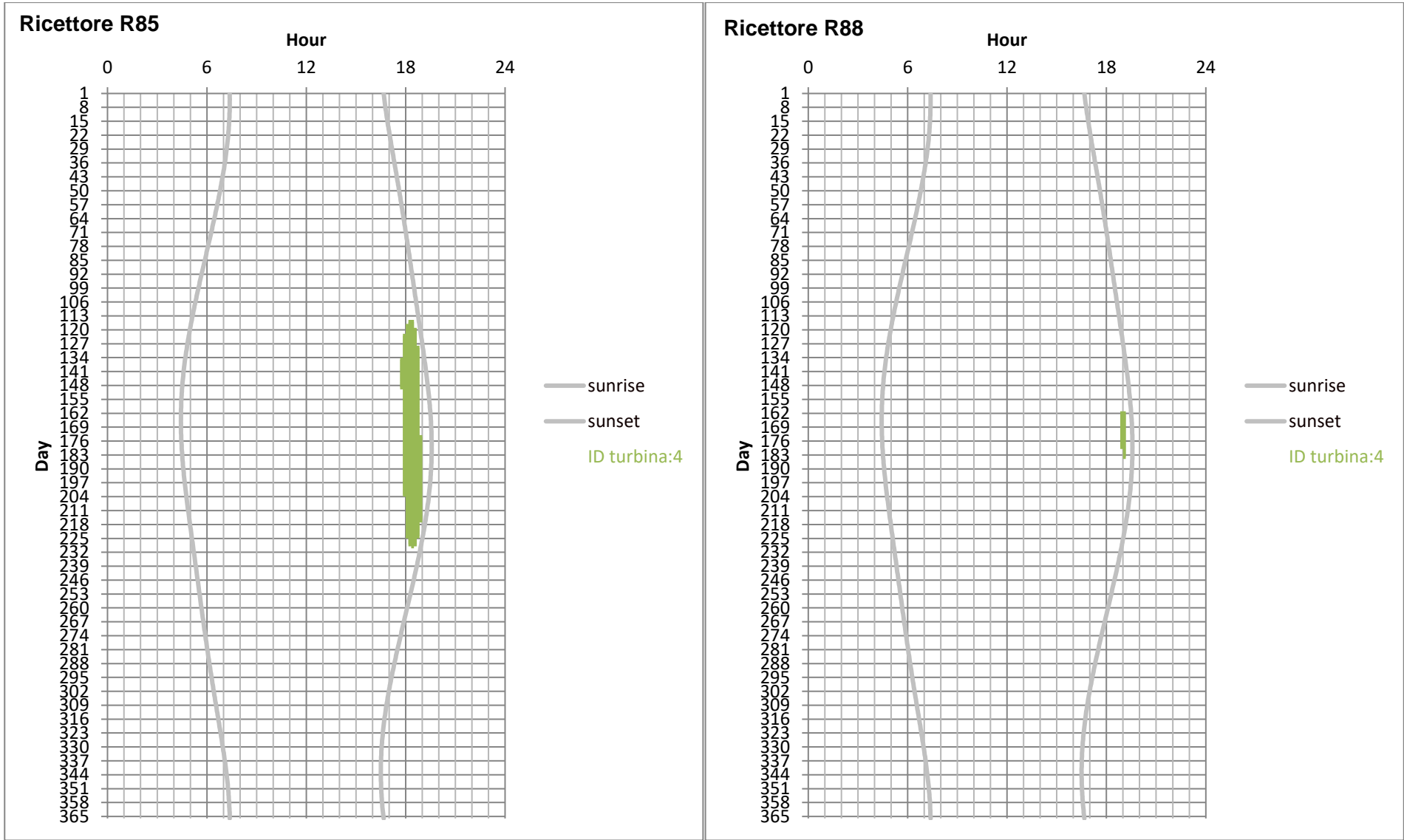
|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO</b><br><b>di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:<br>SHADOW FLICKERING           | <b>PAGINA</b><br>21 di 25                             |



