



Regione Puglia  
 Provincia di Foggia  
 Comuni di Sant'Agata di Puglia e Accadia



**Proposta di ammodernamento complessivo (“repowering”) del “Parco Eolico Sant’Agata” esistente da 72MW, con smantellamento degli attuali 36 aerogeneratori e sostituzione in riduzione degli stessi con l’installazione di 17 aerogeneratori, per una potenza totale definitiva di 115,6 MW**

Titolo:

1MTGFJ4\_DocumentazioneSpecialistica\_04  
 RELAZIONE DI SHADOW FLICKERING

Numero documento:

Commissa	Fase	Tipo doc.	Prog. doc.	Rev.
2 2 4 3 0 2	D	R	0 1 1 8	0 1

Proponente:

**FRI-EL**

FRI-EL S. AGATA S.R.L.  
 Piazza del Grano 3  
 39100 Bolzano (BZ)  
[fri-el\\_s.agata@legalmail.it](mailto:fri-el_s.agata@legalmail.it)  
 P. Iva/Cod. Fisc. 02380420212

PROGETTO DEFINITIVO

Progettazione:



**PROGETTO ENERGIA S.R.L.**

Via Cardito, 202 | 83031 | Ariano Irpino (AV)  
 Tel. +39 0825 891313  
[www.progettoenergia.biz](http://www.progettoenergia.biz) - [info@progettoenergia.biz](mailto:info@progettoenergia.biz)

SERVIZI DI INGEGNERIA INTEGRATI  
 INTEGRATED ENGINEERING SERVICES



Certification Approval N. 251229/100011/UKAS

Progettista:

Ing. Massimo Lo Russo





Sul presente documento sussiste il DIRITTO di PROPRIETA'. Qualsiasi utilizzo non preventivamente autorizzato sarà perseguito ai sensi della normativa vigente

REVISIONI	N.	Data	Descrizione revisione	Redatto	Controllato	Approvato
	00	28.09.2022	EMMISSIONE PER AUTORIZZAZIONE	C. ELIA	G. LO RUSSO	M. LO RUSSO
	01	12.02.2024	AGGIORNAMENTO LAYOUT	R. DI PIETRO	G. LO RUSSO	M. LO RUSSO

## INDICE

1. INTRODUZIONE .....	3
1.1. PREMESSA.....	3
1.2. SCOPO .....	3
2. CENNI SUL FENOMENO DELLO SHADOW FLICKERING .....	4
3. CALCOLO DELLO SHADOW FLICKERING .....	6
3.1 CONFIGURAZIONE D'IMPIANTO.....	6
3.2 INDIVIDUAZIONE DEI RICETTORI .....	7
3.3 METODOLOGIA DI CALCOLO.....	10
3.4 RISULTATI .....	12
4. CONCLUSIONI .....	32
5. ALLEGATI.....	32

	<p>1MTGFJ4_DocumentazioneSpecialistica_04</p> <p>RELAZIONE DI SHADOW FLICKERING</p> <p><i>Proposta di ammodernamento complessivo ("repowering") del "Parco Eolico Sant'Agata" esistente da 72MW, con smantellamento degli attuali 36 aerogeneratori e sostituzione in riduzione degli stessi con l'installazione di 17 aerogeneratori, per una potenza totale definitiva di 115,6 MW</i></p>	
<p>Codifica Elaborato: <b>224302_D_R_0118 Rev. 01</b></p>		

## 1. INTRODUZIONE

### 1.1. PREMESSA

La Società FRI-EL in data 17 novembre 2022 ha presentato istanza di Valutazione di Impatto Ambientale al Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, ai sensi dell'art.23 del D.Lgs.152/2006, di un Progetto d'ammodernamento di un impianto eolico esistente, con la contestuale installazione di n. 17 aerogeneratori (al posto dei 36 aerogeneratori attualmente esistenti) della potenza nominale unitaria di 6,8 MW ciascuno e delle relative opere di connessione alla RTN, per una potenza complessiva pari a 115,60 MW, ricadente nel Comune di Sant'Agata di Puglia, connesso alla Stazione RTN di Accadia, in provincia di Foggia.

In data 09/11/2023 la Commissione Tecnica PNRR-PNIEC ha espresso **parere favorevole** circa la compatibilità ambientale del Progetto presentato, da ridimensionare per eliminare le interferenze tra gli aerogeneratori per mitigare gli impatti paesaggistici. In particolare, si sono rilevate delle criticità in merito alle interdistanze minime da rispettare di cui al D.M. 10/09/2010.

Tale parere ha condotto il Proponente ad una rimodulazione del Layout, implicando lo spostamento di alcuni aerogeneratori rispetto alle posizioni originarie, al fine di garantire e rispettare le interdistanze tra essi, in conformità con le misure di mitigazioni descritte nel paragrafo 3.2 dell'Allegato 4 del D.M. 10.09.2010, richiamate altresì alla condizione n.3 del Parere CTVA.

Pertanto, il presente documento costituisce una revisione della Relazione di shadow flickering consegnata a novembre 2022, che tiene conto delle modeste variazioni delle posizioni di 7 aerogeneratori.

Al fine di una più chiara ed immediata lettura, le modifiche indotte dall'ottimizzazione del layout rispetto quanto già presentato, saranno indicate con una diversa colorazione (blu).

### 1.2. SCOPO

Scopo del presente documento è la valutazione dell'eventuale impatto generato dallo shadow-flickering (letteralmente ombreggiamento intermittente), finalizzata all'ottenimento dei permessi necessari per l'**ammodernamento complessivo di un impianto eolico esistente (repowering)**, sito nel **Comune di Sant'Agata di Puglia (FG)**, connesso alla Stazione RTN di **Accadia (FG)**, realizzato con le Concessioni edilizie rilasciate dal Comune di Sant'Agata di Puglia (FG), n. 24 del 16/12/2003 e n. 4667 del 20/06/2005, e dal Comune di Accadia (FG): n.02 del 13/04/2005, di proprietà della società Fri – El St. Agata srl.

L'impianto eolico esistente è costituito da 36 aerogeneratori, ciascuno con potenza di 2 MW, per una potenza totale di impianto pari a 72 MW, diviso in due sottocampi da 20 e 16 aerogeneratori, localizzati rispettivamente in località Ciommarino – Viticone - Palino e in località Piano d'Olivola Pezza del Tesoro, nel Comune di Sant'Agata di Puglia (FG), con opere di connessione ricadenti anche nel Comune di Accadia (FG), in quanto il cavidotto in media tensione interrato raggiunge la Stazione Elettrica di Utenza 150/30 kV, a sua volta connessa alla Rete Elettrica Nazionale nel Comune di Accadia. L'impianto eolico appena descritto è definito nel seguito "**Impianto eolico esistente**".

L'ammodernamento complessivo dell'impianto eolico esistente, oggetto della presente valutazione, consta invece nell'installazione di 17 aerogeneratori con potenza unitaria di 6,8 MW, per una potenza totale pari a 115,6 MW, da realizzare nel medesimo sito. Le opere di connessione restano le medesime dell'impianto eolico esistente, a meno della sostituzione dei cavidotti interrati MT e l'ammodernamento di due stalli trasformatori all'interno della Stazione Elettrica di Utenza. Il Progetto, nella configurazione innanzi descritta, viene definito nel seguito "**Progetto di ammodernamento**".

Il tipo di aerogeneratore previsto per l'impianto in oggetto (aerogeneratore di progetto) è ad asse orizzontale con rotore tripala e una potenza massima di 6,8 MW, avente le caratteristiche principali di seguito riportate:

- rotore tripala a passo variabile, di diametro massimo pari a 172 m, posto sopravvento alla torre di sostegno, costituito da 3 pale generalmente in resina epossidica rinforzata con fibra di vetro e da mozzo rigido in acciaio;

- navicella in carpenteria metallica con carenatura in vetroresina e lamiera, in cui sono collocati il generatore elettrico, il moltiplicatore di giri, il convertitore elettronico di potenza, il trasformatore BT/MT e le apparecchiature idrauliche ed elettriche di comando e controllo;
- torre di sostegno tubolare troncoconica in acciaio;
- altezza complessiva massima fuori terra dell'aerogeneratore pari a 200,00 m;
- diametro massimo alla base del sostegno tubolare: 4,80 m;
- area spazzata massima: 23.235 m<sup>2</sup>.

Ai fini degli approfondimenti progettuali e dei relativi studi specialistici, si sono individuati alcuni specifici modelli commerciali di aerogeneratore ad oggi esistenti sul mercato, idonei ad essere conformi all'aerogeneratore di progetto.

Nello specifico i modelli di aerogeneratore considerati risultano i seguenti:

1. Vestas V172- HH 114m – 6,8 MW,
2. Siemens Gamesa SG170 - HH 115m – 6,6 MW,
3. General Electric GE164 – HH 112m – 6,0 MW.

Le caratteristiche di dettaglio del modello commerciale più sfavorevole, utilizzate al fine di redigere il presente studio, sono quelle dell'aerogeneratore tipo Vestas V172- HH 114m – 6,8 MW.

## 2. CENNI SUL FENOMENO DELLO SHADOW FLICKERING

Lo shadow-flickering (letteralmente ombreggiamento intermittente) è l'espressione comunemente impiegata per descrivere una variazione periodica dell'intensità luminosa osservata. Tale effetto (stroboscopico) è causato dalla proiezione, su una generica superficie, dell'ombra indotta da oggetti in movimento. Nel caso specifico di un impianto eolico tale fenomeno è generato dalla proiezione, al suolo o su un ricettore (abitazione), dell'ombra prodotta dalle pale in rotazione degli aerogeneratori allorquando il sole si trova alle loro spalle (cfr. figura successiva).

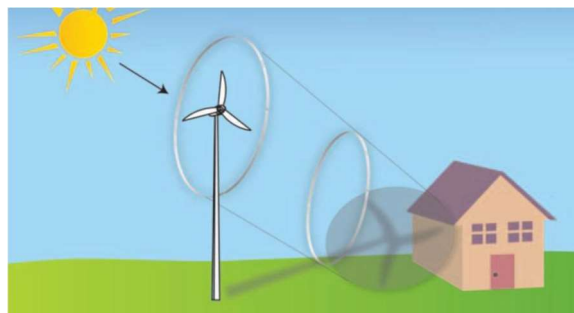


Figura 1 - Rappresentazione schematica del fenomeno dello shadow flicker

Il fenomeno, dal punto di vista di un potenziale ricettore, si traduce in una variazione alternata e ciclica di intensità luminosa che, a lungo andare, può provocare fastidio agli occupanti delle abitazioni le cui finestre risultano esposte al fenomeno stesso. Il fenomeno, ovviamente, risulta assente sia quando il sole è oscurato da nuvole o dalla nebbia, sia quando, in assenza di vento, le pale dell'aerogeneratore non sono in rotazione.

In particolare, le frequenze che possono provocare un senso di fastidio sono comprese tra i 2,5 ed i 20 Hz (Verkuijlen and Westra 1984), e, l'effetto sugli individui è simile a quello che si sperimenterebbe in seguito alle variazioni di intensità luminosa di una lampada ad incandescenza a causa di continui sbalzi della tensione della rete di alimentazione elettrica.

I più recenti aerogeneratori tripala operano ad una velocità di rotazione inferiore ai 35 giri al minuto, corrispondente ad una frequenza di passaggio delle pale sulla verticale inferiore a 1,75 Hz, minore, quindi, della frequenza critica di 2,5 Hz. Inoltre, i generatori di

grande potenza (dal MW in su) raramente superano la velocità di rotazione di 20 giri al minuto, corrispondente a frequenze di passaggio delle pale ampiamente minori di quelle ritenute fastidiose per la maggioranza degli individui.

Tale fenomeno, se sperimentato da un ricettore per periodi di tempo prolungati, può generare un disturbo, nelle seguenti condizioni:

- presenza di un livello sufficiente di intensità luminosa, ovvero in condizioni di cielo sereno sgombro da nubi ed in assenza di nebbia e con sole alto rispetto all'orizzonte;
- assenza di ostacoli sulla congiungente ricettore - aerogeneratore: la presenza di vegetazione e/o edifici interposti l'ombra generata da questi ultimi annullerebbe il fenomeno. Quindi, condizione favorevole affinché il fenomeno in esame si verifichi, è quella rappresentata dall'orientamento perpendicolare delle finestre di un'abitazione rispetto alla linea congiungente il ricettore all'aerogeneratore in assenza di ostacoli fisici (alberi, altri edifici ecc...);
- orientamento perpendicolare del rotore rispetto alla congiungente sole - ricettore: infatti, quando il piano del rotore è perpendicolare alla linea sole-ricettore, l'ombra proiettata dalle pale risulta muoversi all'interno di un "disco" che induce un effetto non trascurabile di shadow flickering; viceversa, nel caso in cui il piano del rotore risulti essere in linea con il sole ed il, l'ombra proiettata risulterebbe molto assottigliata e di bassa intensità per cui l'effetto di shadow flickering sarebbe del tutto trascurabile.

Inoltre, affinché lo shadow flickering, abbia un'intensità non trascurabile è necessario che:

- la posizione del sole sia tale da produrre una luminosità sufficiente; tale condizione corrisponde, per la latitudine di progetto, in un'altezza del sole sull'orizzonte dell'ordine di almeno 10÷15 gradi;
- le pale del rotore siano ovviamente in rotazione;
- l'aerogeneratore ed il potenziale ricettore non siano troppo distanti: infatti, le ombre proiettate in prossimità dell'aerogeneratore risultano di maggiore intensità rispetto a quelle proiettate ad una distanza crescente. Tale condizione deriva dal fatto che in presenza di un ricettore molto prossimo all'aerogeneratore, una porzione ampia di pala copre il disco solare così come osservato dal punto di vista del ricettore stesso, e, quindi, l'intensità del flicker risulta maggiormente percepibile. All'aumentare della distanza tra aerogeneratore e ricettore, le pale, durante il loro moto di rotazione, andranno a coprire una porzione sempre più piccola del disco solare, inducendo un effetto di flicker di minore intensità.

Alla luce di quanto sopra esposto, le relazioni spaziali tra un aerogeneratore ed un ricettore (abitazione), così come la direzione del vento risultano essere fattori chiave per la durata del fenomeno di shadow flicker. Per distanze dell'ordine dei 300-400 m, il fenomeno in esame potrebbe verificarsi all'alba oppure al tramonto, ovvero in quelle ore in cui le ombre risultano molto lunghe e la radiazione diretta è di minore intensità per effetto della piccola elevazione solare. Al di là di una certa distanza l'ombra smette di essere un problema perché il rapporto tra lo spessore della pala ed il diametro apparente del sole diventa molto piccolo. Quindi, come è facile immaginare, la condizione più penalizzante corrisponde al caso in cui il piano del rotore risulta ortogonale alla congiungente ricettore - sole; infatti, in tali condizioni, l'ombra proiettata darà origine ad un cerchio di diametro pari a quello del rotore del generatore eolico.

Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all'esterno, esso risulta evidente e fastidioso in quegli ambienti con finestrate rivolte verso le ombre. In generale, l'area soggetta a shadow flicker non si estende oltre i 500 m dall'aerogeneratore e le zone a maggiore impatto ricadono entro i 300 - 400 m di distanza dalle macchine; il flickering, se presente, non supera in genere i 30/40 minuti di durata potenziale nell'arco di una giornata.

L'intensità del fenomeno è definita come la differenza di luminosità che si percepisce in presenza ed in assenza di flickering in una data posizione.

In definitiva, si può affermare che:

- avendo le pale una forma rastremata con lo spessore che cresce verso il mozzo; il fenomeno risulterà tanto più intenso quanto maggiore sarà la porzione di disco solare coperta dalla pala stessa e quanto minore la distanza dal ricettore;
- l'intensità del flickering sarà minima quando l'ombra prodotta è generata all'estremità delle pale;
- maggiori distanze tra generatore e ricettore determinano ombre meno nette; in tal caso l'effetto flickering risulterà meno intenso e distinto.

### 3. CALCOLO DELLO SHADOW FLICKERING

#### 3.1 CONFIGURAZIONE D'IMPIANTO

Il Progetto di ammodernamento prevede l'installazione di n. 17 aerogeneratori per una potenza massima di 115,60 MW. La disposizione prevista per le turbine è riportata nella tabella 1.

Aerogeneratore	UTM - WGS84 – FUSO 33		Altitudine [m]
	Long. E [m]	Lat. N [m]	
WTG SGP1 NEW	535.952,00	4.559.648,00	409,0
WTG SGP03 NEW_R	536.865,00	4.559.559,00	373,5
WTG SGP05 NEW_R	535.801,00	4.558.969,70	390,9
WTG SGP7 NEW	536.791,50	4.558.771,00	364,0
WTG SGP8 NEW_R	538.996,20	4.559.295,40	324,8
WTG SGP10 NEW_R	539.450,60	4.559.679,30	317,0
WTG SGP12 NEW	537.421,80	4.558.449,80	343,0
WTG SGP14 NEW_R	537.873,00	4.557.630,00	325,2
WTG SGP17 NEW	538.191,00	4.558.710,00	317,0
WTG SGP18 NEW	538.753,00	4.557.903,00	303,5
WTG SGP20 NEW	539.328,00	4.557.453,00	307,5
WTG SG1 NEW	529.214,80	4.551.457,50	606,0
WTG SG3 NEW	529.792,50	4.550.256,40	568,0
WTG SG5 NEW_R	530.389,00	4.549.935,00	553,8
WTG SG11 NEW	529.864,00	4.551.068,00	564,0
WTG SG13 NEW_R	530.722,00	4.550.876,00	519,8
WTG SG15 NEW	532.005,20	4.550.472,40	495,0

Tabella 1: Coordinate UTM - WGS84 – fuso 33 degli aerogeneratori

La tabella 2 riporta la scheda riassuntiva delle principali caratteristiche della turbina tipo Vestas V172– HH 114m – 6,8 MW.

Potenza nominale	6.800 kW
Velocità di accensione	3 m / s
Velocità di spegnimento	25 m / s
<b>ROTORE</b>	
Diametro del rotore	170 m
Area spazzata	23.235 m <sup>2</sup>
Numero pale	3
Speed, Dynamic Operation Range	8,90 rpm

<b>TORRE</b>	
Altezza del mozzo	114 m

Tabella 2: Estratto delle specifiche tecniche turbina Vestas V172- HH 114m – 6,8 MW

### 3.2 INDIVIDUAZIONE DEI RICETTORI

Ai fini della previsione degli impatti indotti sulle abitazioni dall'impianto eolico in progetto sono stati individuati i ricettori presenti nei pressi degli aerogeneratori.

Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all'esterno, esso risulta evidente e fastidioso in quegli ambienti con finestrate che si trovano sul prolungamento della direttrice sole-turbina, per questo motivo, si è considerato nella simulazione la presenza di finestre di altezza 1 metro e larghezza 1 metro posizionate ad altezza dal suolo di 2 metri e disposte su tutte le facciate degli edifici. La tabella 3 riporta i riferimenti geografici dei fabbricati riscontrati e l'orientamento delle finestre ipotizzate.

