



REGIONE
LAZIO



COMUNE DI
CELLENO



COMUNE DI
MONTEFIASCONE



COMUNE DI
VITERBO



PROVINCIA DI
VITERBO

PROGETTO DEFINITIVO

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Acquaforte" di potenza nominale pari a 47.6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Celleno, Montefiascone e Viterbo.

Titolo elaborato

Studio sugli effetti dello shadow flickering

Codice elaborato

F0532BR05B

Scala

-

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

Progettazione



F4 ingegneria srl

Via Di Giura - Centro direzionale, 85100 Potenza
Tel: +39 0971 1944797 - Fax: +39 0971 55452
www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it

Il Direttore Tecnico
(ing. Giovanni Di Santo)



Gruppo di lavoro

Dott. For. Luigi ZUCCARO
Ing. Giuseppe MANZI
Ing. Alessandro Carmine DE PAOLA
Ing. Mariagrazia LOVALLO
Ing. Gerardo SCAVONE
Ing. jr- Flavio TRIANI
Arch. Gaia TELESICA



Società certificata secondo le norme UNI-EN ISO 9001:2015 e UNI-EN ISO 14001:2015 per l'erogazione di servizi di ingegneria nei settori: civile, idraulica, acustica, energia, ambiente (settore IAF: 34).

Consulenze specialistiche

Committente

APOLLO Wind srl

Via della Stazione 7 39100
Bolzano (Bz)

Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Maggio 2023	Prima emissione	DGE	GMA	GZU
Gennaio 2024	Integrazione volontaria	MGL	GMA	GZU

File sorgente: F0532BR05B_Studio sugli effetti dello Shadow flickering.docx

Sommario

1	Informazioni essenziali	3
2	Premessa	4
3	Il fenomeno dello shadow flickering	5
4	Individuazione dei ricettori	8
5	Modello di calcolo	17
6	Risultati	19

1 Informazioni essenziali

Potenza nominale aerogeneratore	6.x MW
Altezza hub	115 m
Diametro rotore	170 m
Altezza totale	200 m
Area spazzata	22698 m ²
Direzione rotazione	Senso orario
Numero di pale	3

2 Premessa

La presente relazione ha l'obiettivo di illustrare il fenomeno dello 'shadow flickering' e di valutare il suo effetto nell'area circostante determinato dalla realizzazione del parco eolico "Acquaforte". Il progetto prevede l'installazione di 7 aerogeneratori di potenza pari a 6.x MW per un totale di 47.6 MW.

La società proponente "Apollo Wind s.r.l." è una holding di partecipazioni presente da anni nel mercato dell'energia; in particolare impegnata nello sviluppo, la realizzazione e la gestione di impianti eolici, fotovoltaici, a biomasse nonché nella vendita di energia elettrica e gas. Possiede come missione quella di crescere in armonia con l'ambiente, produrre e vendere energia elettrica ai clienti finali, grazie alla progettazione, costruzione e gestione di impianti alimentati da fonti rinnovabili.

L'intervento proposto consiste nella realizzazione di un nuovo parco eolico, denominato "Acquaforte", localizzato nei territori comunali di Celleno, Montefiascone e Viterbo in provincia di Viterbo. L'impianto sarà composto da n. 7 aerogeneratori della potenza nominale di 6.x MW ciascuno, con la potenza complessiva in immissione di 47.6 MW, in accordo con quanto previsto nella STMG Terna ID 202202454. Le relative opere di connessione saranno ubicate nel Comune di Viterbo (Vt).

L'aerogeneratore preso come riferimento per la presente verifica e previsto in progetto è del tipo **SG 170 Hhub 115 – 6.X o similare**, caratterizzati, rispettivamente, da un diametro massimo del rotore pari a 170 m e da un'altezza della torre al mozzo di 115 m, quindi si tratterà di macchine di grande taglia.

3 Il fenomeno dello shadow flickering

Gli aerogeneratori, al pari di tutte le altre strutture fortemente sviluppate in altezza, proiettano un'ombra sulle aree circostanti in presenza di irraggiamento solare diretto.

Lo shadow flickering (letteralmente ombreggiamento intermittente) è l'espressione comunemente impiegata per descrivere una fluttuazione 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 il fenomeno è generato dalla proiezione, al suolo o su un ricettore (abitazione), dell'ombra prodotta dalle pale degli aerogeneratori in rotazione allorché il sole si trova alle loro spalle (cfr. figura successiva).

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 di molto 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 riportata in letteratura. Inoltre, i generatori di grande potenza (dal MW in su) raramente superano la velocità di rotazione di 15 giri al minuto, corrispondente a frequenze di passaggio delle pale ampiamente minori di quelle ritenute fastidiose per la maggioranza degli individui.