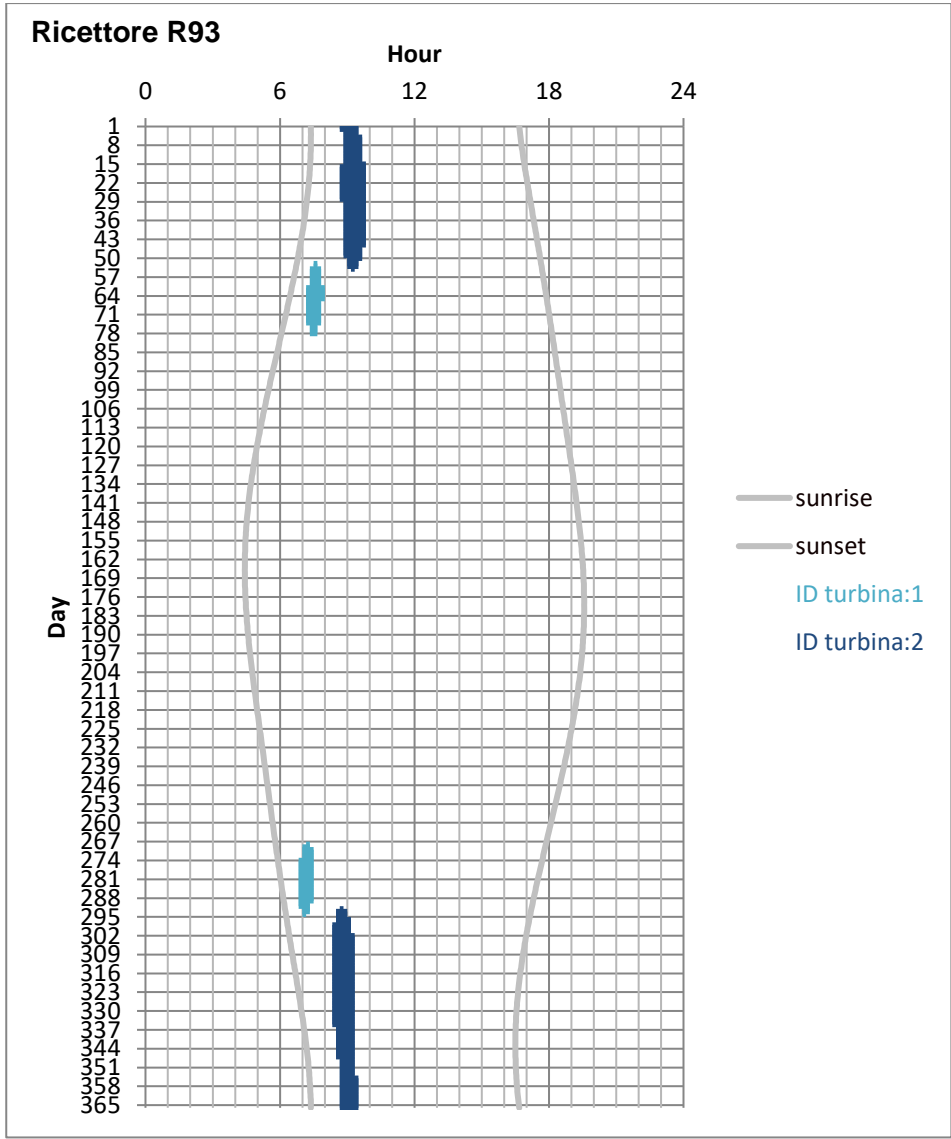
|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO</b><br><b>di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:<br>SHADOW FLICKERING           | <b>PAGINA</b><br>22 di 25                             |



|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO</b><br><b>di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:<br>SHADOW FLICKERING           | <b>PAGINA</b><br>23 di 25                             |



|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO</b><br><b>di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:<br>SHADOW FLICKERING           | <b>PAGINA</b><br>24 di 25                             |





|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>COMMITTENTE</b><br><b>PARCO EOLICO</b><br><b>di CALITRI</b> | <b>OGGETTO</b><br>IMPIANTO EOLICO "PARCO EOLICO DI CALITRI"<br>PROGETTO DEFINITIVO | <b>COD. ELABORATO</b><br>IT/EOL/E-CALI/PDF/C/RT/013-a |
|  | <b>TITOLO</b><br>STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA:<br>SHADOW FLICKERING           | <b>PAGINA</b><br>25 di 25                             |

**ALLEGATO**

**CARTA DELLE ORE/ANNO DI OMBREGGIAMENTO INTERMITTENTE SUI**  
**RICETTORI SENSIBILI (WORST CASE) - SCALA 1:15.000**