Ricettore	Comune	Foglio	Particella	Destinazione d'uso	UTM - WGS84		Numero finestre e orientamento
					Long. E [m]	Lat. N [m]	
1	DELICETO	40	546	C02 - A03 - C06	536666,6563	4559972,95	4 ( 90° , 180° , 270° , 360° )
2	DELICETO	40	545 - 622 - 544	C02 - C06	536635,7246	4559975,411	4 ( 76° , 166° , 256° , 346° )
3	DELICETO	40	542	C02	536087,0374	4560353,681	4 ( 42° , 132° , 222° , 312° )
4	DELICETO	40	569	C02	536018,6578	4560414,199	4 ( 54° , 144° , 234° , 324° )
5	DELICETO	40	548 - 533 - 530 - 520 - 528	C02 - A03	536032,6558	4560332,459	4 ( 52° , 142° , 232° , 322° )
6	DELICETO	40	578 - 536	C02 - C06	536059,6758	4560304,637	4 ( 43° , 133° , 223° , 313° )
7	DELICETO	40	570	A04 - C02 - F05	536029,806	4560280,123	4 ( 47° , 137° , 227° , 317° )
8	DELICETO	40	535	C02	535993,6434	4560275,878	4 ( 48° , 138° , 228° , 318° )
9	SANT'AGATA DI PUGLIA	9	584	F02	535623,0769	4558980,377	4 ( 42° , 132° , 222° , 312° )
10	SANT'AGATA DI PUGLIA	10	258	D10	536137,3312	4559069,074	4 ( 11° , 101° , 191° , 281° )
11	SANT'AGATA DI PUGLIA	10	249	C02	536323,9017	4558947,539	4 ( 43° , 133° , 223° , 313° )
12	SANT'AGATA DI PUGLIA	9	559	A06	536379,2729	4558310,485	4 ( 45° , 135° , 225° , 315° )
13	SANT'AGATA DI PUGLIA	9	561	A06	536383,7875	4558278,679	4 ( 33° , 123° , 213° , 303° )
14	SANT'AGATA DI PUGLIA	9	562	C02	536376,9477	4558261,87	4 ( 31° , 121° , 211° , 301° )
15	SANT'AGATA DI PUGLIA	9	215	Censito catastalmente, ma non classato	536428,6587	4558169,845	4 ( 47° , 137° , 227° , 317° )
16	SANT'AGATA DI PUGLIA	9	448	Censito catastalmente, ma non classato	536557,628	4558308,64	4 ( 33° , 123° , 213° , 303° )
17	SANT'AGATA DI PUGLIA	12	451 - 452 - 282	C02	536793,2503	4558278,449	4 ( 32° , 122° , 212° , 302° )
18	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	5101	C02	537240,3767	4558884,86	4 ( 11° , 101° , 191° , 281° )
19	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	326	COSTR NO AB	537311,5289	4558952,421	4 ( 42° , 132° , 222° , 312° )
20	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	5102	C02	537340,6823	4558815,31	4 ( 6° , 96° , 186° , 276° )
21	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	436	Censito catastalmente, ma non classato	537365,3537	4558783,817	4 ( 18° , 108° , 198° , 288° )

Ricettore	Comune	Foglio	Particella	Destinazione d'uso	UTM - WGS84		Numero finestre e orientamento
					Long. E [m]	Lat. N [m]	
22	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	433	D10	537564,4111	4559021,96	4 ( 61° , 151° , 241° , 331° )
23	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	464 - 434	C02	537600,4633	4559025,358	4 ( 65° , 155° , 245° , 335° )
24	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	6	Censito catastalmente, ma non esistente	537647,2065	4558961,107	
25	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	416	A03 - C02	537686,6559	4559045,372	4 ( 44° , 134° , 224° , 314° )
26	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	459 - 460 - 461 - 462 - 463 - 466	A04 - C02	537575,1647	4559057,465	4 ( 60° , 150° , 240° , 330° )
27	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	458	C06	537599,2902	4559084,273	4 ( 53° , 143° , 233° , 323° )
28	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	430 - 344	C02 - A03	537657,1	4559132,211	4 ( 32° , 122° , 212° , 302° )
29	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	468	D10	537612,3582	4559140,529	4 ( 32° , 122° , 212° , 302° )
30	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	450 - 451	D10	537625,3647	4559168,494	4 ( 36° , 126° , 216° , 306° )
31	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	435 - 200 - 333 - 437 - 472 - 415 - 438	C02 - A04	537649,1386	4559194,425	4 ( 42° , 132° , 222° , 312° )
32	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	452 - 485 - 453 - 454	F01 - A04 - C02	537690,8719	4559176,903	4 ( 34° , 124° , 214° , 304° )
33	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	483 - 444 - 446 - 455 - 443	C02 - D10 - F02	537727,7193	4559192,377	4 ( 26° , 116° , 206° , 296° )
34	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	481	F02	537740,6803	4559227,164	4 ( 44° , 134° , 224° , 314° )
35	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	442 - 480	C02 - C06	537712,9022	4559220,036	4 ( 31° , 121° , 211° , 301° )
36	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	447 - 439 - 448 - 445 - 440 - 449 - 441	D10 - C02 - A04 - A03 - F02	537676,6983	4559230,434	4 ( 36° , 126° , 216° , 306° )
37	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	456 - 457	C02 - C06	537639,8442	4559249,523	4 ( 31° , 121° , 211° , 301° )
38	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	429	A03 - C02	537695,9729	4559294,508	4 ( 43° , 133° , 223° , 313° )
39	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	491 - 492 - 493	C02 - D10	537737,278	4559251,906	4 ( 45° , 135° , 225° , 315° )
40	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	487	D10 - A03	537763,1471	4559242,963	4 ( 48° , 138° , 228° , 318° )
41	SANT'AGATA DI PUGLIA	10	237	A07	538040,7841	4559501,985	4 ( 72° , 162° , 252° , 342° )
42	SANT'AGATA DI PUGLIA	10	238	C06	538090,9855	4559531,44	4 ( 8° , 98° , 188° , 278° )
43	SANT'AGATA DI PUGLIA	10	253 - 251 - 259 - 178 - 252 - 282 - 260	C02 - COSTR NO AB - A04	538238,1246	4559636,41	4 ( 28° , 118° , 208° , 298° )
44	SANT'AGATA DI PUGLIA	10	184 - 281 - 60 - 61 - 62 - 63 - 250 - 243 - 262	F02 - C02 - A04 - A03	538272,5682	4559667,428	4 ( 26° , 116° , 206° , 296° )
45	SANT'AGATA DI PUGLIA	10	176 - 261	FABB DIRUTO - C02	538304,7964	4559675,493	4 ( 28° , 118° , 208° , 298° )
46	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	405	C02 - A03	538370,2886	4559510,033	4 ( 78° , 168° , 258° , 348° )
47	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	5130	D10	538211,5644	4559455,666	4 ( 78° , 168° , 258° , 348° )
48	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	399	C02	538269,7324	4559427,401	4 ( 70° , 160° , 250° , 340° )
49	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	5121 - 5123 - 5124 - 5125 - 5126	A03 - F06	538219,4434	4559422,314	4 ( 69° , 159° , 249° , 339° )
50	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	413	C02	538168,0449	4559408,779	4 ( 78° , 168° , 258° , 348° )



Ricettore	Comune	Foglio	Particella	Destinazione d'uso	UTM - WGS84		Numero finestre e orientamento
					Long. E [m]	Lat. N [m]	
51	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	5103	A04 - C02 - C06	538230,3497	4559394,133	4 ( 76° , 166° , 256° , 346° )
52	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	425	F02	538554,1084	4559419,01	4 ( 54° , 144° , 234° , 324° )
53	SANT'AGATA DI PUGLIA	11	5113	D01	538623,9345	4559171,389	4 ( 69° , 159° , 249° , 339° )
54	SANT'AGATA DI PUGLIA	14	16	D10	539471,4131	4556687,875	4 ( 75° , 165° , 255° , 345° )
55	SANT'AGATA DI PUGLIA	12	360	Censito catastalmente, ma non classato	537994,8869	4557021,95	4 ( 46° , 136° , 226° , 316° )
56	SANT'AGATA DI PUGLIA	67	483	D10	528499,1463	4551370,246	4 ( 6° , 96° , 186° , 276° )
57	SANT'AGATA DI PUGLIA	67	486	Censito catastalmente, ma non classato	528598,2399	4551361,065	4 ( 90° , 180° , 270° , 360° )
58	SANT'AGATA DI PUGLIA	67	412	D10	528704,4602	4551215,516	4 ( 20° , 110° , 200° , 290° )
59	SANT'AGATA DI PUGLIA	67	411	C02	528637,241	4551211,396	4 ( 28° , 118° , 208° , 298° )
60	SANT'AGATA DI PUGLIA	67	420	A03 - C06 - C02	528919,1002	4550785,495	4 ( 16° , 106° , 196° , 286° )
61	SANT'AGATA DI PUGLIA	67	448 - 375 - 496	A03 - A06 - C02	528895,3008	4550739,321	4 ( 14° , 104° , 194° , 284° )
62	SANT'AGATA DI PUGLIA	67	447	C02	528928,4132	4550750,083	4 ( 15° , 105° , 195° , 285° )
63	SANT'AGATA DI PUGLIA	67	497 - 498	F02	528924,1693	4550720,214	4 ( 20° , 110° , 200° , 290° )
64	SANT'AGATA DI PUGLIA	67	482	A03 - C6	528968,3051	4550704,557	4 ( 17° , 107° , 197° , 287° )
65	SANT'AGATA DI PUGLIA	67	165	Censito catastalmente, ma non esistente	529271,9528	4550920,801	-
66	SANT'AGATA DI PUGLIA	71	615 - 620 - 619 - 589 - 628	A04 - C02 - CA03 - F02	529314,4865	4550697,055	4 ( 26° , 116° , 206° , 296° )
67	SANT'AGATA DI PUGLIA	71	614 - 462 - 590	C02 - FABB. DIRUTO	529336,2622	4550696,015	4 ( 24° , 114° , 204° , 294° )
68	SANT'AGATA DI PUGLIA	71	616 - 577	C06 - C02	529284,6574	4550678,682	4 ( 28° , 118° , 208° , 298° )
69	SANT'AGATA DI PUGLIA	67	429	A03 - C06 - C02	529228,196	4550663,699	4 ( 26° , 116° , 206° , 296° )
70	SANT'AGATA DI PUGLIA	71	545	COSTR. NO AB	529284,22	4550651,794	4 ( 20° , 110° , 200° , 290° )
71	SANT'AGATA DI PUGLIA	71	598 - 546 - 597 - 601 - 602 - 603 - 604 - 553 - 606 - 607 - 608 - 609 - 610 - 338 - 198 - 629	D10 - COSTR. NO AB. - C02 - A06 -	529269,1007	4550614,573	4 ( 28° , 118° , 208° , 298° )
72	SANT'AGATA DI PUGLIA	71	588 - 586 - 544 - 587 - 576 - 585 - 584	F02 - C02 - A04 - A03	529217,787	4550588,445	4 ( 31° , 121° , 211° , 301° )
73	SANT'AGATA DI PUGLIA	71	611	D10	529254,4543	4550581,65	4 ( 32° , 122° , 212° , 302° )
74	SANT'AGATA DI PUGLIA	71	596	D10	529223,9738	4550546,948	4 ( 33° , 123° , 213° , 303° )
75	SANT'AGATA DI PUGLIA	71	571	A03	529204,5147	4550494,161	4 ( 29° , 119° , 209° , 299° )
76	SANT'AGATA DI PUGLIA	78	3	FAB DIRUTO	529338,5305	4550128,767	4 ( 13° , 103° , 193° , 283° )
77	SANT'AGATA DI PUGLIA	78	713	C02 - C06 - A03	529711,4035	4549799,805	4 ( 7° , 97° , 187° , 277° )
78	SANT'AGATA DI PUGLIA	78	24	Censito catastalmente, ma non classato	529637,6565	4549771,228	4 ( 53° , 143° , 233° , 323° )



Ricettore	Comune	Foglio	Particella	Destinazione d'uso	UTM - WGS84		Numero finestre e orientamento
					Long. E [m]	Lat. N [m]	
79	SANT'AGATA DI PUGLIA	78	717	F02	529729,0202	4549598,882	4 ( 25° , 115° , 205° , 295° )
80	SANT'AGATA DI PUGLIA	78	726	A03	529808,9371	4549703,615	4 ( 30° , 120° , 210° , 300° )
81	SANT'AGATA DI PUGLIA	78	725	C02	529789,117	4549706,073	4 ( 31° , 121° , 211° , 301° )
82	SANT'AGATA DI PUGLIA	78	727	C02	529816,7211	4549715,94	4 ( 31° , 121° , 211° , 301° )
83	SANT'AGATA DI PUGLIA	71	512	C02	529808,826	4549817,265	4 ( 8° , 98° , 188° , 278° )
84	SANT'AGATA DI PUGLIA	71	511	A03	529802,3859	4549799,783	4 ( 9° , 99° , 189° , 279° )
85	SANT'AGATA DI PUGLIA	78	746	C02 - A04	530341,5375	4549459,153	4 ( 22° , 112° , 202° , 292° )
86	SANT'AGATA DI PUGLIA	71	290	FABB. DIRUTO	530958,5856	4549826,515	4 ( 24° , 114° , 204° , 294° )
87	SANT'AGATA DI PUGLIA	71	265	Censito catastalmente, ma non esistente	530092,2086	4550367,198	-
88	SANT'AGATA DI PUGLIA	72	168	C02 - A03	530245,6297	4551391,228	4 ( 6° , 96° , 186° , 276° )
89	SANT'AGATA DI PUGLIA	72	161	D10 - A06	530199,2188	4551393,155	4 ( 5° , 95° , 185° , 275° )
90	SANT'AGATA DI PUGLIA	72	164	A03 - C06 - C03	530249,343	4551532,708	4 ( 3° , 93° , 183° , 273° )
91	SANT'AGATA DI PUGLIA	72	154	C2 - A7	530350,6521	4551519,257	4 ( 9° , 99° , 189° , 279° )
92	SANT'AGATA DI PUGLIA	71	623 - 624 - 172 - 626 - 627 - 621 - 176 - 625	C02 - A04 - F02	531418,8797	4550250,008	4 ( 51° , 141° , 231° , 321° )
93	SANT'AGATA DI PUGLIA	74	89	C02	531321,0731	4550607,783	4 ( 55° , 145° , 235° , 325° )
94	SANT'AGATA DI PUGLIA	74	86	A06 - D10	531423,1086	4550703,959	4 ( 45° , 135° , 225° , 315° )
95	SANT'AGATA DI PUGLIA	75	78	Censito catastalmente, ma non esistente	531826,6749	4551009,982	-
96	SANT'AGATA DI PUGLIA	75	142	D10 - A02	532115,5337	4551101,009	4 ( 23° , 113° , 203° , 293° )
97	SANT'AGATA DI PUGLIA	75	139	C02 - F02	532157,5197	4551030,395	4 ( 5° , 95° , 185° , 275° )
98	SANT'AGATA DI PUGLIA	75	143	A03 - C2	532123,698	4551030,944	4 ( 74° , 164° , 254° , 344° )
99	SANT'AGATA DI PUGLIA	76	145 - 146 - 147 - 148 - 149 - 150	C02 / F2	532633,6407	4550779,035	4 ( 44° , 134° , 224° , 314° )

Tabella 3: Coordinate UTM - WGS84 – fuso 33 puntuali dei ricettori

Alcuni fabbricati individuati nell'area sono edifici abbandonati in pessime condizioni, per lo più diruti o semidiruti, altri sono depositi connessi ad attività agricole utilizzati come ricovero per mezzi e materiali. Questi fabbricati sebbene ivi riportati solo per completezza di analisi non verranno considerati nello studio che segue, in quanto la presenza di persone è solo saltuaria e per brevi periodi. Nelle elaborazioni che seguono verranno considerati solo i fabbricati potenzialmente abitabili, evidenziati in grigio in tabella 3.

### 3.3 METODOLOGIA DI CALCOLO

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

	<p>1MTGFJ4_DocumentazioneSpecialistica_04</p> <p>RELAZIONE DI SHADOW FLICKERING</p> <p><i>Proposta di ammodernamento complessivo ("repowering") del "Parco Eolico Sant'Agata" esistente da 72MW, con smantellamento degli attuali 36 aerogeneratori e sostituzione in riduzione degli stessi con l'installazione di 17 aerogeneratori, per una potenza totale definitiva di 115,6 MW</i></p>	
<p>Codifica Elaborato: <b>224302_D_R_0118</b> Rev. <b>01</b></p>		

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

Al fine di calcolare la posizione relativa del sole nell'arco di un anno rispetto al parco eolico ed ai ricettori è necessario definire la longitudine, la latitudine ed il fuso orario dell'area interessata dal progetto.

Nello specifico è stato impiegato il modulo shadow flickering del software WindFarm (ReSoft Limited©). Esso consente di analizzare la posizione del sole nell'arco di un anno allo scopo di identificare i tempi in cui ogni aerogeneratore può proiettare ombre sulle finestre delle abitazioni vicine.

In particolare, il modello permette di:

- calcolare il potenziale per le ombre intermittenti alle finestre delle abitazioni;
- mostrare un calendario grafico degli eventi di flickering;
- mostrare un elenco dettagliato di ciascun evento di ombreggiamento (ora di inizio, di fine, durata del fenomeno, aerogeneratore/i coinvolti ecc...);
- creare mappe di impatto potenziale che mostrano le ore d'ombra intermittente per l'intero parco eolico o per le singole macchine (curve di isodurata) nell'arco dell'anno.

Al di là di una certa distanza, come già osservato, l'ombra smette di essere un problema perché il rapporto tra lo spessore della pala e il diametro apparente del disco solare diventa piccolo. Poiché non vi è un valore generalmente accettato per questa distanza massima, WindFarm permette di specificare il limite in metri o multipli del diametro della turbina o dell'altezza complessiva del generatore eolico.

Nello specifico, nel caso in esame, per quanto concerne le simulazioni effettuate, si è assunta una distanza massima di influenza del fenomeno in esame pari a circa 8 volte l'altezza dell'aerogeneratore di progetto ed un angolo minimo di altezza del sole sull'orizzonte pari a 2°. Tali assunzioni di input al modello risultano molto conservative in relazione a quanto espresso sopra in termini teorici in riferimento al fenomeno di shadow flickering.

Il software utilizza una serie di dati di input caratterizzanti quali:

- l'altimetria della zona simulata;
- la disposizione geografica delle turbine e dimensione geometrica dei loro componenti (torre e pale);
- la disposizione geografica dei "ricettori sensibili" (abitazioni e relative finestre);
- la latitudine e longitudine dell'area interessata.