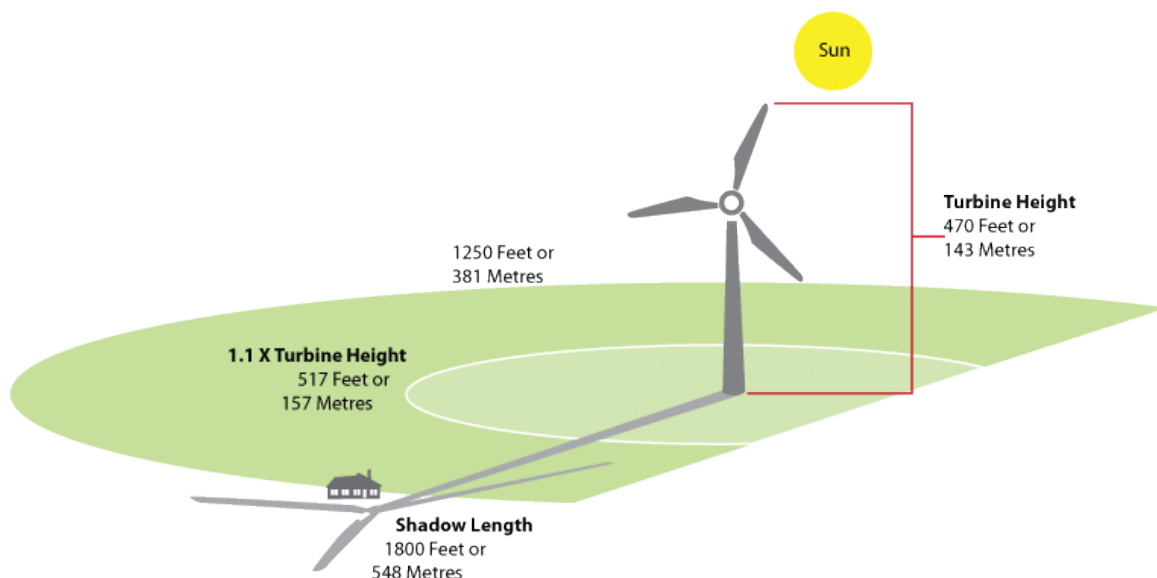


Figura 1: Rappresentazione schematica del fenomeno dello shadow flickering

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 ricevitore - aerogeneratore: la presenza di vegetazione e/o edifici interposti all'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 ricevitore all'aerogeneratore in assenza di ostacoli fisici (alberi, altri edifici ecc...);
- orientamento perpendicolare del rotore rispetto alla congiungente sole - ricevitore: infatti, quando il piano del rotore è perpendicolare alla linea sole-ricevitore, 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, 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:

- le pale del rotore siano ovviamente in rotazione;
- l'aerogeneratore ed il potenziale ricevitore 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 ricevitore molto prossimo all'aerogeneratore, una porzione ampia di pala copre il disco solare così come osservato dal punto di vista del ricevitore stesso, e, quindi, l'intensità del flicker risulta maggiormente percepibile. All'aumentare della distanza tra aerogeneratore e ricevitore, 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 ricevitore (abitazione), così come la direzione del vento risultano essere fattori chiave per la durata del fenomeno di shadow flicker. Per distanze dell'ordine dei 400-500 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 risulti ortogonale alla congiungente ricevitore – 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÷1000 m dall'aerogeneratore e le zone a maggiore impatto ricadono entro i 500 m di distanza dalle macchine con durata del fenomeno dell'ordine delle 200 ore all'anno; 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 ricevitore;

- l'intensità del flickering sarà minima quando l'ombra prodotta è generata all'estremità delle pale;
- maggiori distanze tra generatore e ricevitore determinano ombre meno nette; in tal caso l'effetto flickering risulterà meno intenso e distinto.

La presente relazione ha lo scopo di stimare le aree potenzialmente interessate dal fenomeno in relazione agli aerogeneratori che costituiscono il parco eolico in oggetto.

Nello specifico, quando si valuta l'impatto da shadow flickering, lo stesso può essere realizzato attraverso l'analisi di due casi specifici:

- il **worst case**, in cui viene valutata la massima durata del fenomeno, ovvero quella astronomica, che corrisponde alle condizioni di cielo sempre sgombro da nubi, di rotore in movimento continuo e di perpendicolarità tra quest'ultimo ed il potenziale ricevitore;
- il **real case**, in cui viene valutata la durata realistica del fenomeno, tenendo conto del soleggiamento effettivo dell'area e delle specifiche condizioni anemologiche che determinano la reale operabilità degli aerogeneratori.

In Italia, dove questo fenomeno è meno importante rispetto alle latitudini più settentrionali (come ad esempio Danimarca, Germania, Olanda e Svezia), non esiste alcuna normativa regolamentare che regoli questo aspetto a livello nazionale.

La maggior parte dei paesi che hanno adottato specifiche linee guida o regolamenti in materia si sono basati sulle norme di riferimento tedesche e sui limiti di accettabilità da esse introdotti. In assenza di una specifica normativa o linea guida, nazioni quali Austria, Brasile, Canada, India, Giappone e Polonia, impiegano, come buona pratica, le indicazioni contenute nelle linee guida tedesche.

Nello specifico, tali linee guida sono state introdotte nel 2002 dal comitato statale per il controllo dell'inquinamento e, da allora, sono state adottate dalla maggior parte dei Länder e sono comunemente considerate buone pratiche nella valutazione dell'impatto prodotto da un parco eolico. In particolare, tali linee guida, stabiliscono che lo shadow flickering deve essere valutato:

- fino ad una distanza tale che il rotore copra il 20% del disco solare; a distanze superiori il fenomeno è considerato troppo diffuso da poter produrre fastidio;
- per angoli del sole sull'orizzonte superiori a 3 gradi; per angoli inferiori il fenomeno si ritiene schermato dalla presenza di edifici e/o vegetazione;
- ad un'altezza di 2 metri dal suolo;

I valori limite di accettabilità stabiliti dalle suddette linee guida sono un massimo di:

- 30 minuti al giorno;
- 30 ore all'anno.

4 Individuazione dei ricettori

Allo scopo di valutare l'impatto indotto sugli edifici da parte dell'impianto eolico in progetto, sono stati individuati i ricettori potenzialmente sensibili presenti in un'area corrispondente all'involuppo delle aree buffer circolari di raggio pari a 10 volte il diametro del rotore (nel caso in esame 1700 m) del modello di aerogeneratore previsto in progetto, con centro coincidente con le postazioni delle WTG in oggetto; ciò in accordo con quanto stabilito dalla "National Policy Statement for Renewable Energy Infrastructure (EN-3)" (UK, 2011) (PPS22 per l'Inghilterra, TAN8 per il Galles), secondo la quale è improbabile che si verifichi un impatto significativo da shadow flickering a distanze superiori a dieci volte il diametro del rotore. Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all'esterno degli edifici, esso risulta evidente e potenzialmente fastidioso in quegli ambienti con finestre localizzate lungo la direttrice sole-aerogeneratore e, per tale ragione, si è considerato nella simulazione la presenza di finestre di altezza pari a 1,5 metri e larghezza pari ad 1 metro, posizionate ad una quota dal suolo di 2,0 metri e disposte su tutte le facciate degli edifici considerati, in direzione dei quattro punti cardinali (N-E-S-W).

Di seguito sono riportati i riferimenti geografici dei potenziali ricettori individuati.

Tabella 1: Riepilogo dei ricettori in esame

Ricettori	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Categoria Catastale	Comune
	Est	Nord		
R01	261991	4713439	A03	Viterbo
R02	262210	4713728	A04	Viterbo
R03	262200	4713669	A03	Viterbo
R04	262019	4713606	A02	Viterbo
R05	261959	4713600	A02	Viterbo
R06	262480	4714028	A02	Celleno
R07	262984	4713507	A02	Viterbo
R08	263150	4713480	D10	Viterbo
R09	263381	4713626	A07	Celleno
R010	263452	4713650	A03	Celleno
R011	263499	4713453	D10	Celleno
R012	263541	4713344	A07	Celleno
R013	263745	4713196	A03	Celleno
R014	263304	4713251	A02	Viterbo
R015	263604	4714370	A07/C06	Celleno
R016	263528	4714640	A02/C06	Celleno
R017	263646	4714695	A02/C03	Celleno
R018	263718	4714687	A07	Celleno
R019	263511	4714814	A03	Celleno
R020	263539	4714889	A03/A04	Celleno
R021	263708	4714967	A07	Celleno
R022	263719	4714989	A07	Celleno
R023	263993	4715016	D10	Celleno
R024	263758	4715230	A02	Celleno
R025	263230	4715405	A07/F03	Celleno