Sulla base di questi dati il software calcola il numero di ore annue di esposizione allo shadow flickering per ciascun nodo del grigliato che copre l'intera area, nonché il numero di ore di esposizione per gli ambienti abitativi attraverso le finestre.

Per l'esecuzione della simulazione sono stati fissati i seguenti parametri:

- coordinate baricentriche (UTM-WGS84-FUSO 33): 534361E, 4554706N,
- coordinate UTM-WGS84-FUSO 33 delle turbine considerate (vedi tabella 1),
- coordinate UTM-WGS84-FUSO 33 dei ricettori considerati e disposizione delle finestre (vedi tabella 3),
- raggio d'influenza massimo: 1,5 km dal punto di installazione dell'aerogeneratore,
- altezza del punto di vista dell'osservatore: 2 m,
- parametri turbina tipo Vestas V172- HH 114m – 6,8 MW:
  - diametro rotore: 172 m,
  - altezza torre: 200 m,
  - larghezza media della pala: 3 m.

Il calcolo viene effettuato dal software nella condizione più sfavorevole possibile (caso peggiore), in quanto si considera che:

- il sole splenda per tutta la giornata, dall'alba al tramonto (cioè si è sempre in assenza di copertura nuvolosa);
- il piano di rotazione delle pale sia sempre perpendicolare alla direttrice sole-aerogeneratore (l'aerogeneratore "insegue" il sole);
- gli aerogeneratori siano sempre operativi;
- non siano presenti alberi o altri ostacoli che, intercettando l'ombra degli aerogeneratori, riducano o annullino il fastidio del

flickering.

In particolare, il modello numerico utilizzato, al pari degli altri presenti sul mercato, produce in output una mappa di impatto nel caso più penalizzante (WORST CASE), corrispondente alle ore in cui il sole permane al di sopra dell'orizzonte nell'arco dell'anno (ore di luce, circa 4465h/a), indipendentemente dalla presenza o meno di nubi, le quali inciderebbero il fenomeno stesso dello shadow flickering per l'impossibilità che si generino ombre.

Quindi, allo scopo di pervenire a valori più realistici di impatto, prossimi al caso reale (REAL CASE), si dovrebbe considerare il valore di eliofania locale, ovvero il numero di ore di cielo libero da nubi durante il giorno. Per l'area in esame tale valore corrisponde a circa 2460 h/a come riscontrato presso la Stazione meteorologica di Foggia Amendola, e verificato (Riferimento Pinna M. (1985). L'eliofania in Italia. Mem. Soc. Geogr. It., e Lavagnini A., Martorelli S., Coretti C. (1987). Radiazione solare in Italia. Mappe mensili della radiazione globale giornaliera. Roma, CNR, Ist. Fis. Atm.), quindi, i risultati del calcolo possono, ragionevolmente, essere abbattuti del 44.9%, pari al complemento a 1 del rapporto  $2460/4465 = 55,1\%$ .

In altri termini, rispetto al WORST CASE, la probabilità di occorrenza del fenomeno di shadow flickering si riduce realisticamente, per l'area in esame, al 55,1 % del valore calcolato dal modello impiegato e che corrisponde proprio alla probabilità che il disco solare risulti libero da nubi.

Inoltre, dal momento che il fenomeno in esame è prodotto dalla contemporanea presenza di sole libero da nubi (potenzialità di generare ombre) e di velocità del vento superiori a quella di cut-in (rotore in moto), i valori calcolati dal modello (considerando la condizione più penalizzante di rotore permanentemente in moto) possono essere ulteriormente abbattuti di una percentuale corrispondente alle ore annue di effettivo funzionamento macchina rispetto al totale delle ore in un anno (8760 h).

Per l'impianto in esame le ore macchina si stimano all'incirca pari all'85% delle ore anno, ovvero 7446 ore, quindi la probabilità che il rotore di un aerogeneratore risulti in movimento è appunto dell'ordine dell'85 % (pari al rapporto  $7446/8760$ ).

In definitiva, i valori calcolati dal modello numerico (ore di ombreggiamento intermittente all'anno) possono, realisticamente, essere ridotti di un fattore pari al complemento a 1 del prodotto  $85\% \times 55,1\% = 46,8\%$ , ovvero del 53,2 %, corrispondente alla probabilità composta di avere contemporaneamente l'occorrenza di rotore in moto (vento) e sole libero da nubi (ombre), fenomeni, questi ultimi, stocasticamente indipendenti per cui la probabilità composta risulta pari al prodotto delle singole probabilità.

### 3.4 RISULTATI

Al fine di verificare la presenza e l'intensità del fenomeno dello shadow flickering indotto dal parco eolico in progetto sono state effettuate una serie di simulazioni con software dedicato che tiene conto:

- della latitudine locale, allo scopo di considerare il corretto diagramma solare;
- della geometria effettiva delle macchine previste, ed in particolare dell'altezza complessiva di macchina, intesa come somma tra l'altezza del mozzo ed il raggio del rotore;
- dell'orientamento del rotore rispetto al ricettore;
- della posizione del sole e quindi della proiezione dell'ombra rispetto ai ricettori;
- dell'orografia locale, tramite un modello digitale del terreno (DTM);
- della posizione dei possibili ricettori (abitazioni), nonché degli aerogeneratori (layout di progetto).

Come sopra accennato, le simulazioni effettuate sono state condotte in condizioni conservative, assumendo il cielo completamente sgombro da nubi, foschia, ecc. e nessun ostacolo interposto tra i ricettori individuati e gli aerogeneratori previsti in progetto.

Il programma effettua il calcolo delle ore del giorno in cui si potrebbe avere l'effetto del flickering sul ricettore considerato, facendo la somma dei minuti in cui il fenomeno risulta presente. Effettua poi la somma teorica dei minuti di ciascun mese (worst case) che poi può essere ridotta in considerazione delle giornate soleggiate, dell'operatività effettiva dell'impianto eolico, della direzione del vento ecc. Inoltre, avendo calcolato geometricamente l'evoluzione delle ombre durante la giornata, è possibile identificare l'area in cui avviene il fenomeno dello shadow flickering per ciascun aerogeneratore. Si ottengono così i dati sinteticamente riportati nelle seguenti figure.

La frequenza dello shadow flickering è correlata alla velocità di rotazione del rotore; le frequenze tipiche per le macchine considerate nel presente progetto sono dell'ordine di  $0,7 \div 1,5$  Hz (circa un passaggio al secondo). In termini di impatto sulla popolazione, tali

frequenze sono innocue; basti pensare che le lampade stroboscopiche, largamente impiegate nelle discoteche, producono frequenze comprese tra 5 e 10 Hz.

Le distanze reciproche tra generatori eolici e ricettori, le condizioni orografiche del sito considerato, determinano la pressoché totale assenza del fenomeno in esame. È comunque utile sottolineare che, a vantaggio di sicurezza, le simulazioni effettuate sono state eseguite in condizioni non realistiche, ipotizzando che si verificano contemporaneamente le condizioni più sfavorevoli per un determinato ricettore potenzialmente soggetto a shadow flickering, ovvero concomitanza dei seguenti fattori: assenza di nuvole o nebbia, rotore frontale ai ricettori, rotore in movimento continuo, assenza di ostacoli, luce diretta ecc.

Si riporta di seguito la mappa d'impatto potenziale shadow flickering per singolo aerogeneratore, nel caso più penalizzante (WORST CASE):