Ricettori	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Categoria Catastale	Comune
	Est	Nord		
R026	263225	4715462	A04	Celleno
R027	263208	4715461	A03	Celleno
R028	263114	4715378	A03	Celleno
R029	263118	4715426	A02	Celleno
R030	263037	4715529	A03/C02	Celleno
R031	262991	4715481	A07/C02	Celleno
R032	262969	4715437	A02	Celleno
R033	263009	4715328	A02	Celleno
R034	263013	4715278	A07	Celleno
R035	263120	4715174	A02	Celleno
R036	263136	4715132	D10	Celleno
R037	263153	4715129	D10	Celleno
R038	263101	4715235	A07	Celleno
R039	263015	4715588	A07	Celleno
R040	263059	4715822	A07	Celleno
R041	262836	4715796	A03	Celleno
R042	262843	4715810	A03	Celleno
R043	262662	4715766	A02	Celleno
R044	262620	4716134	D10	Celleno
R045	261804	4715697	A04/C02	Celleno
R046	261690	4715609	D10	Celleno
R047	260887	4714571	A02	Montefiascone
R048	261000	4714844	A03	Montefiascone
R049	261289	4714741	A03	Viterbo
R050	261404	4714930	D10	Viterbo
R051	261437	4714934	D10	Celleno
R052	261385	4714794	A02	Viterbo
R053	261405	4714784	A02	Viterbo
R054	261371	4714768	A03	Viterbo
R055	261676	4714825	A04	Celleno
R056	261745	4714793	D10	Celleno
R057	261723	4714765	A03	Celleno
R058	261829	4714660	D10	Celleno
R059	261753	4714668	A02	Celleno
R060	261734	4714632	A03	Celleno
R061	261824	4714595	A02	Celleno
R062	261950	4714624	A02	Celleno
R063	262002	4714628	D10	Celleno
R064	261535	4714593	A03	Viterbo
R065	261534	4714611	A03	Viterbo
R066	261480	4714610	A03	Viterbo

Ricettori	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Categoria Catastale	Comune
	Est	Nord		
R067	261467	4714539	A02	Viterbo
R068	261403	4714523	A03	Viterbo
R069	261376	4714586	A02/C06	Viterbo
R070	261367	4714617	A02	Viterbo
R071	261380	4714626	A02	Viterbo
R072	261366	4714642	A02	Viterbo
R073	261399	4714614	A02	Viterbo
R074	261132	4714472	A03/C02	Viterbo
R075	261152	4714471	A02	Viterbo
R076	261151	4714442	A03/C02	Viterbo
R077	261158	4714438	A03/A04	Viterbo
R078	261179	4714446	A03	Viterbo
R079	261184	4714446	A03	Viterbo
R080	261191	4714448	A03	Viterbo
R081	261200	4714434	A04/C02	Viterbo
R082	261195	4714425	A03	Viterbo
R083	261196	4714419	A03/A04	Viterbo
R084	261155	4714422	A04	Viterbo
R085	261166	4714417	A04/A06	Viterbo
R086	261164	4714409	A04	Viterbo
R087	261172	4714415	A04	Viterbo
R088	261171	4714410	A04	Viterbo
R089	261181	4714404	A04	Viterbo
R090	261190	4714406	A04	Viterbo
R091	261192	4714407	A04	Viterbo
R092	261188	4714385	A05	Viterbo
R093	261334	4714419	A02/C02	Viterbo
R094	261313	4714379	A02	Viterbo
R095	261333	4714378	A02/A03/A04	Viterbo
R096	261346	4714387	A02	Viterbo
R097	261348	4714384	A02	Viterbo
R098	261349	4714380	A02	Viterbo
R099	261355	4714367	A03	Viterbo
R100	261345	4714365	A02/A04	Viterbo
R101	261360	4714379	A03	Viterbo
R102	261364	4714368	A03	Viterbo
R103	261373	4714343	A04	Viterbo
R104	261389	4714360	A03/A04	Viterbo
R105	261363	4714410	A03/C02	Viterbo
R106	261365	4714420	A04	Viterbo
R107	261376	4714419	A02/C02	Viterbo

Ricettori	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Categoria Catastale	Comune
	Est	Nord		
R108	261369	4714437	A03	Viterbo
R109	261369	4714445	A02	Viterbo
R110	261413	4714446	A02/C06	Viterbo
R111	261418	4714418	A07	Viterbo
R112	261469	4714446	A07/F03	Viterbo
R113	261499	4714426	A03	Viterbo
R114	261534	4714454	A07	Viterbo
R115	261560	4714432	D10	Viterbo
R116	261532	4714402	A04/C02	Viterbo
R117	261568	4714395	A02/C06	Viterbo
R118	261592	4714376	A03	Viterbo
R119	261488	4714372	A04	Viterbo
R120	261484	4714311	A02/C06	Viterbo
R121	261486	4714317	A02/C06	Viterbo
R122	261499	4714329	A02/C06	Viterbo
R123	261474	4714291	A02	Viterbo
R124	261469	4714279	A02	Viterbo
R125	261448	4714298	A04	Viterbo
R126	261438	4714325	A02	Viterbo
R127	261418	4714332	A04	Viterbo
R128	261407	4714342	A04	Viterbo
R129	261390	4714326	A03/A04	Viterbo
R130	261397	4714321	A03/A04	Viterbo
R131	261389	4714304	A03	Viterbo
R132	261382	4714319	A04	Viterbo
R133	261366	4714311	A03	Viterbo
R134	261370	4714308	A03	Viterbo
R135	261367	4714304	A03	Viterbo
R136	261366	4714299	A03	Viterbo
R137	261408	4714138	A03	Viterbo
R138	261300	4714323	A04	Viterbo
R139	261288	4714329	A04/C02	Viterbo
R140	261301	4714340	A04	Viterbo
R141	261296	4714342	A04/F02	Viterbo
R142	261284	4714334	A04	Viterbo
R143	261314	4714330	A03	Viterbo
R144	261318	4714334	A03/A04	Viterbo
R145	261324	4714330	A04/C02	Viterbo
R146	261323	4714337	A03/C02	Viterbo
R147	261326	4714338	A04	Viterbo
R148	261327	4714340	A03	Viterbo

Ricettori	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Categoria Catastale	Comune
	Est	Nord		
R149	261324	4714342	A04	Viterbo
R150	261337	4714346	A04	Viterbo
R151	261317	4714368	A03	Viterbo
R152	261316	4714359	A03	Viterbo
R153	261321	4714362	A03/C02	Viterbo
R154	261084	4714220	A02/F03	Viterbo
R155	260999	4714422	A02/C02	Montefiascone
R156	261102	4713914	A07	Viterbo
R157	261384	4713804	A02	Viterbo
R158	261557	4713624	A04	Viterbo
R159	261142	4713258	A03	Montefiascone
R160	261254	4712829	A02/C02	Montefiascone
R161	260897	4712408	A04/C02	Viterbo
R162	260694	4712201	A07	Viterbo
R163	261065	4711862	A03	Viterbo
R164	262206	4711648	A03	Viterbo
R165	262428	4711396	D10	Viterbo
R166	262397	4711415	D10	Viterbo
R167	262373	4711383	A04	Viterbo
R168	260748	4711153	D10	Viterbo
R169	263130	4711747	A03	Viterbo
R170	262828	4712338	D10	Viterbo
R171	262449	4712413	A07	Viterbo
R172	263498	4712149	A07	Viterbo
R173	263506	4712116	A02	Viterbo
R174	263482	4712054	A02	Viterbo
R175	263475	4712059	A02/C02	Viterbo
R176	264177	4711847	A07/D10	Viterbo
R177	264387	4711935	D10	Viterbo
R178	264642	4711865	A03	Viterbo
R179	264655	4711922	A02	Viterbo
R180	264226	4712139	A07	Viterbo
R181	264958	4714496	A04/F03	Celleno
R182	264796	4714524	D10	Celleno
R183	264829	4714626	D10	Celleno
R184	264752	4714590	A03/C02	Celleno
R185	264708	4714621	D10	Celleno
R186	264534	4714586	A02/D10	Celleno
R187	264531	4714598	A02/D10	Celleno
R188	264551	4714616	A02/D10	Celleno
R189	264537	4714621	A02/D10	Celleno

Ricettori	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Categoria Catastale	Comune
	Est	Nord		
R190	264495	4714668	A02/D10	Celleno
R191	264525	4715148	A03	Celleno
R192	264524	4715085	A02	Celleno
R193	264386	4714924	D02	Celleno
R194	264281	4714974	D02	Celleno
R195	263829	4715570	A07	Celleno
R196	263997	4715620	A03/C02	Celleno
R197	263919	4715649	A02	Celleno
R198	263799	4715710	A07	Celleno
R199	263688	4715774	A02	Celleno
R200	263675	4715816	A02/C06	Celleno
R201	263704	4715833	A03/C06	Celleno
R202	263674	4715841	A02/C06	Celleno
R203	263674	4715869	A07	Celleno
R204	263706	4715872	A03/C06	Celleno
R205	263563	4715933	A07	Celleno
R206	263569	4715907	A07	Celleno
R207	263513	4715746	A03	Celleno
R208	263615	4715553	A02	Celleno
R209	261838	4715367	A02	Celleno
R210	261822	4715337	A03	Celleno
R211	261813	4715329	A03	Celleno
R212	260402	4712538	D10	Montefiascone
R213	259680	4712542	A04/C02	Montefiascone
R214	259320	4712460	D10	Montefiascone
R215	259460	4711894	D10	Montefiascone
R216	259485	4711886	D10	Montefiascone
R217	259486	4711864	D10	Montefiascone
R218	260149	4713630	A03	Montefiascone
R219	260349	4713848	D10	Montefiascone
R220	260640	4713631	A03/F02	Montefiascone
R221	261947	4713612	A02	Viterbo
R222	259759	4713277	A07	Montefiascone
R223	263028	4712730	A04/C02	Viterbo
R224	263033	4712733	A04/B08	Viterbo
R225	263037	4712734	A04	Viterbo
R226	263025	4712738	A04/C02	Viterbo
R227	263209	4712890	D10	Viterbo
R228	263170	4712915	A03	Viterbo
R229	263166	4712928	A03	Viterbo
R230	263364	4712953	A07	Viterbo