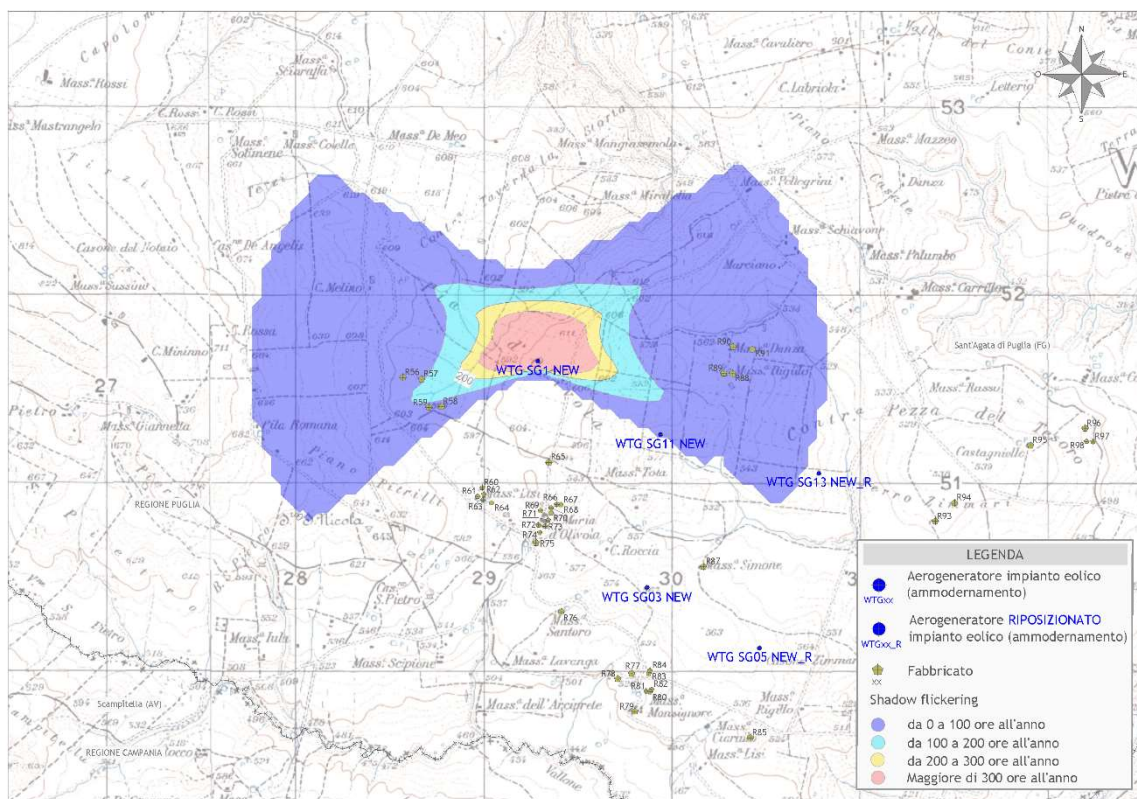


Figura 2 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG SG1 NEW

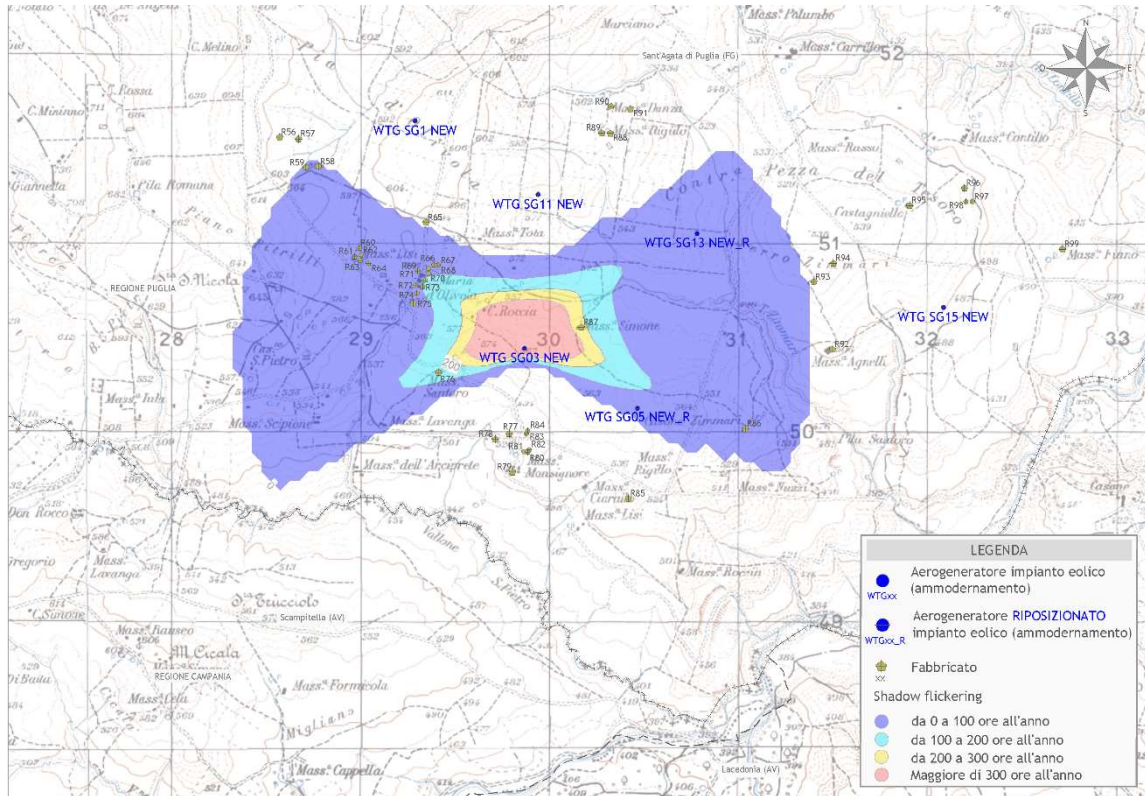


Figura 3 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG SG03 NEW

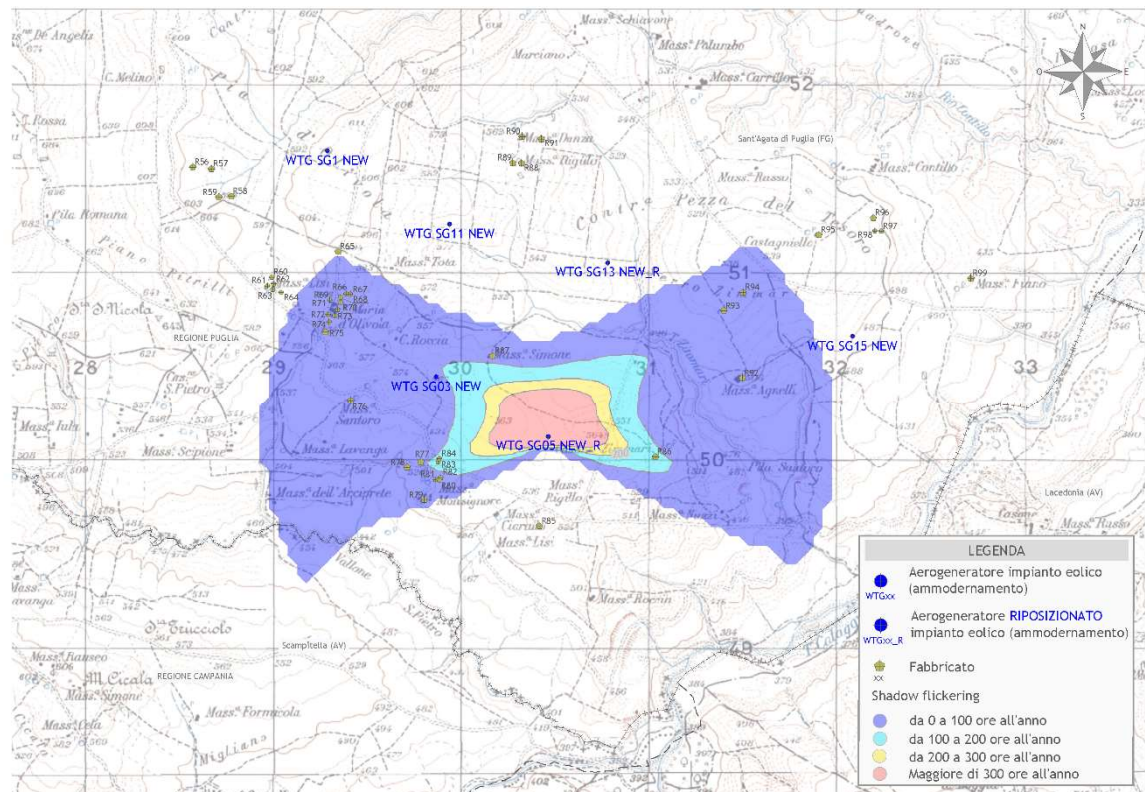


Figura 4 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG SG05 NEW\_R

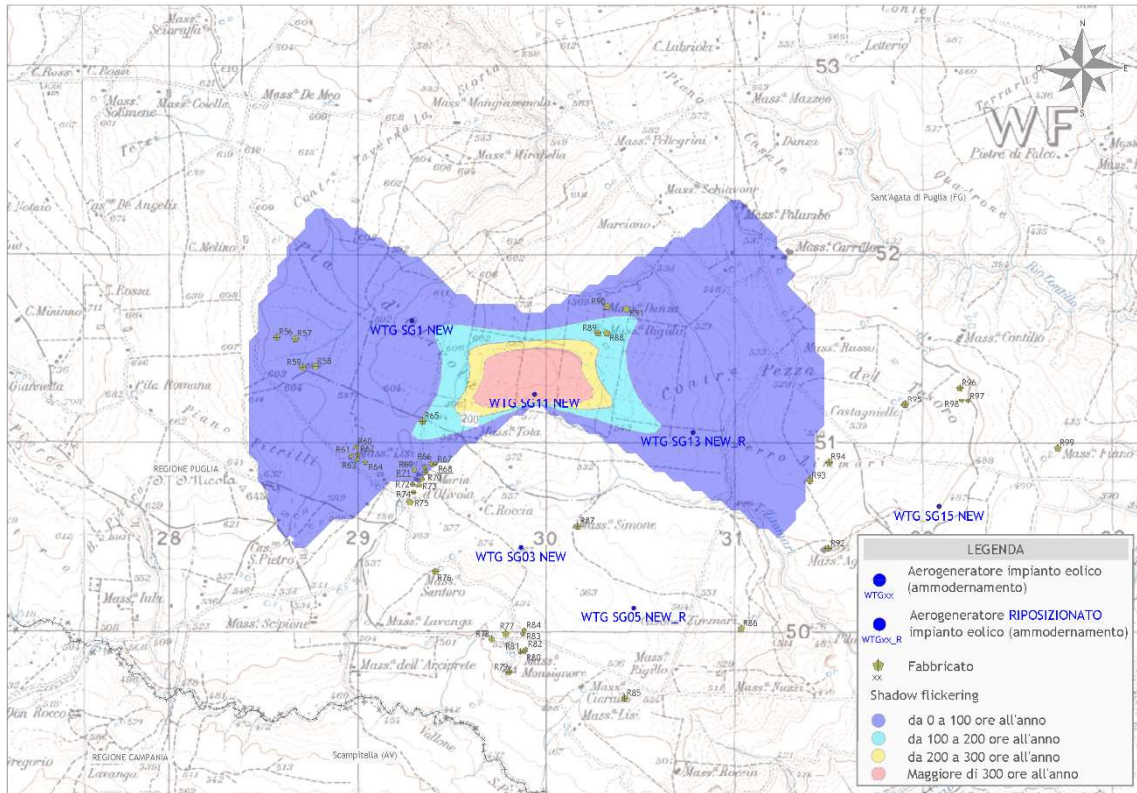


Figura 5 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG SG11 NEW

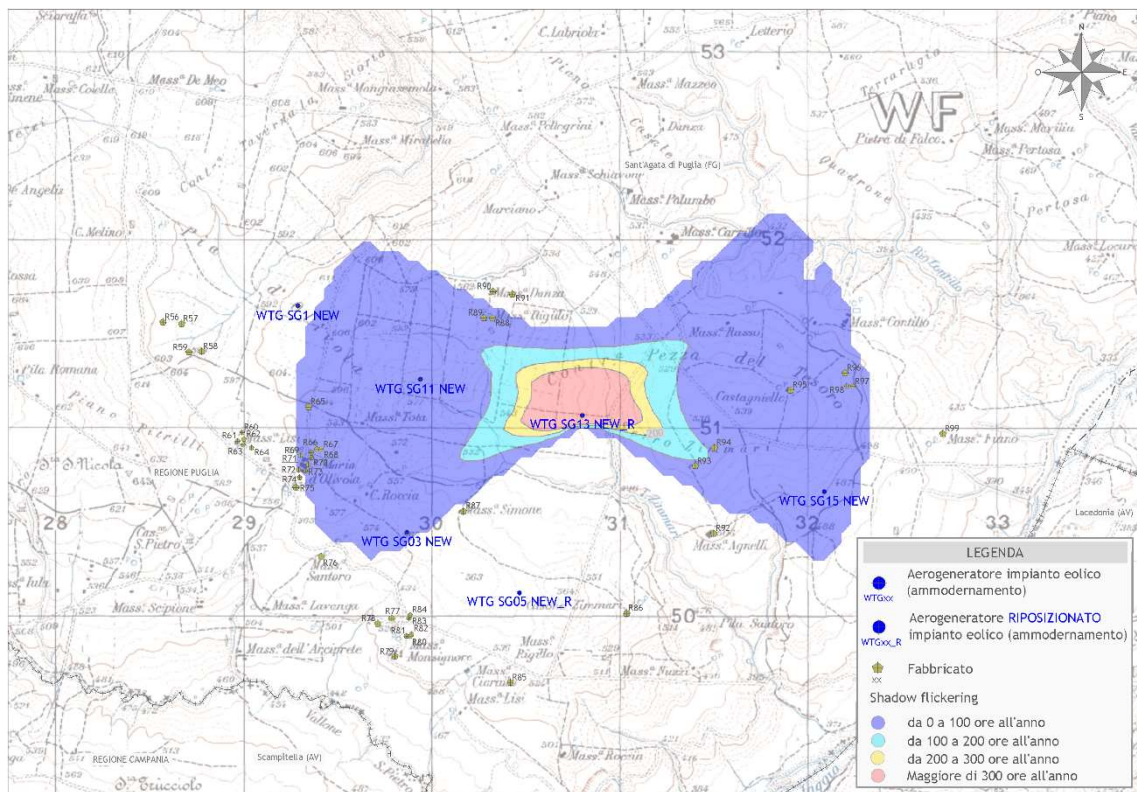


Figura 6 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG SG13 NEW\_R

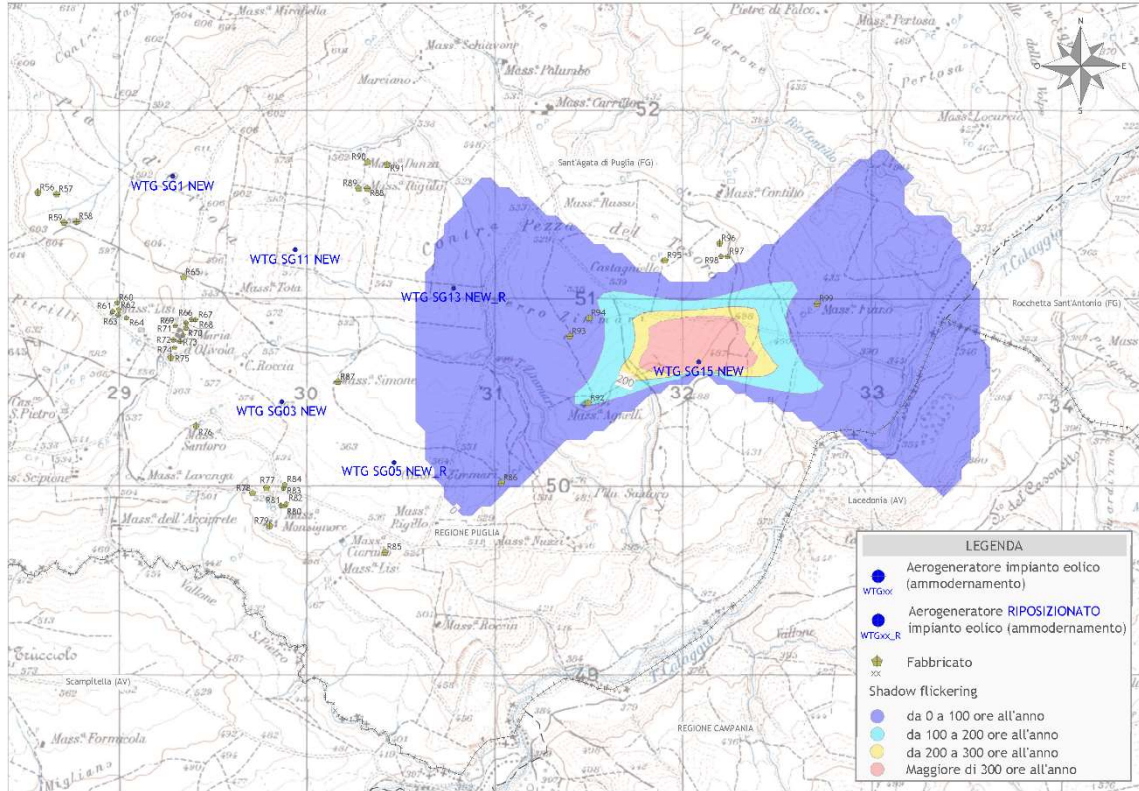


Figura 7 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG SG15 NEW

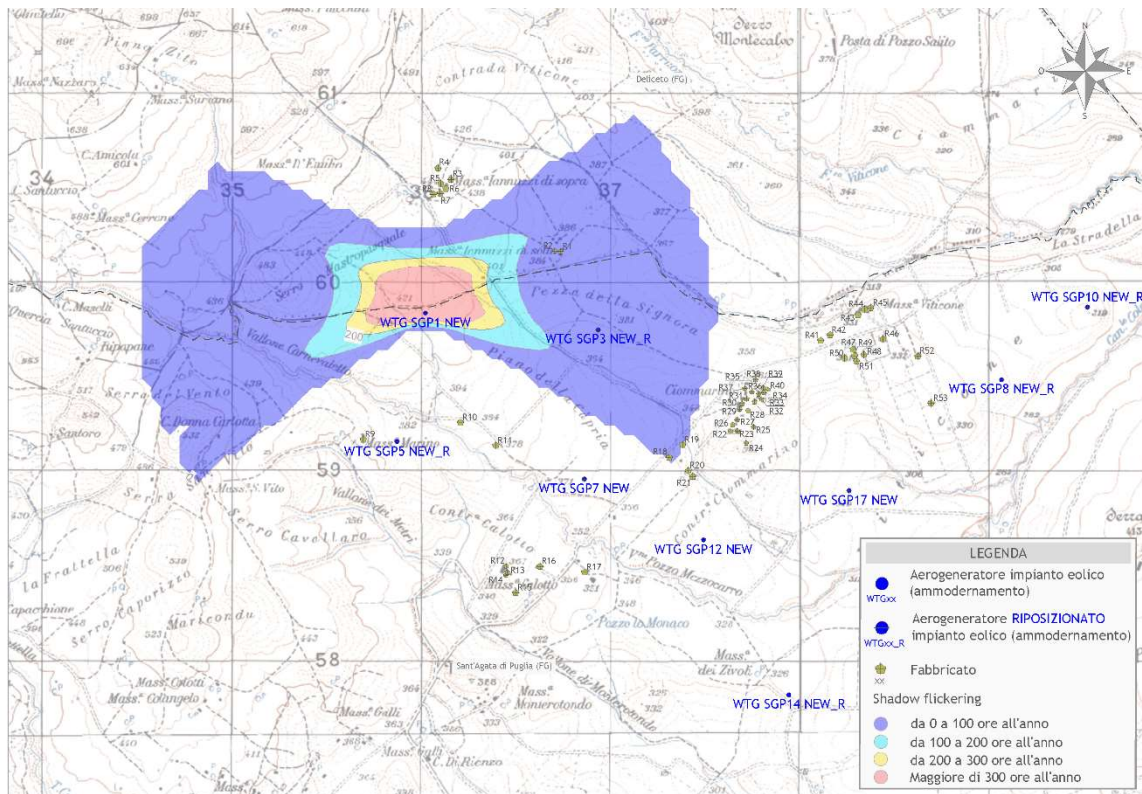


Figura 8 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG SGP1 NEW



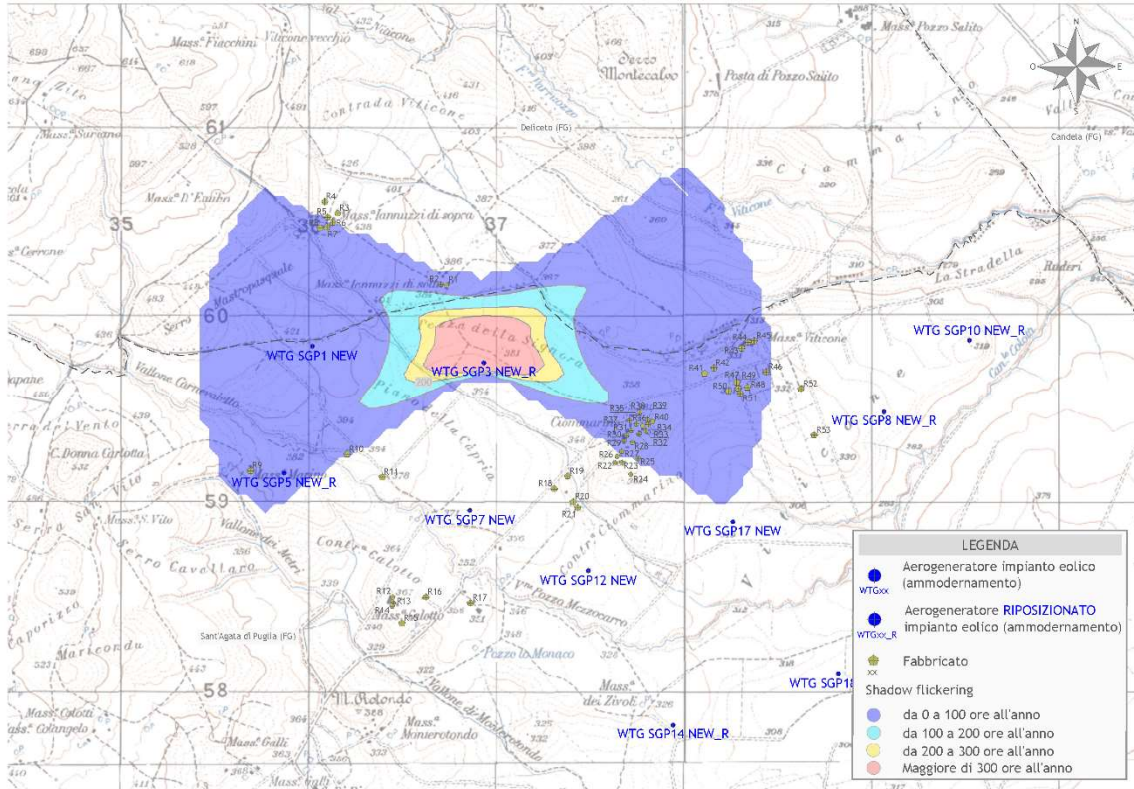


Figura 9 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG SGP3 NEW\_R

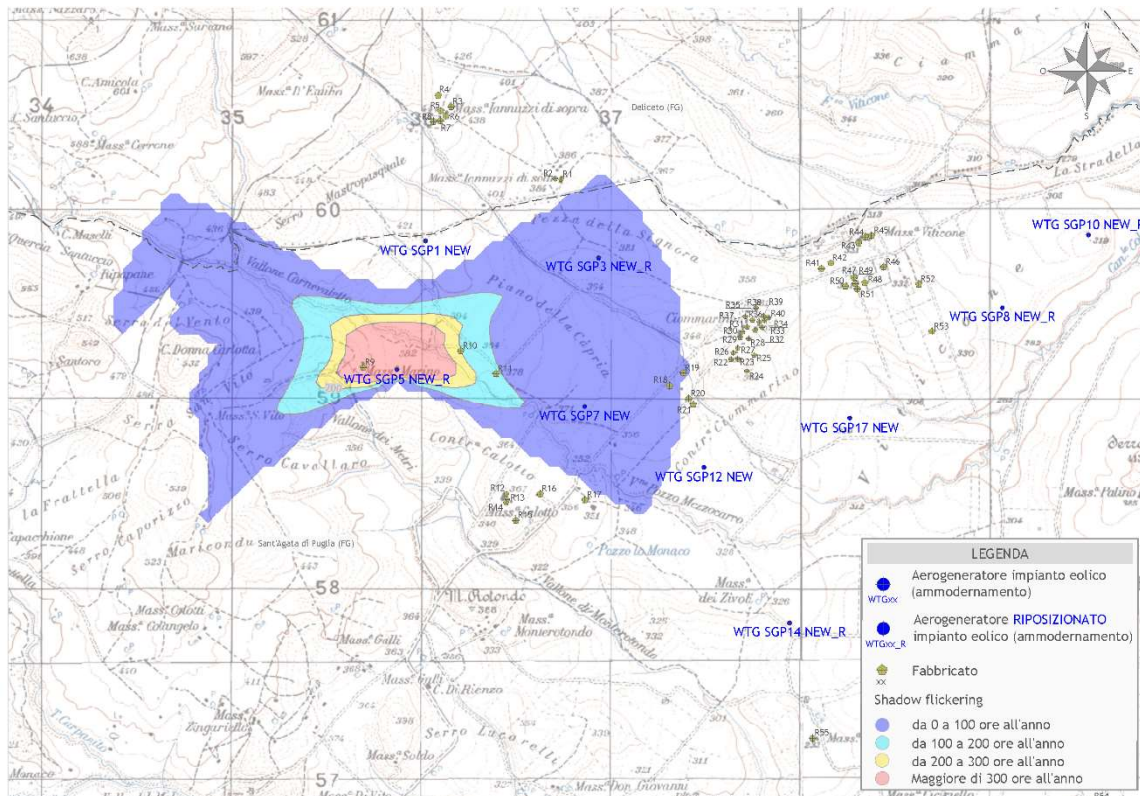


Figura 10 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG SGP5 NEW\_R

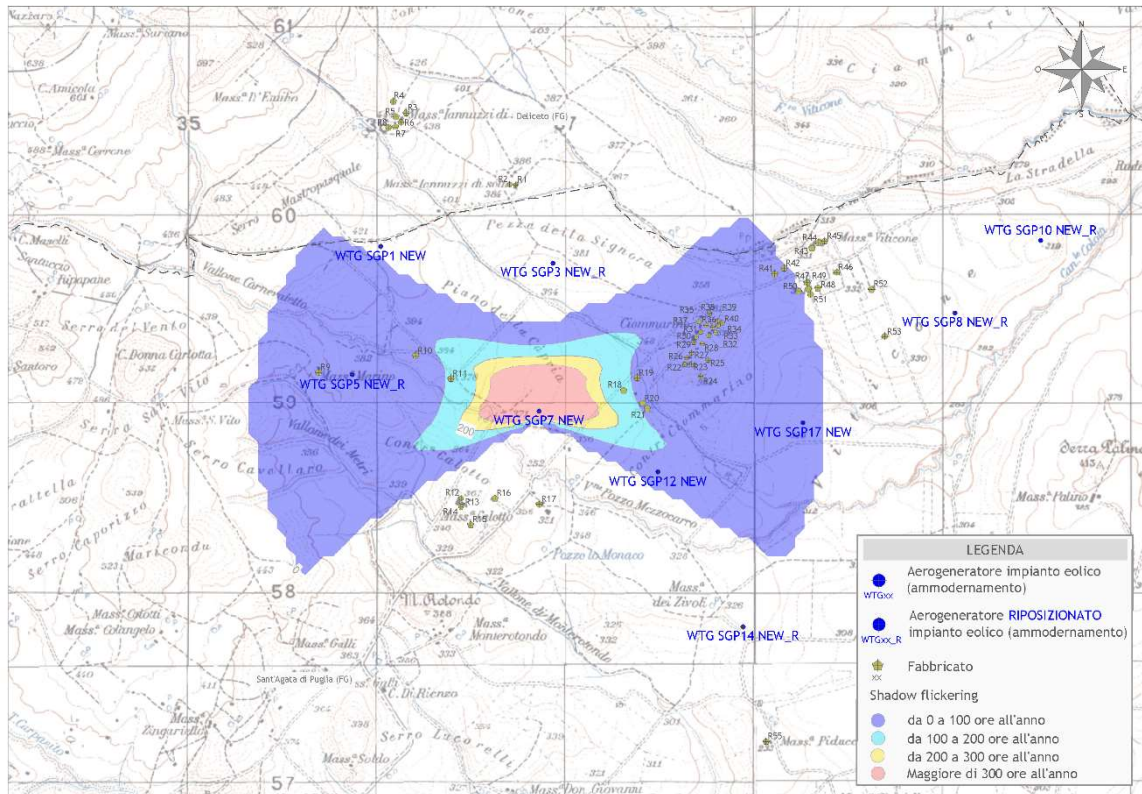


Figura 11 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG SGP7 NEW