Ricettori	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Categoria Catastale	Comune
	Est	Nord		
R231	262883	4713225	A03	Viterbo
R232	262535	4713080	A07	Viterbo
R233	264028	4712858	A03	Celleno
R234	263971	4714700	A07	Celleno
R235	264229	4714743	D02	Celleno
R236	260964	4714523	A03	Montefiascone
R237	261627	4714360	A07	Viterbo
R238	261650	4714344	A02	Viterbo
R239	261596	4714320	A07	Viterbo
R240	261615	4714324	A02	Viterbo
R241	261623	4714306	A02	Viterbo
R242	261644	4714323	A02	Viterbo
R243	261638	4714300	A03/C06	Viterbo
R244	261649	4714291	A02	Viterbo
R245	261659	4714320	A03/C06	Viterbo
R246	261692	4714280	A02/C06	Viterbo
R247	261721	4714265	A03/C06	Viterbo
R248	261704	4714229	A02/A04	Viterbo
R249	261703	4714219	A02/C06	Viterbo
R250	261757	4714246	A02	Viterbo
R251	261760	4714281	A02	Viterbo
R252	261629	4714277	A07	Viterbo
R253	261663	4714252	A02/C02	Viterbo
R254	261669	4714196	A02	Viterbo
R255	261727	4714197	A02	Viterbo
R256	261809	4714214	A02	Viterbo
R257	261811	4714210	A02	Viterbo
R258	261665	4714165	A07	Viterbo
R259	261664	4714139	A02	Viterbo
R260	261665	4714145	A02	Viterbo
R261	261720	4714121	A02/F03	Viterbo
R262	261725	4714114	A02	Viterbo
R263	261760	4714089	A07	Viterbo
R264	261682	4714111	A03	Viterbo
R265	261673	4714107	A04/C02	Viterbo
R266	261668	4714089	A04/C02	Viterbo
R267	261700	4714036	A07	Viterbo
R268	261605	4714289	A02	Viterbo
R269	261612	4714308	A02	Viterbo
R270	263740	4715911		Celleno
R271	263701	4715949		Celleno

Ricettori	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Categoria Catastale	Comune
	Est	Nord		
R272	263750	4715975		Celleno
R273	263726	4716002		Celleno
R274	263756	4716012		Celleno
R275	263826	4715989		Celleno
R276	263796	4715978		Celleno
R277	263948	4715885		Celleno
R278	263926	4715919		Celleno
R279	263905	4715930		Celleno
R280	263877	4715935		Celleno
R281	263875	4715952		Celleno
R282	263887	4715951		Celleno
R283	263909	4715956		Celleno
R284	263954	4715917		Celleno
R285	263937	4715944		Celleno
R286	263969	4715728		Celleno
R287	263933	4715795		Celleno
R288	264149	4715637		Celleno
R289	264165	4715676		Celleno
R290	260612	4714394	D10	Montefiascone
R291	260619	4714412	D10	Montefiascone
R292	260752	4714434	A07	Montefiascone
R293	260792	4714568	C02	Montefiascone
R294	260845	4714651	A03	Montefiascone
R295	260846	4714627	A03	Montefiascone
R296	260807	4714689	C02	Montefiascone
R297	260810	4714709	C06	Montefiascone
R298	260806	4715591	D10	Montefiascone
R299	260813	4715737	A03	Viterbo
R300	260831	4715759	A03/D10	Viterbo
R301	260835	4715790	C02	Viterbo
R302	260817	4715809	C02	Viterbo
R303	260792	4715801	C02	Viterbo
R304	260793	4715773	C02	Viterbo
R305	260804	4715760	C02	Viterbo
R306	262940	4716602	D10	Celleno
R307	263585	4711801	C01	Viterbo
R308	263563	4711807	A07	Viterbo
R309	263554	4711791	A07	Viterbo
R310	263639	4711785	C03/E03	Viterbo
R311	263624	4711817	C03/E03	Viterbo
R312	263191	4711937	A03/C06	Viterbo

Ricettori	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Categoria Catastale	Comune
	Est	Nord		
R313	263224	4711951	C06	Viterbo
R314	263287	4711968	C06	Viterbo
R315	263301	4711985	A02	Viterbo
R316	263311	4711973	C06	Viterbo
R317	263299	4711966	C02	Viterbo
R318	263292	4711948	C02	Viterbo
R319	263229	4712065	A07	Viterbo
R320	263328	4712058	C02/C06	Viterbo
R321	263325	4712079	A04	Viterbo
R322	263361	4712103	A02	Viterbo
R323	263431	4712055	NC	Viterbo
R324	262682	4710768	C06	Viterbo
R325	262653	4710737	C02/F02	Viterbo
R326	262633	4710705	C02/F02	Viterbo

La seguente tabella riporta le coordinate degli aerogeneratori previsti in progetto.