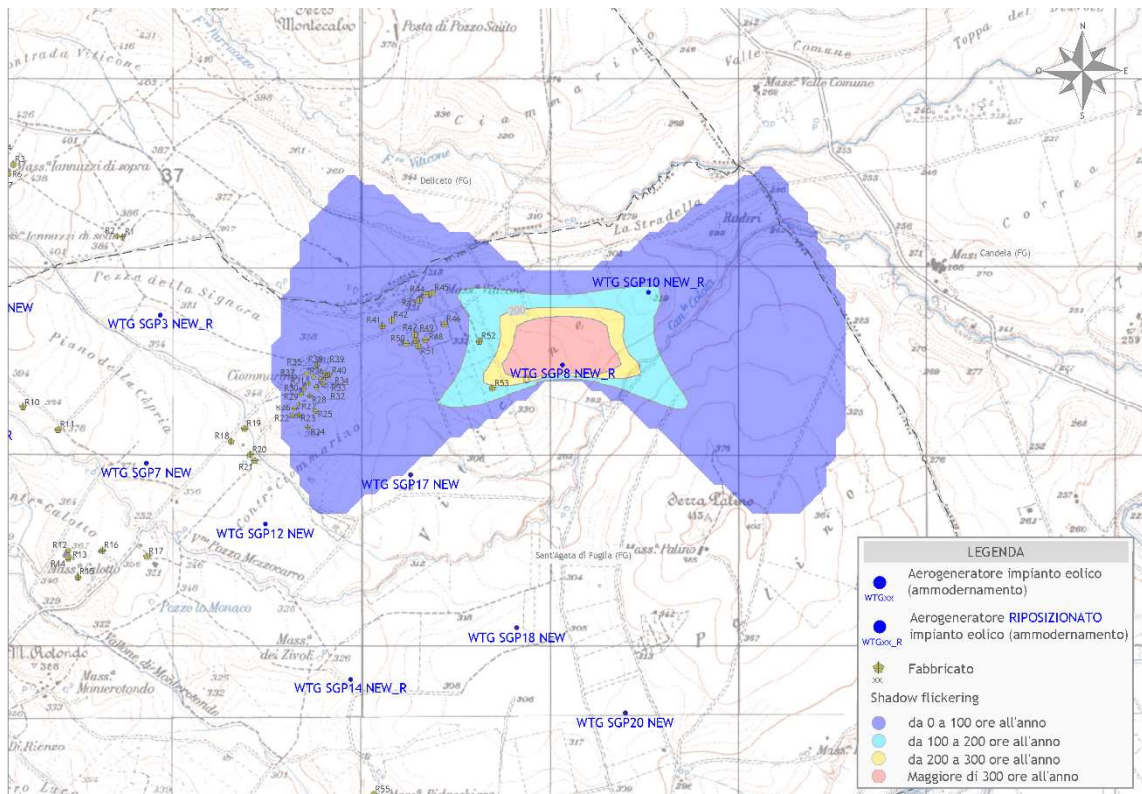


Figura 12 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG SGP8 NEW\_R

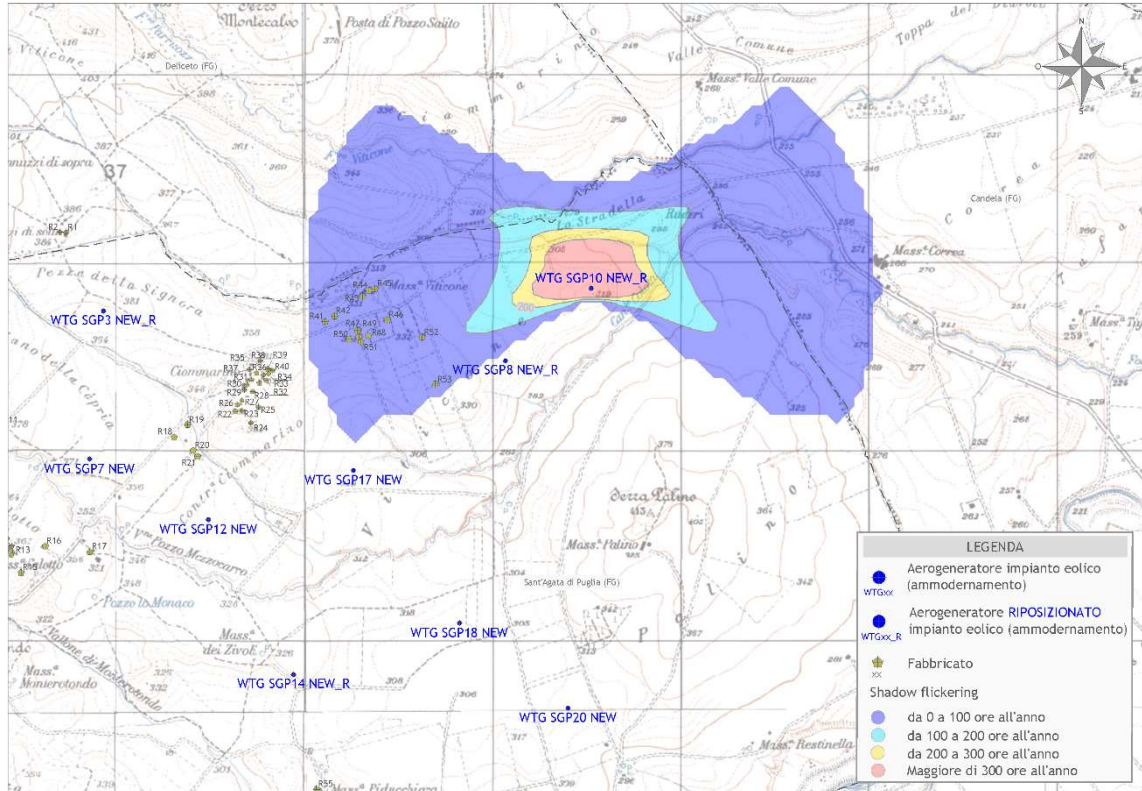


Figura 13 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG SGP10 NEW\_R

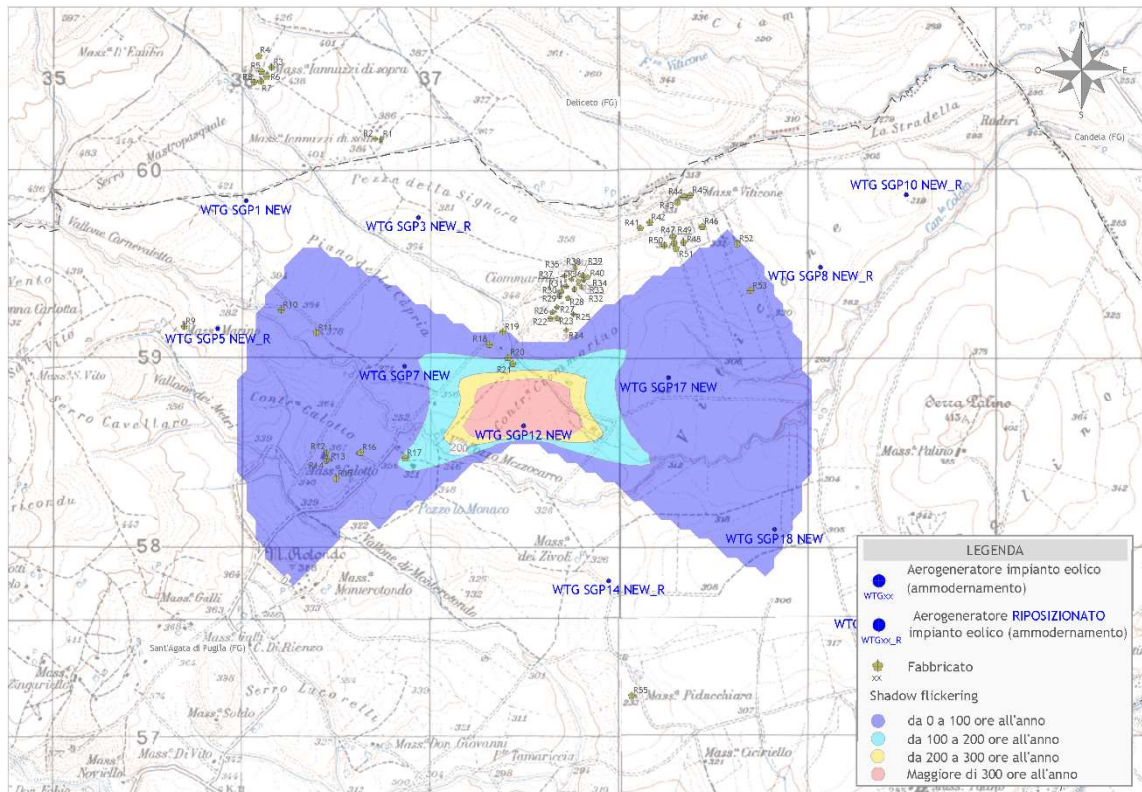


Figura 14 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG SGP12 NEW

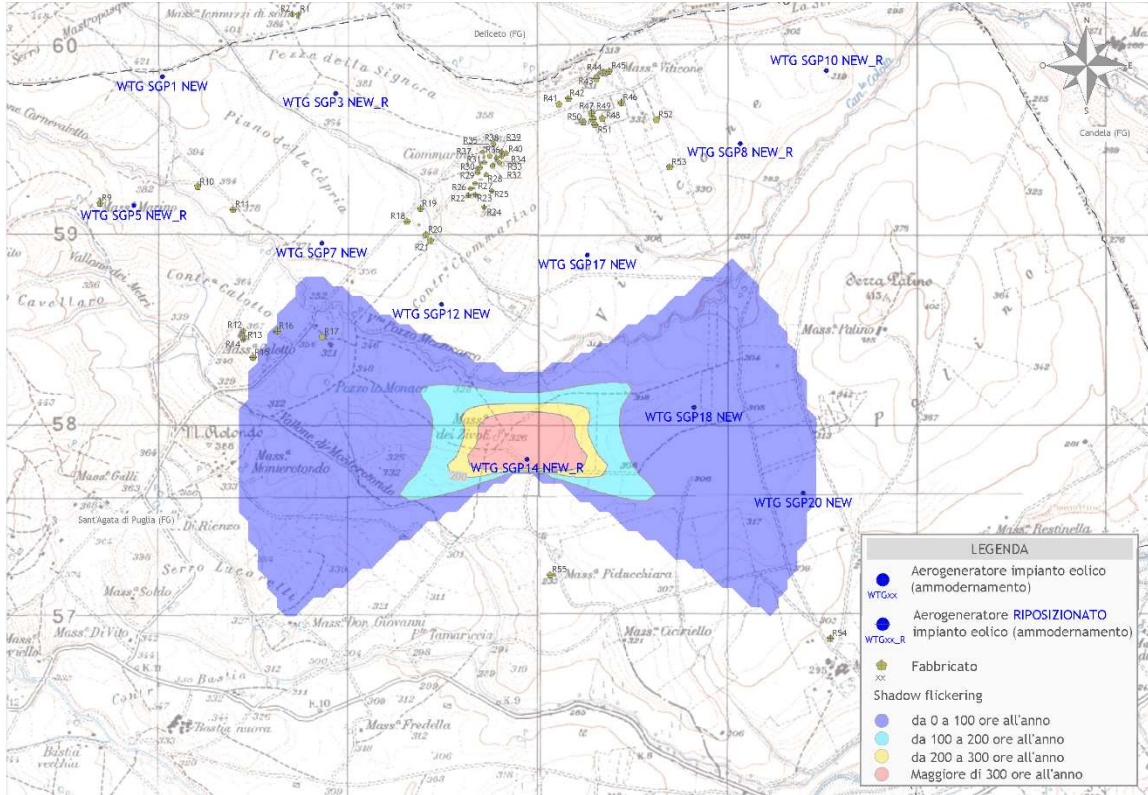


Figura 15 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG SGP14 NEW\_R

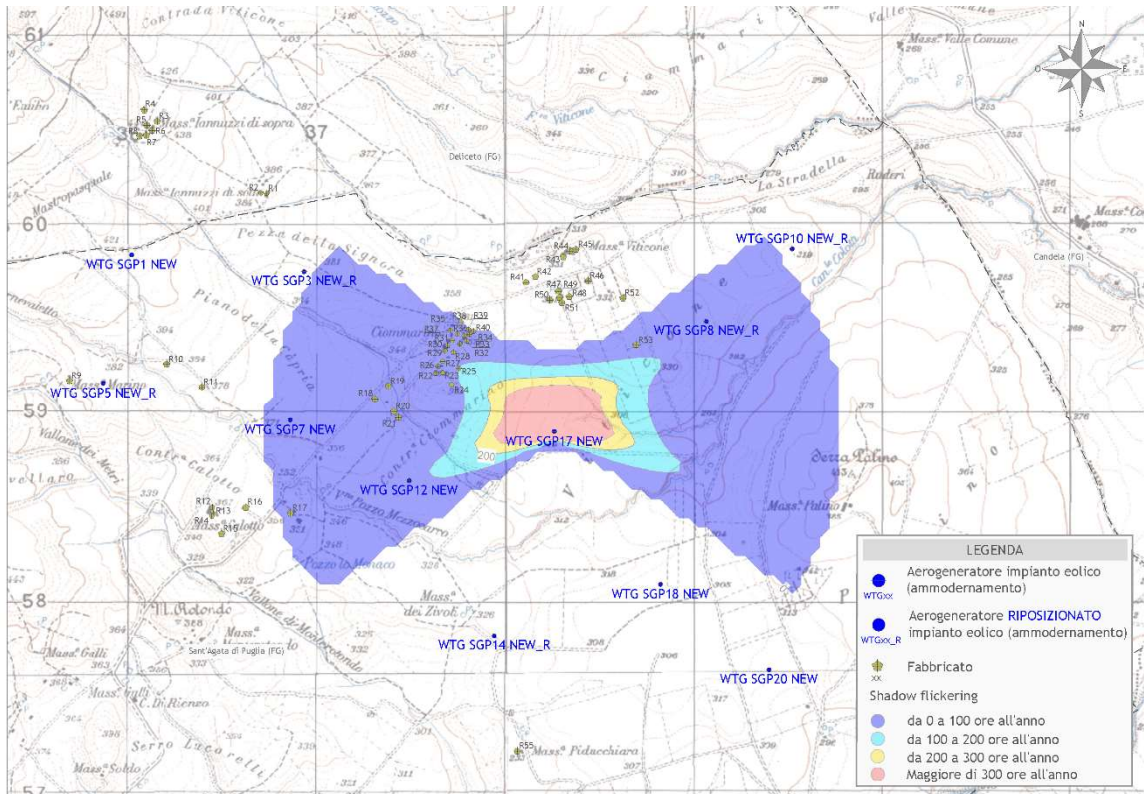


Figura 16 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG SGP17 NEW

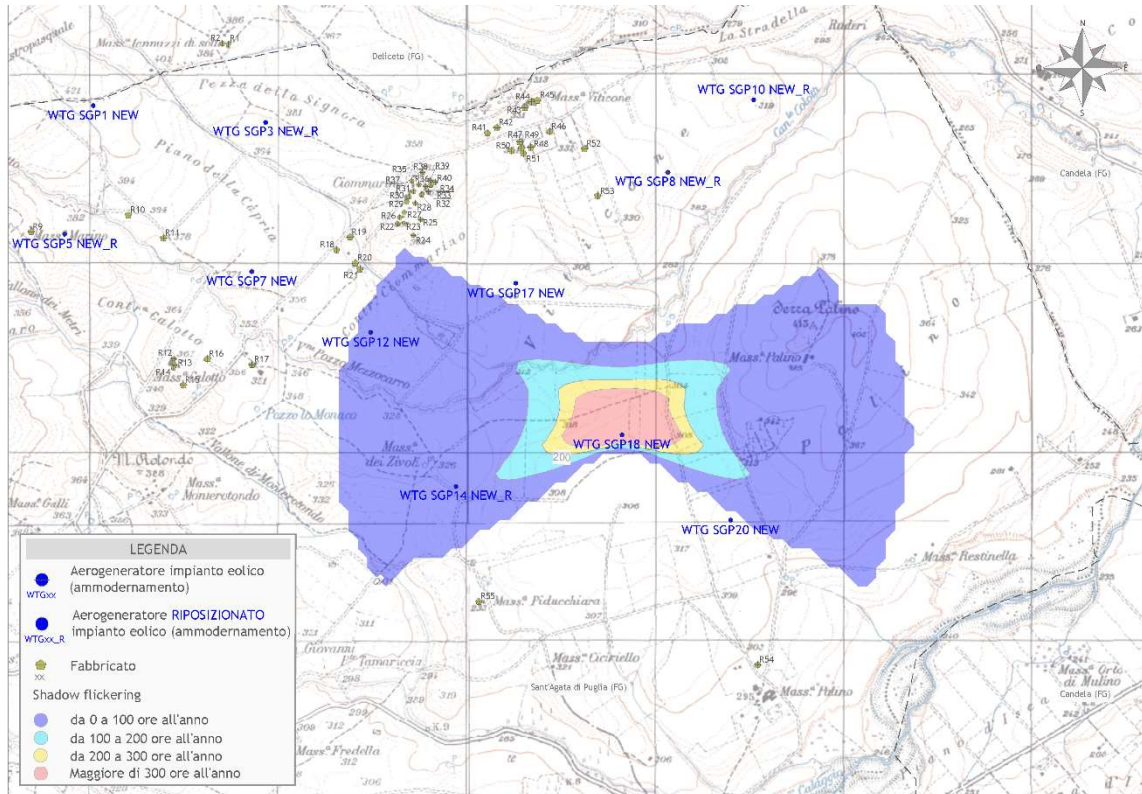


Figura 17 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG SGP18 NEW

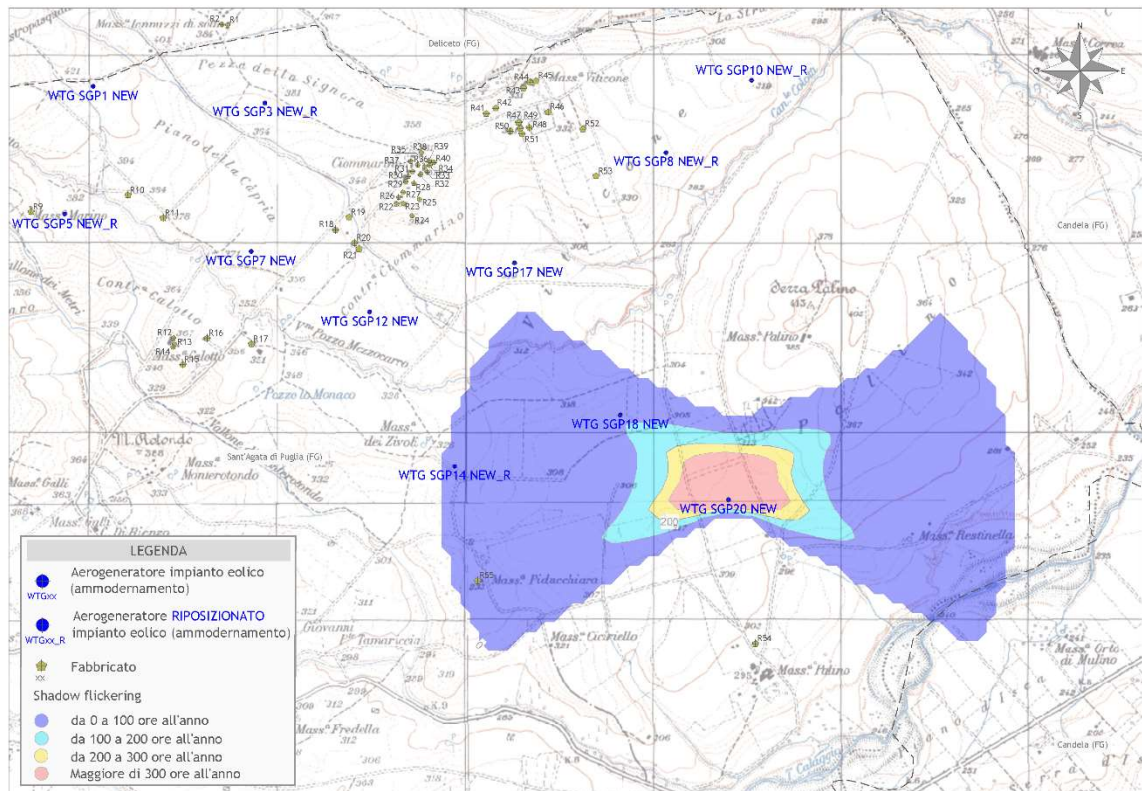


Figura 18 - Mappa di impatto potenziale per l'aerogeneratore WTG SGP20 NEW

La tabella seguente riassume i risultati dell'analisi eseguita secondo la metodologia di calcolo innanzi descritta, e per quanto precisato al punto 3.2 la stessa si riferisce ai soli fabbricati potenzialmente abitabili, per come riscontrati dal sopralluogo in sito, di seguito riportato:

Fabbricato	WGS84 - UTM fuso 33		Caso peggiore		Caso reale
	Est	Nord	Giorni Anno	Ore Anno	Ore Anno
1	536667	4559973	133	99	46
5	536033	4560332	0	0	0
7	536030	4560280	26	7	3
12	536379	4558310	55	27	13
13	536384	4558279	57	28	13
25	537687	4559045	224	154	72
26	537575	4559057	203	133	62
28	537657	4559132	248	163	76
31	537649	4559194	256	161	75
32	537691	4559177	258	156	73
36	537677	4559230	259	148	69
38	537696	4559295	242	129	61
40	537763	4559243	217	115	54
41	538041	4559502	156	84	39
43	538238	4559636	133	85	40
44	538273	4559667	142	91	43
46	538370	4559510	139	94	44
49	538219	4559422	130	82	38
51	538230	4559394	135	84	39
60	528919	4550785	170	84	39
61	528895	4550739	155	78	37
64	528968	4550705	168	93	43
66	529314	4550697	157	119	56
69	529228	4550664	155	115	54
71	529269	4550615	157	118	55
72	529218	4550588	134	97	45
75	529205	4550494	102	79	37
77	529711	4549800	119	84	39
80	529809	4549704	90	80	37
84	529802	4549800	135	125	58
85	530342	4549459	0	0	0
88	530246	4551391	189	202	94
89	530199	4551393	186	219	102
90	530249	4551533	132	97	45
91	530351	4551519	148	111	52

Fabbricato	WGS84 - UTM fuso 33		Caso peggiore		Caso reale
	Est	Nord	Giorni Anno	Ore Anno	Ore Anno
92	531419	4550250	161	133	62
94	531423	4550704	277	192	90
96	532116	4551101	32	13	6
98	532124	4551031	27	11	5

Tabella 4: Risultati di calcolo

In particolare, in tabella 4 vengono riportati il numero di giorni e di ore in cui è fisicamente possibile che il fenomeno si presenti (caso peggiore) e il valore reale atteso di ore all'anno in cui il fenomeno potrebbe presentarsi (caso reale). A tal proposito è importante sottolineare che anche il caso reale, calcolato tenendo conto dell'eliofania locale e delle ore di funzionamento dell'impianto, è comunque un valore cautelativo in quanto nella stima non si è tenuto conto degli effetti mitigativi dovuti al piano di rotazione delle pale non sempre ortogonale alla direttrice sole-finestra e all'eventuale presenza di ostacoli e/o vegetazione interposti tra il sole e la finestra.

Dalla tabella 4 si evince che presso 37 potenziali ricettori potrebbe verificarsi l'effetto di shadow flickering, tuttavia tale effetto si può considerare trascurabile per via della scarsa durata del fenomeno che si riduce, nel caso reale, a poche ore l'anno. Per i fabbricati evidenziati, presso i quali l'effetto di shadow flickering potrebbe essere superiore a 50 ore l'anno, è stato elaborato un calendario dell'ombra che riporta in maniera grafica i periodi dell'anno in cui è possibile il verificarsi del fenomeno (condizioni del caso peggiore). Le curve di colore blu indicano l'ora dell'alba e del tramonto e le macchie colorate indicano il periodo in cui è possibile il verificarsi del fenomeno. Sull'asse delle ordinate sono riportati i giorni dell'anno e sull'asse delle ascisse l'ora del giorno.

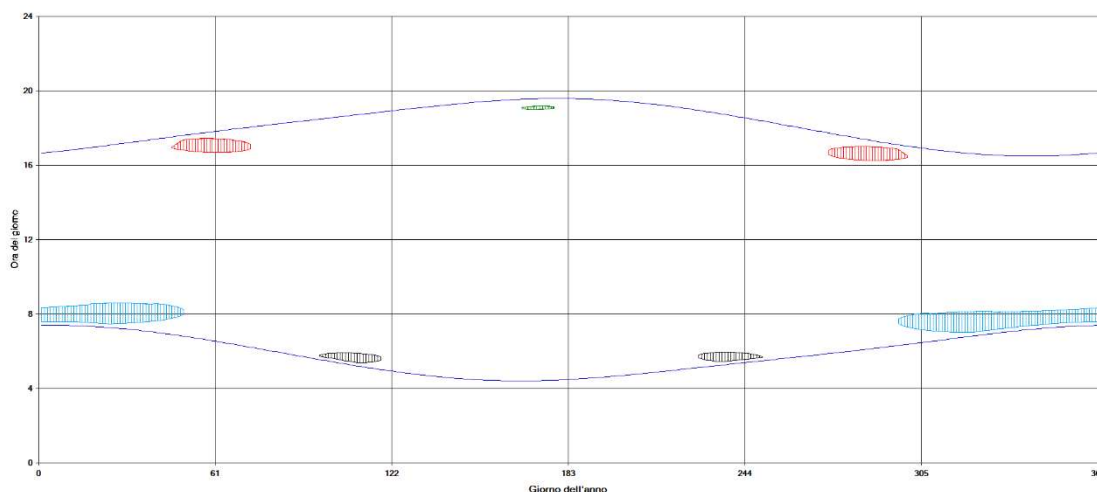


Figura 19 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 25

Dalla lettura del calendario in figura 19, si legge facilmente che, presso il fabbricato 25, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa degli aerogeneratori:

- WTG SGP3 NEW\_R dal 15 giugno al 26 giugno tra le ore 18:55 e le 19:15 (macchia verde);
- WTG SGP7 NEW dal 15 febbraio al 13 marzo e dal 29 settembre al 26 ottobre tra le ore 16:15 e le 17:30 (macchia rossa);
- WTG SGP8 NEW\_R dal 6 aprile al 27 aprile e dal 15 agosto al 6 settembre tra le ore 05:20 e le 06:00 (macchia nera);
- WTG SGP17 NEW dal 1° gennaio al 19 febbraio e dal 23 ottobre al 31 dicembre tra le ore 07:00 e le 08:35 (macchia azzurra).

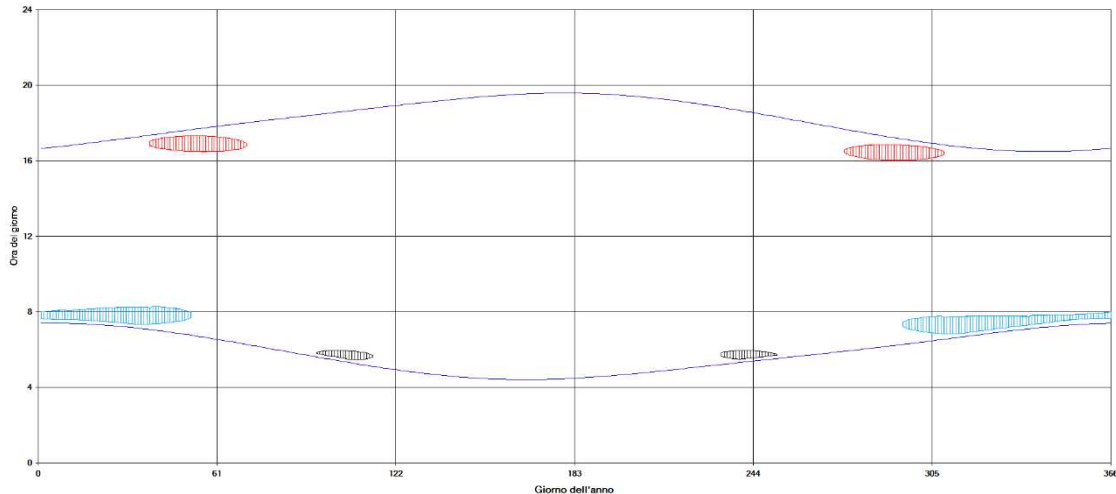


Figura 20 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 26

Dalla lettura del calendario in figura 20, si legge facilmente che, presso il fabbricato 26, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa degli aerogeneratori:

- WTG SGP7 NEW dal 7 febbraio al 11 marzo e dal 1° ottobre al 4 novembre tra le ore 16:00 e le 17:20 (macchia rossa);
- WTG SGP8 NEW\_R dal 4 aprile al 23 aprile e dal 20 agosto all' 8 settembre tra le ore 05:25 e le 06:00 (macchia nera);
- WTG SGP17 NEW dal 1° gennaio al 21 febbraio e dal 21 ottobre al 31 dicembre tra le ore 06:50 e le 08:20 (macchia azzurra).

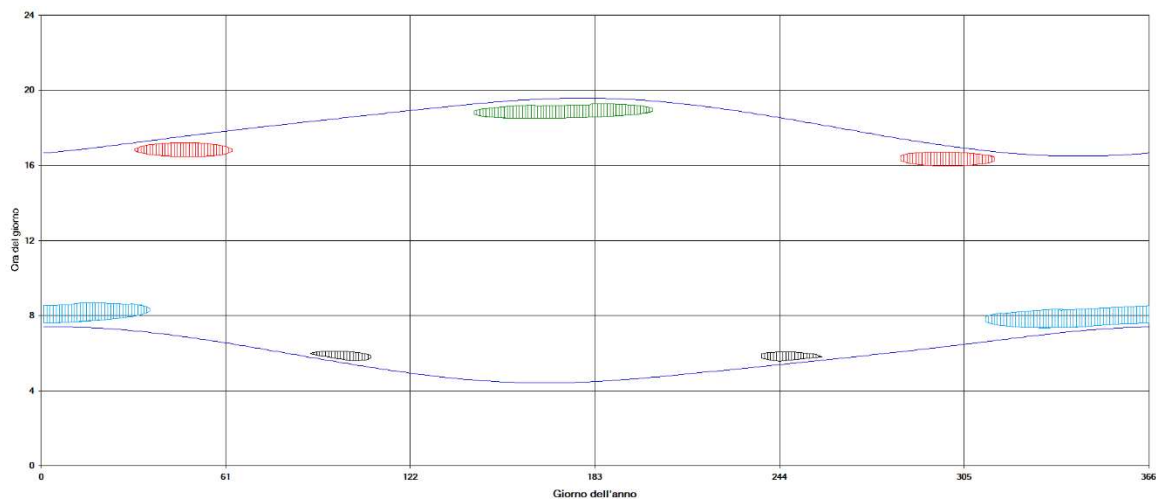


Figura 21 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 28

Dalla lettura del calendario in figura 21, si legge facilmente che, presso il fabbricato 28, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa degli aerogeneratori:

- WTG SGP3 NEW\_R dal 22 maggio al 20 luglio tra le ore 18:30 e le 19:20 (macchia verde);
- WTG SGP7 NEW dal 31 gennaio al 3 marzo e dal 10 ottobre al 10 novembre tra le ore 15:55 e le 17:15 (macchia rossa);
- WTG SGP8 NEW\_R dal 29 marzo al 18 aprile e dal 25 agosto al 14 settembre tra le ore 05:30 e le 06:10 (macchia nera);
- WTG SGP17 NEW dal 1° gennaio al 5 febbraio e dal 7 novembre al 31 dicembre tra le ore 07:20 e le 08:40 (macchia azzurra).



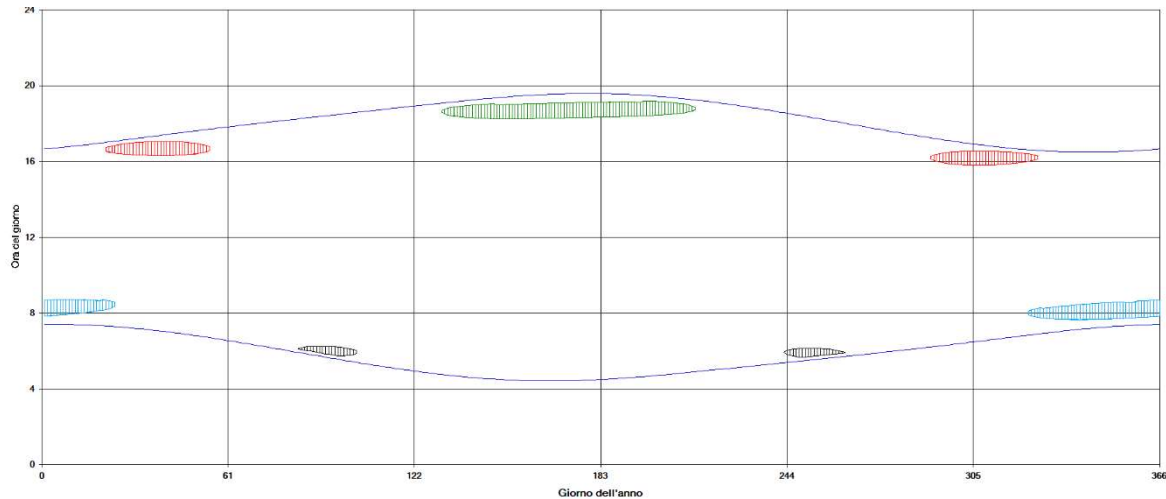


Figura 22 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 31

Dalla lettura del calendario in figura 22, si legge facilmente che, presso il fabbricato 31, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa degli aerogeneratori:

- WTG SGP3 NEW\_R dal 10 maggio al 1° agosto tra le ore 18:15 e le 19:15 (macchia verde);
- WTG SGP7 NEW dal 21 gennaio al 24 febbraio e dal 17 ottobre al 21 novembre tra le ore 15:45 e le 17:05 (macchia rossa);
- WTG SGP8 NEW\_R dal 24 marzo al 12 aprile e dal 30 agosto al 19 settembre tra le ore 05:35 e le 06:15 (macchia nera);
- WTG SGP17 NEW dal 1° gennaio al 24 gennaio e dal 18 novembre al 31 dicembre tra le ore 07:40 e le 08:45 (macchia azzurra).

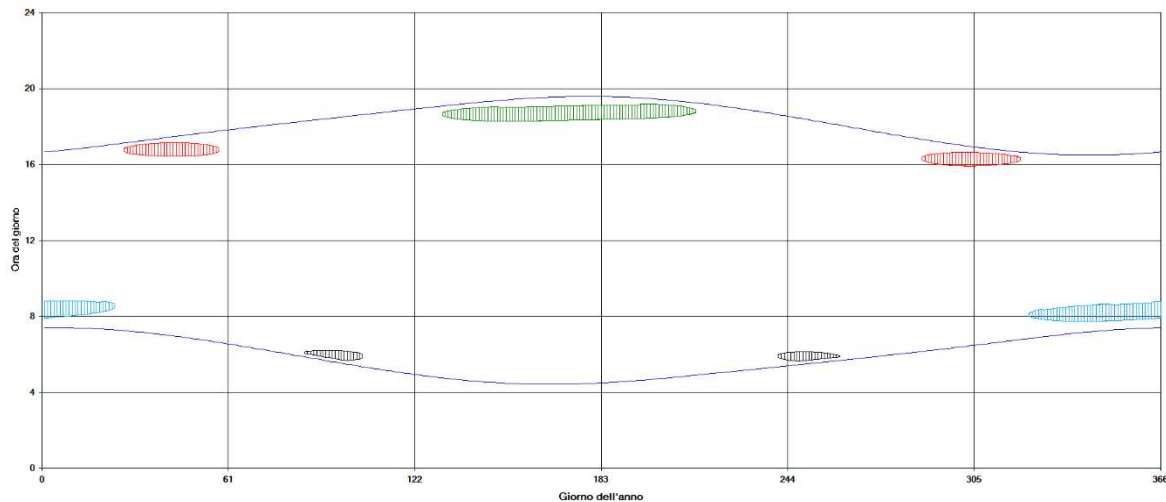


Figura 23 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 32

Dalla lettura del calendario in figura 23, si legge facilmente che, presso il fabbricato 32, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa degli aerogeneratori:

- WTG SGP3 NEW\_R dal 10 maggio al 1° agosto tra le ore 18:15 e le 19:15 (macchia verde);
- WTG SGP7 NEW dal 27 gennaio al 27 febbraio e dal 14 ottobre al 15 novembre tra le ore 15:55 e le 17:10 (macchia rossa);
- WTG SGP8 NEW\_R dal 26 marzo al 14 aprile e dal 28 agosto al 17 settembre tra le ore 05:35 e le 06:15 (macchia nera);
- WTG SGP17 NEW dal 1° gennaio al 24 gennaio e dal 18 novembre al 31 dicembre tra le ore 07:40 e le 08:50 (macchia azzurra).

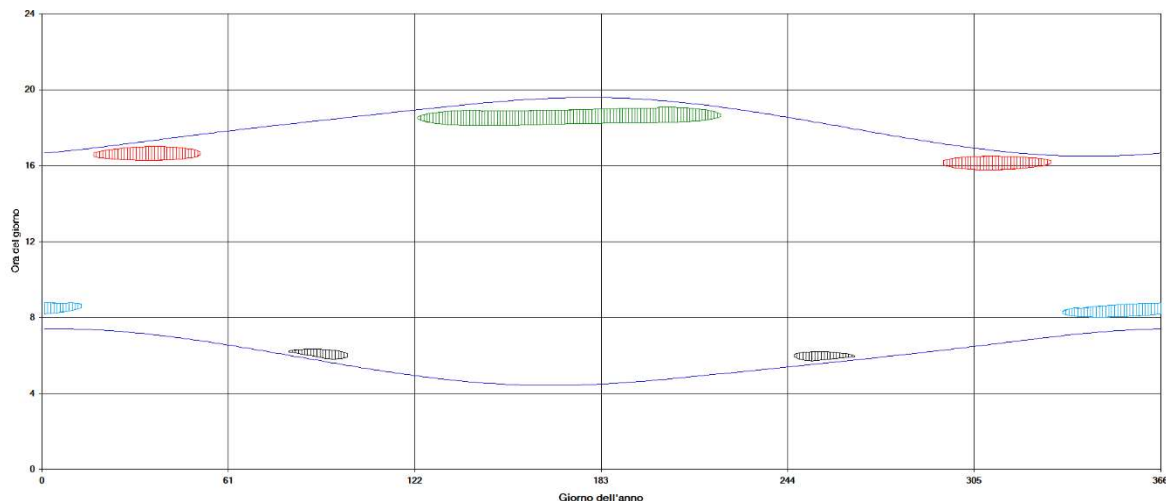


Figura 24 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 36

Dalla lettura del calendario in figura 24, si legge facilmente che, presso il fabbricato 36, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa degli aerogeneratori:

- WTG SGP3 NEW\_R dal 2 maggio al 9 agosto tra le ore 18:05 e le 19:10 (macchia verde);
- WTG SGP7 NEW dal 17 gennaio al 21 febbraio e dal 21 ottobre al 25 novembre tra le ore 15:45 e le 17:00 (macchia rossa);
- WTG SGP8 NEW\_R dal 21 marzo al 9 aprile e dal 2 settembre al 22 settembre tra le ore 05:40 e le 06:20 (macchia nera);
- WTG SGP17 NEW dal 1° gennaio al 13 gennaio e dal 29 novembre al 31 dicembre tra le ore 08:00 e le 08:50 (macchia azzurra).