Tabella 2: Riepilogo aerogeneratori di progetto

Nome	Diam (m)	Hub(m)	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Coordinate Gauss boaga_fuso est	
			E(m)	N(m)	X	Y
T01	170	115	262299	4715068	2282303	4715080
T02	170	115	262915	4714600	2282919	4714612
T03	170	115	263961	4713798	2283965	4713810
T04	170	115	262382	4711826	2282386	4711838
T05	170	115	260617	4712849	2280620	4712861
T06	170	115	261892	4712901	2281896	4712913
T07	170	115	261653	4712019	2281657	4712031

5 Modello 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 comunemente per la progettazione di impianti eolici contengono moduli specifici per il calcolo e l'analisi del fenomeno di flickering.

L'analisi si basa necessariamente 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 (coordinate baricentriche del dominio di calcolo).

Nello specifico, nel presente studio, è stato impiegato il modulo shadow flickering del software WindFarm 5.0.1.2 (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 o dell'altezza complessiva del generatore eolico.

Come accennato sopra, nel caso in esame, per quanto concerne le simulazioni effettuate, si è assunta una distanza massima di influenza del fenomeno in esame pari a 10 volte il diametro dell'aerogeneratore di progetto (1700 m) ed un angolo minimo di altezza del sole sull'orizzonte pari a 3°.

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.

In particolare, il modello numerico utilizzato, al pari degli altri presenti sul mercato, produce in output una mappa di impatto nel caso più penalizzante, il così detto "**WORST CASE**", corrispondente alle ore in cui il sole permane al di sopra dell'orizzonte nell'arco dell'anno (ore di luce, ca. 4380 h/a), indipendentemente dalla presenza o meno di nubi, le quali inficerebbero il fenomeno stesso dello shadow flickering per l'impossibilità che si generino ombre.

Nello specifico, il **worst case** è caratterizzato dalle seguenti ipotesi:

- assenza di qualsiasi ostacolo naturale o artificiale (alberature, muri di cinta, edifici, ecc...), ad eccezione dell'orografia dell'area, frapposto tra i ricettori e gli aerogeneratori, tale da limitare o eliminare completamente il fenomeno dello shadow flickering;
- aerogeneratori sempre operativi;
- presenza di sole durante tutto il periodo diurno dell'anno (assenza di nubi);
- perpendicolarità tra il piano del rotore e la congiungente sole-ricettore (worst case wind direction), ovvero l'aerogeneratore insegue il sole;

Ciò considerato si evince che i risultati ai quali si perverrà risultano estremamente cautelativi, trattandosi di una stima puramente teorica.

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, e quello delle ore stimate di funzionamento dell'impianto eolico nell'arco dell'anno. Per l'area in esame il valore medio di eliofania corrisponde a circa 2400 h/a^{1 2}, quindi, i risultati del calcolo possono, ragionevolmente, essere abbattuti del 45.21%, pari al complemento a 1 del rapporto $2400/4380 = 54.79\%$.

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 45,21% 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 il parco eolico in esame le ore macchina sono state stimate pari al 75.00³%, delle ore anno, ovvero 6570 ore; in altri termini, la probabilità che il rotore di un aerogeneratore risulti in rotazione è appunto dell'ordine del 75.00% (pari appunto al rapporto 6570/8760).

In definitiva, i valori calcolati dal modello numerico (ore di ombreggiamento intermittente all'anno presso i diversi ricettori individuati) possono, realisticamente, essere ridotti di un fattore pari al complemento a 1 del prodotto $54.79\% \times 75.00\% = 41.09\%$, ovvero 58.91%, corrispondente alla probabilità composta di avere contemporaneamente l'occorrenza di rotore in rotazione (vento) e sole libero da nubi (ombre), fenomeni, questi ultimi, stocasticamente indipendenti per cui la probabilità composta risulta pari al prodotto delle singole probabilità.

¹ Pinna M. (1985). L'eliofania in Italia. Mem. Soc. Geogr. It., 39: pag. 23-58.

² Lavagnini A., Martorelli S., Coretti C. (1987). Radiazione solare in Italia. Mappe mensili della radiazione globale giornaliera. Roma, CNR, Ist. Fis. Atm.

³ Considerando il report anemologico disponibile ed il fatto che la wtg prevista in progetto è caratterizzata da una velocità di cut-in dell'ordine di 3 m/s, le ore macchina dovrebbero essere dell'ordine del 77.30% di quelle annuali. Tenendo conto dei valori di disponibilità dell'impianto e della rete rispettivamente pari a 98% e 99%, l'assunzione del 75.00% sembra molto ragionevole.

6 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 hanno tenuto 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 recettori;
- dell'orografia locale, tramite un modello digitale del terreno (DTM) dell'area di installazione del parco;
- 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 nella seguente tabella.