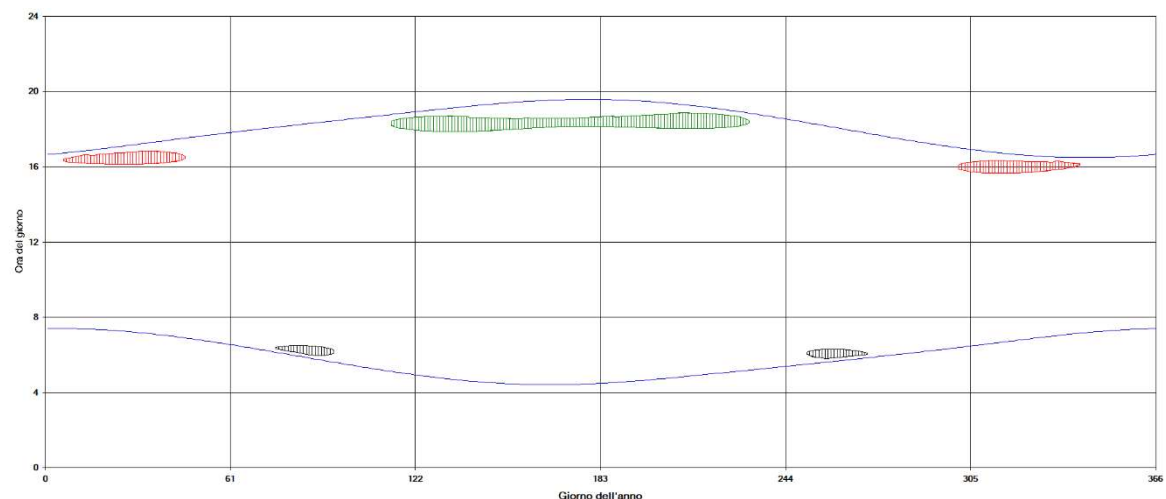


Figura 25 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 38

Dalla lettura del calendario in figura 25, si legge facilmente che, presso il fabbricato 38, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa degli aerogeneratori:

- WTG SGP3 NEW\_R dal 23 aprile al 19 agosto tra le ore 17:50 e le 18:55 (macchia verde);
- WTG SGP7 NEW dal 6 gennaio al 15 febbraio e dal 27 ottobre al 6 dicembre tra le ore 15:35 e le 16:50 (macchia rossa);
- WTG SGP8 NEW\_R dal 16 marzo al 4 aprile e dal 7 settembre al 27 settembre tra le ore 05:45 e le 06:30 (macchia nera).

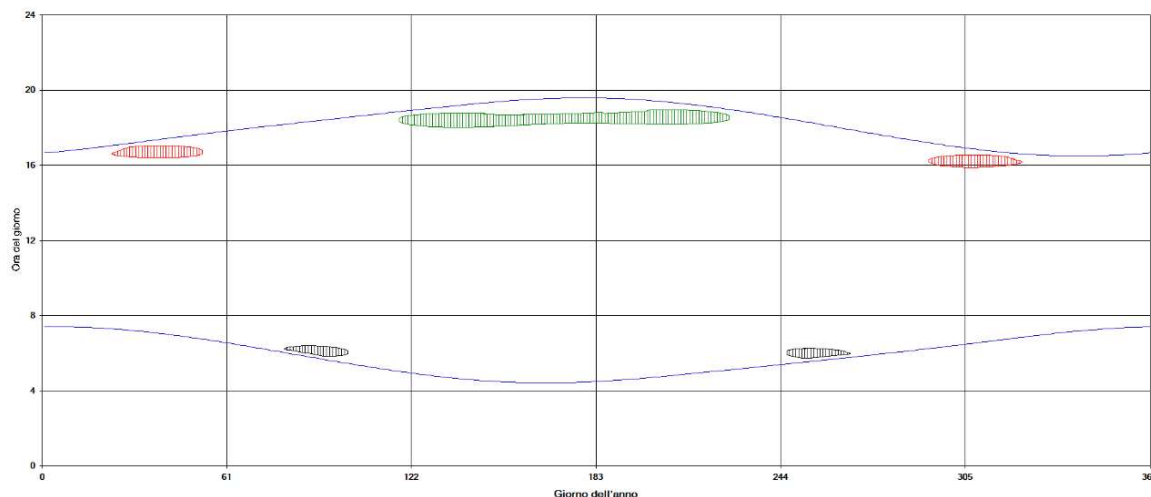


Figura 26 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 40

Dalla lettura del calendario in figura 26, si legge facilmente che, presso il fabbricato 40, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa degli aerogeneratori:

- WTG SGP3 NEW\_R dal 27 aprile al 14 agosto tra le ore 18:00 e le 19:00 (macchia verde);
- WTG SGP7 NEW dal 23 gennaio al 22 febbraio e dal 19 ottobre al 19 novembre tra le ore 15:50 e le 17:05 (macchia rossa);
- WTG SGP8 NEW\_R dal 20 marzo al 10 aprile e dal 2 settembre al 23 settembre tra le ore 05:40 e le 06:25 (macchia nera).

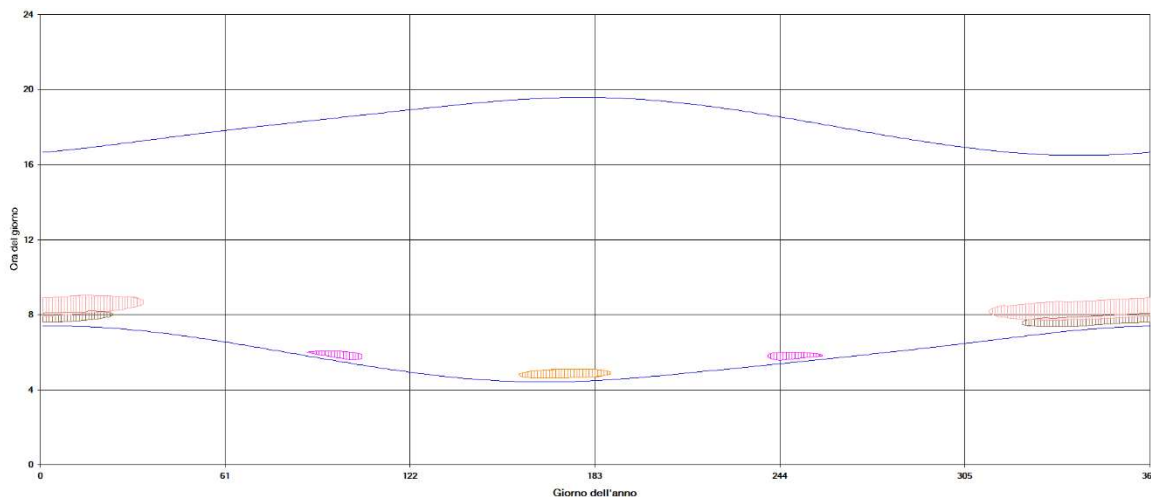


Figura 27 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 66

Dalla lettura del calendario in figura 27, si legge facilmente che, presso il fabbricato 66, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa degli aerogeneratori:

- WTG SG03 NEW dal 1° gennaio al 3 febbraio e dall'8 novembre al 31 dicembre tra le ore 07:40 e le 09:05 (macchia rosa);
- WTG SG05 NEW\_R dal 1° gennaio al 24 gennaio e dal 19 novembre al 31 dicembre tra le ore 07:20 e le 08:15 (macchia marrone);
- WTG SG11 NEW dal 6 giugno al 6 luglio tra le ore 04:35 e le 05:10 (macchia arancione);
- WTG SG13 NEW\_R dal 29 marzo al 16 aprile e dal 26 agosto al 13 settembre tra le ore 05:30 e le 06:05 (macchia magenta).

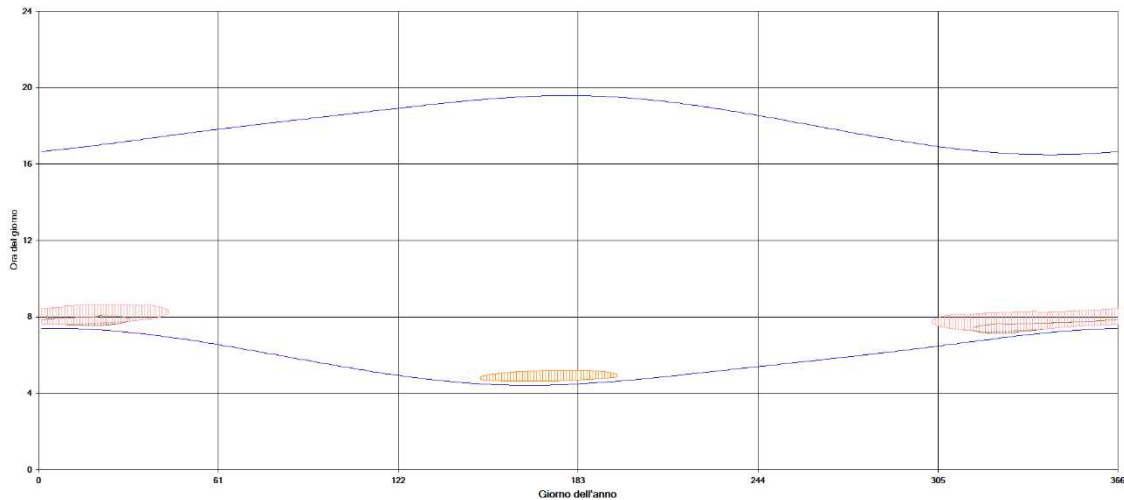


Figura 28 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 69

Dalla lettura del calendario in figura 28, si legge facilmente che, presso il fabbricato 69, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa degli aerogeneratori:

- WTG SG03 NEW dal 1° gennaio al 13 febbraio e dal 29 ottobre al 31 dicembre tra le ore 07:15 e le 08:40 (macchia rosa);
- WTG SG05 NEW\_R dal 1° gennaio al 31 gennaio e dal 12 novembre al 31 dicembre tra le ore 07:05 e le 08:05 (macchia marrone);
- WTG SG11 NEW dal 29 maggio al 14 luglio tra le ore 04:35 e le 05:15 (macchia arancione).

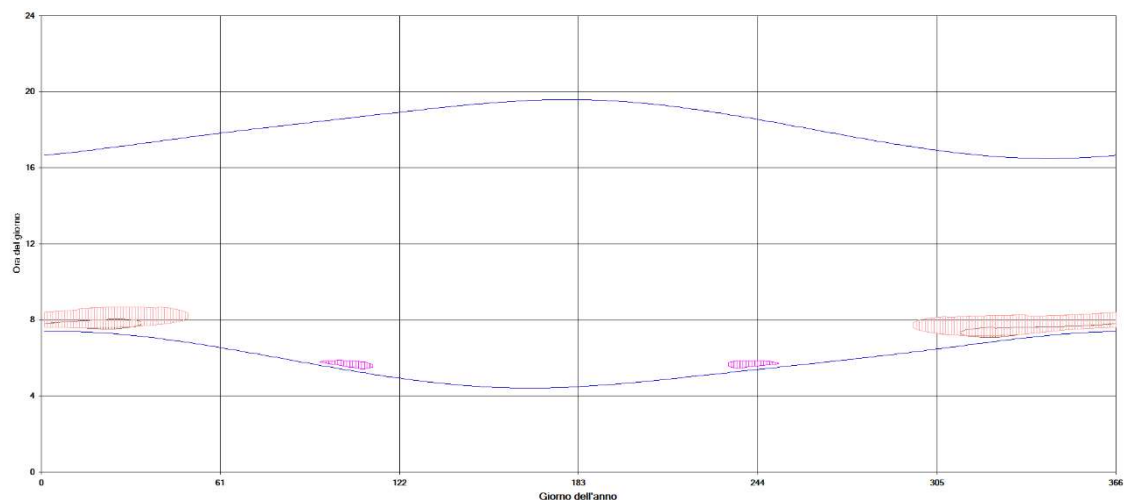


Figura 29 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 71

Dalla lettura del calendario in figura 29, si legge facilmente che, presso il fabbricato 71, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa degli aerogeneratori:

- WTG SG03 NEW dal 1° gennaio al 19 febbraio e dal 23 ottobre al 31 dicembre tra le ore 07:10 e le 08:40 (macchia rosa);
- WTG SG05 NEW\_R dal 1° gennaio al 3 febbraio e dall'8 novembre al 31 dicembre tra le ore 07:00 e le 08:05 (macchia marrone);
- WTG SG13 NEW\_R dal 4 aprile al 22 aprile e dal 21 agosto al 7 settembre tra le ore 05:25 e le 05:55 (macchia magenta).

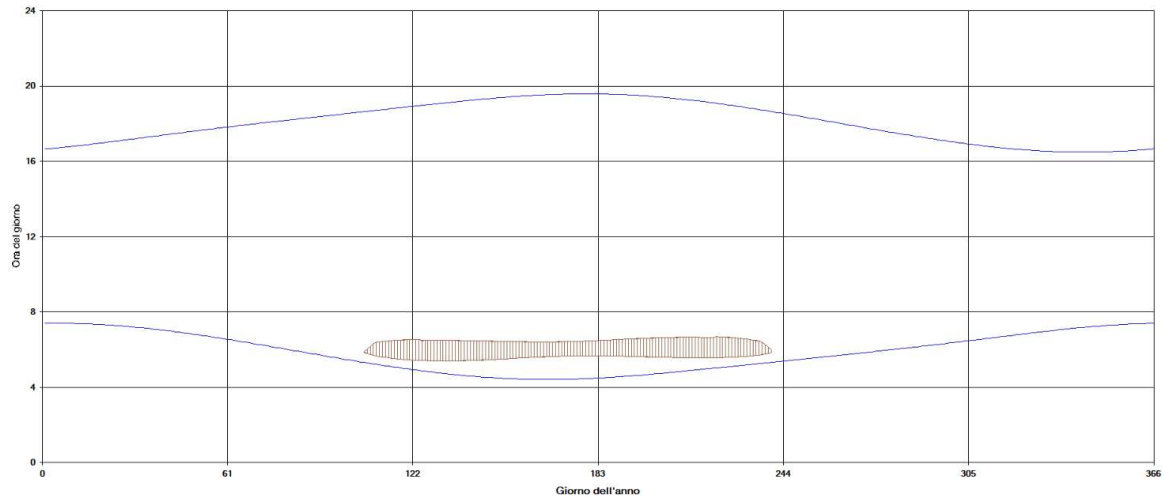


Figura 30 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 84

Dalla lettura del calendario in figura 30, si legge facilmente che, presso il fabbricato 84, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa dall' aerogeneratore:

- WTG SG05 NEW\_R dal 15 aprile al 27 agosto tra le ore 05:20 e le 06:45 (macchia marrone).

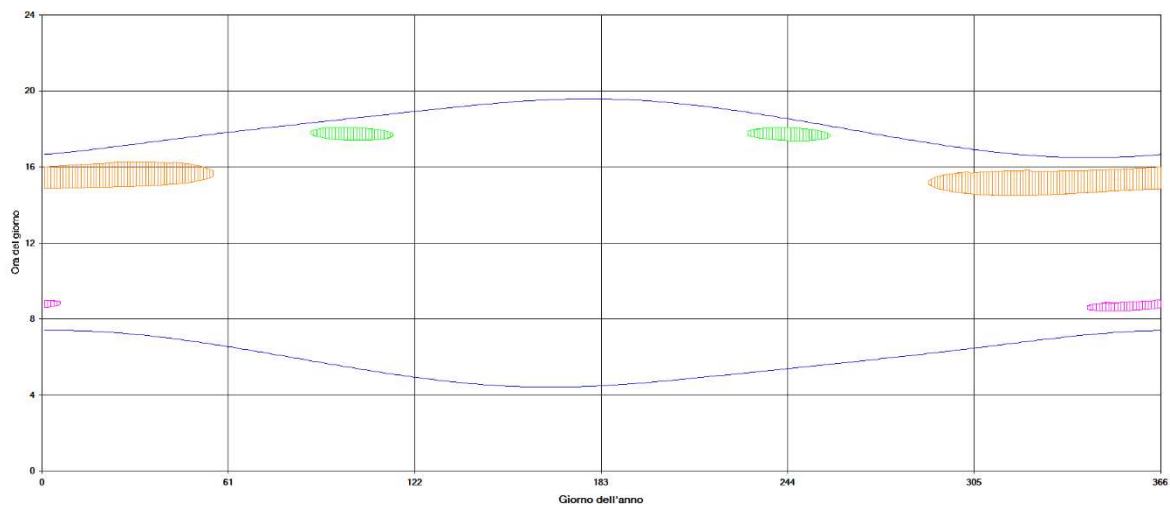


Figura 31 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 88

Dalla lettura del calendario in figura 31, si legge facilmente che, presso il fabbricato 88, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa degli aerogeneratori:

- WTG SG1 NEW dal 28 marzo al 24 aprile e dal 18 agosto al 14 settembre tra le ore 17:20 e le 18:05 (macchia verde chiaro);
- WTG SG11 NEW dal 1° gennaio al 25 febbraio e dal 16 ottobre al 31 dicembre tra le ore 14:30 e le 16:20 (macchia arancione);
- WTG SG13 NEW\_R dal 1° gennaio al 12 gennaio e dal 30 novembre al 31 dicembre tra le ore 08:10 e le 09:00 (macchia magenta).

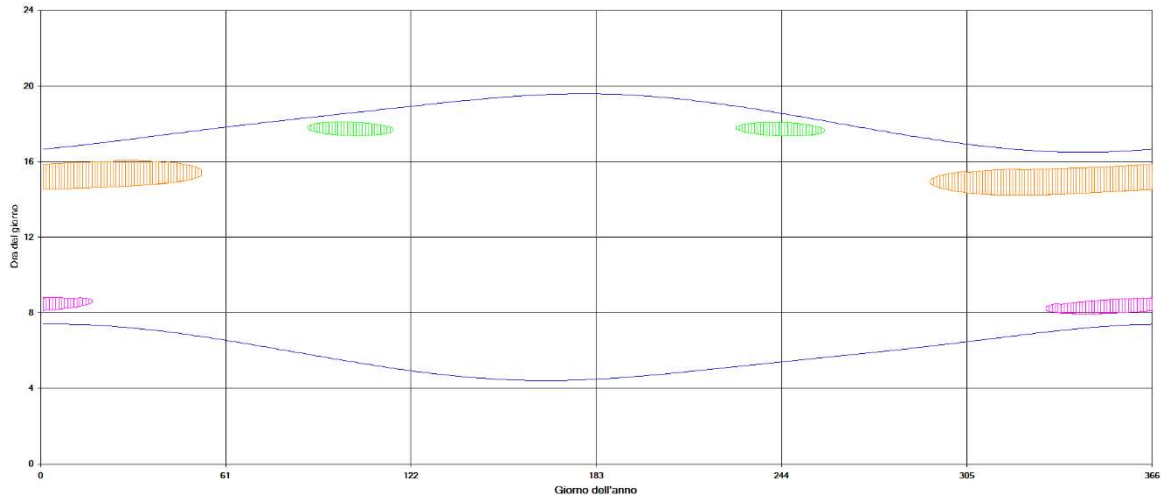


Figura 32 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 89

Dalla lettura del calendario in figura 32, si legge facilmente che, presso il fabbricato 89, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa degli aerogeneratori:

- WTG SG1 NEW dal 28 marzo al 25 aprile e dal 16 agosto al 14 settembre tra le ore 17:20 e le 18:05 (macchia verde chiaro);
- WTG SG11 NEW dal 1° gennaio al 22 febbraio e dal 19 ottobre al 31 dicembre tra le ore 14:10 e le 16:05 (macchia arancione);
- WTG SG13 NEW\_R dal 1° gennaio al 17 gennaio e dal 26 novembre al 31 dicembre tra le ore 07:55 e le 08:50 (macchia magenta).

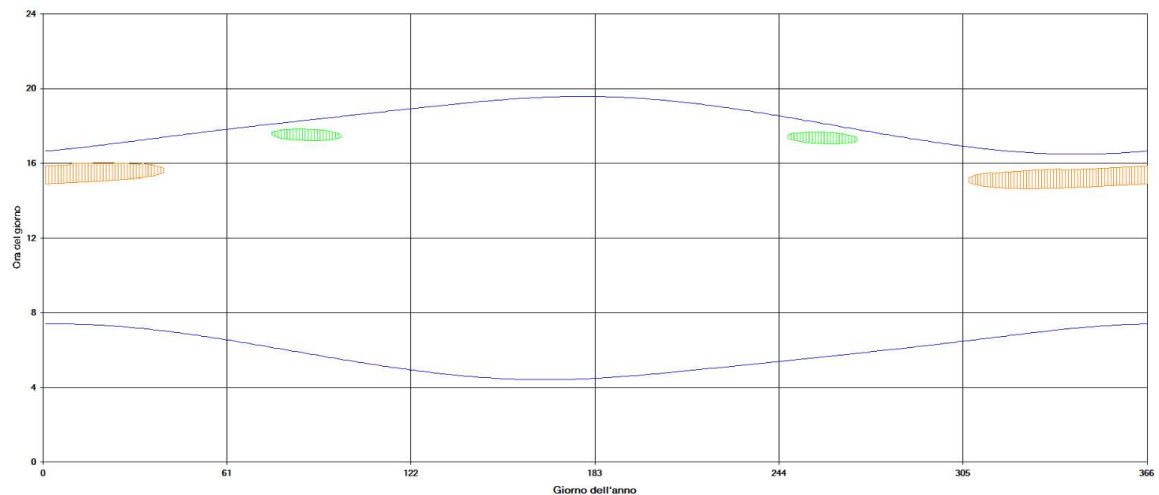


Figura 33 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 91

Dalla lettura del calendario in figura 33, si legge facilmente che, presso il fabbricato 91, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa degli aerogeneratori:

- WTG SG1 NEW dal 16 marzo all'8 aprile e dal 3 settembre al 26 settembre tra le ore 17:00 e le 17:50 (macchia verde chiaro);
- WTG SG11 NEW dal 1° gennaio al 9 febbraio e dal 2 novembre al 31 dicembre tra le ore 14:35 e le 16:00 (macchia arancione).

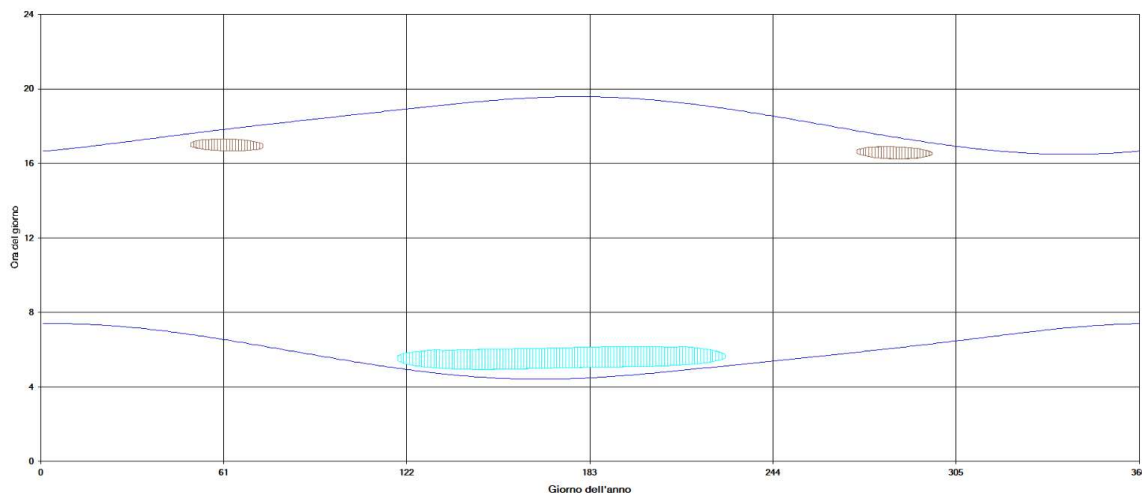


Figura 34 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 92

Dalla lettura del calendario in figura 34, si legge facilmente che, presso il fabbricato 92, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa degli aerogeneratori:

- WTG SG05 NEW\_R dal 19 febbraio al 14 marzo e dal 28 settembre al 23 ottobre tra le ore 16:10 e le 17:20 (macchia marrone);
- WTG SG15 NEW dal 28 aprile al 15 agosto tra le ore 04:55 e le 06:10 (macchia ciano).

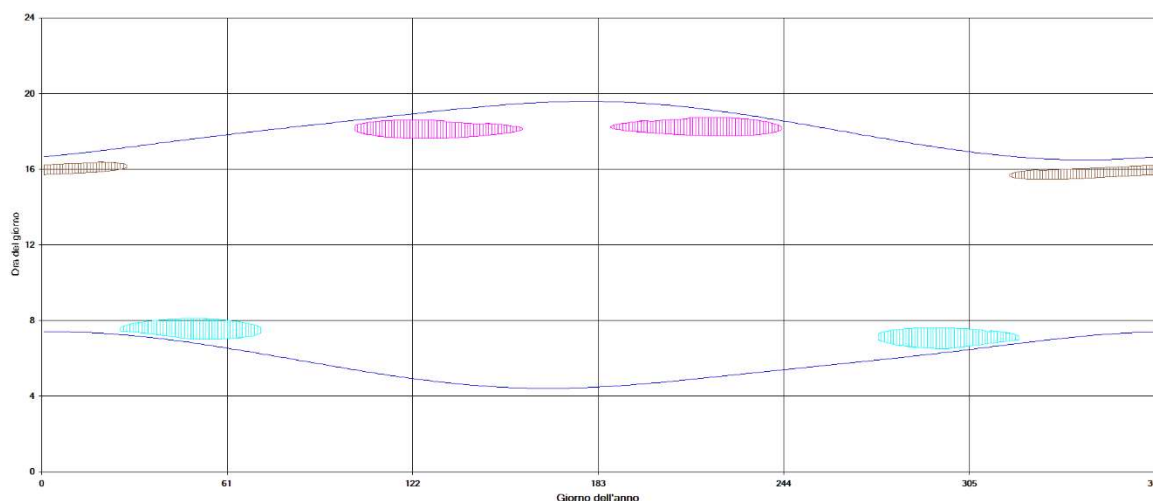


Figura 35 – Calendario dell'ombra nelle condizioni caso peggiore per il fabbricato 94

Dalla lettura del calendario in figura 35, si legge facilmente che, presso il fabbricato 94, il fenomeno dell'ombreggiamento si può verificare a causa degli aerogeneratori:

- WTG SG05 NEW\_R dal 1° gennaio al 28 gennaio e dal 13 novembre al 31 dicembre tra le ore 15:25 e le 16:25 (macchia marrone);
- WTG SG13 NEW\_R dal 12 aprile al 6 giugno e dal 5 luglio al 30 agosto tra le ore 17:35 e le 18:45 (macchia magenta);
- WTG SG15 NEW dal 26 gennaio al 12 marzo e dal 1° ottobre al 16 novembre tra le ore 06:30 e le 08:10 (macchia ciano).

#### 4. CONCLUSIONI

A seguito di quanto descritto nei paragrafi precedenti si può concludere che, pur considerando una stima cautelativa in quanto non si è tenuto conto degli effetti mitigativi dovuti al piano di rotazione delle pale non sempre ortogonale alla direttrice sole-finestra e all'eventuale presenza di ostacoli e/o vegetazione interposti tra il sole e la finestra, il fenomeno dello shadow flickering si potrebbe verificare esclusivamente su **37** abitazioni (si veda tabella 4), incidendo in maniera trascurabile, in quanto il valore atteso è per tutti i ricettori uguale o inferiore a **102** ore l'anno.

Va altresì sottolineato che:

- la velocità di rotazione delle turbine previste in progetto, del tipo Vestas V172- HH 114m – 6,8 MW (modello commerciale più sfavorevole), è nettamente inferiore a 60 rpm, frequenza massima raccomandata al fine di ridurre al minimo i fastidi e soddisfare le condizioni di benessere;
- le turbine in progetto che causano il fenomeno dell'ombreggiamento sono molto distanti dai ricettori. In tali circostanze l'effetto dell'ombra è trascurabile poiché il rapporto tra lo spessore della pala e la distanza dal fabbricato è molto ridotto;
- una stima più approfondita del fenomeno, formulata tenendo conto della posizione del piano di rotazione delle pale in relazione alle direzioni dei venti attese, porterebbe ad un ulteriore abbattimento dei valori di shadow flickering sopra esposti.

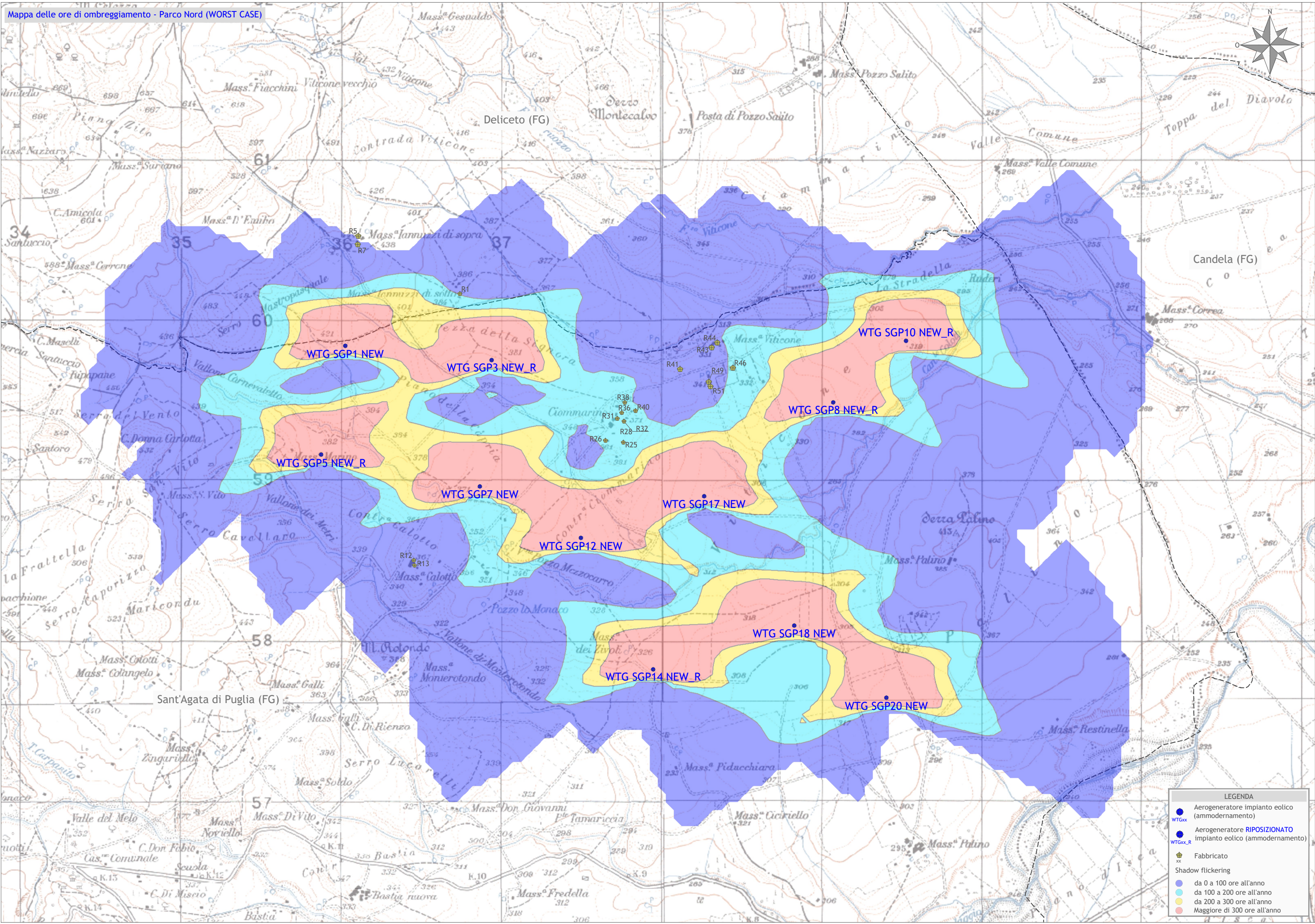
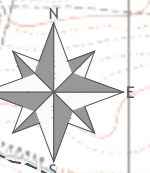
#### 5. ALLEGATI

- [Mappa delle ore di ombreggiamento \(WORST CASE\)](#)

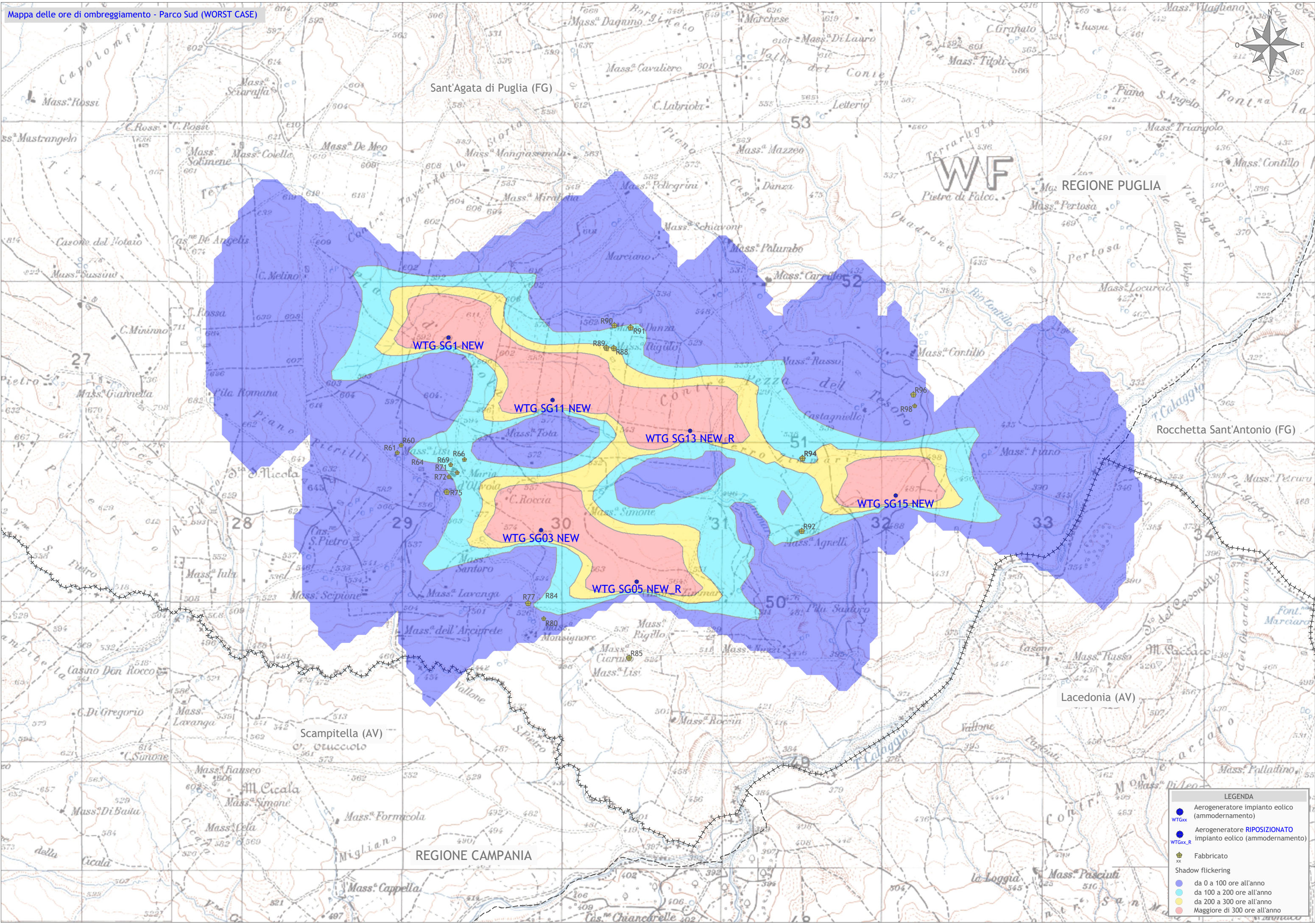
Progettista  
(ing. Massimo LO RUSSO)







LEGENDA	
	Aerogeneratore impianto eolico (ammendamento)
	Aerogeneratore <b>RIPOSIZIONATO</b> impianto eolico (ammendamento)
	Fabbricato
	Shadow flickering
	da 0 a 100 ore all'anno
	da 100 a 200 ore all'anno
	da 200 a 300 ore all'anno
	Maggiore di 300 ore all'anno



**LEGENDA**

- Aerogeneratore impianto eolico (ammendamento)
- Aerogeneratore **RIPOSIZIONATO** impianto eolico (ammendamento)
- Fabbricato
- Shadow flickering
- da 0 a 100 ore all'anno
- da 100 a 200 ore all'anno
- da 200 a 300 ore all'anno
- Maggiore di 300 ore all'anno