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 0,55-0,75 Hz (corrispondenti a 11 - 15 rpm, circa un passaggio ogni 1,8-1,3 secondi). 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.

La tabella seguente riassume i risultati dell'analisi eseguita secondo la metodologia di calcolo descritta nelle sezioni precedenti. Nello specifico, la tabella seguente riporta il numero di giorni e di ore in cui è fisicamente possibile che il fenomeno si presenti (caso peggiore) e il valore realistico atteso di ore nell'arco dell'anno in cui il fenomeno potrebbe presentarsi. A tal proposito è importante sottolineare che anche il caso realistico, valutato tenendo conto dell'eliofanìa locale nonché delle ore di funzionamento dell'impianto (rotore in rotazione), rappresenta comunque un valore cautelativo in quanto nella stima non si è tenuto conto degli effetti mitigativi dovuti al fatto che il piano di rotazione delle pale non sempre risulta ortogonale alla direttrice sole-ricettore e all'eventuale presenza di ostacoli e/o vegetazione interposti tra il sole ed il singolo ricettore analizzato. In aggiunta, sempre per un'ipotesi a vantaggio di sicurezza, non si è tenuto conto della stagionalità del fenomeno.

Infatti, se si considera il grafico della frequenza relativa alla direzione di provenienza del vento (figura successiva) per la torre anemometrica del parco eolico in oggetto si evince che i risultati possono essere ridotti di almeno un ulteriore 77.30 %, dal momento che la direzione prevalente del vento risulta essere la congiungente NNE-SSW. Alla luce di ciò, le ore del fenomeno subiscono un ulteriore abbattimento, che le porta ad essere circa il 26.63% di quelle calcolate dal modello nell'ipotesi WORST CASE.

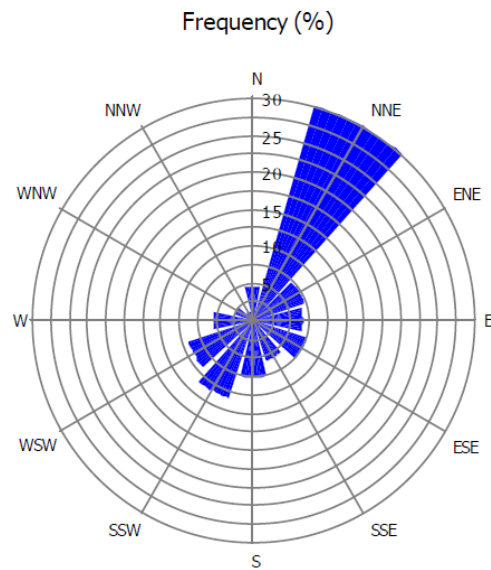


Figura 2: Rosa dei venti

Tabella 3: Risultati della simulazione

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"		Categoria catastale
	giorni/anno	ore/anno	[ore/anno]	[minuti/giorno]	
R01	46	17,38	4,6	6,0	A03
R02	0	0	0,0	0,0	A04
R03	0	0	0,0	0,0	A03
R04	67	19,6	5,2	4,7	A02
R05	79	24,36	6,5	4,9	A02
R06	36	11,82	3,1	5,2	A02
R07	184	94,44	25,1	8,2	A02
R08	129	72,73	19,4	9,0	D10
R09	149	110,56	29,4	11,9	A07
R10	103	108,08	28,8	16,8	A03
R11	38	11,97	3,2	5,0	D10
R12	0	0	0,0	0,0	A07
R13	0	0	0,0	0,0	A03
R14	39	14,28	3,8	5,9	A02
R15	189	172,57	46,0	14,6	A07/C06
R16	143	95,94	25,5	10,7	A02/C06
R17	119	68,57	18,3	9,2	A02/C03
R18	107	58,52	15,6	8,7	A07
R19	138	93,96	25,0	10,9	A03
R20	138	88,83	23,7	10,3	A03/A04
R21	114	62,15	16,5	8,7	A07
R22	116	61,16	16,3	8,4	A07
R23	88	35,88	9,6	6,5	D10

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"		Categoria catastale
	giorni/anno	ore/anno	[ore/anno]	[minuti/giorno]	
R24	112	56,08	14,9	8,0	A02
R25	60	32,81	8,7	8,7	A07/F03
R26	63	34,08	9,1	8,6	A04
R27	66	35,84	9,5	8,7	A03
R28	69	42	11,2	9,7	A03
R29	71	43,29	11,5	9,7	A02
R30	109	68,24	18,2	10,0	A03/C02
R31	119	73,63	19,6	9,9	A07/C02
R32	100	65,24	17,4	10,4	A02
R33	75	52,67	14,0	11,2	A02
R34	72	51,05	13,6	11,3	A07
R35	63	39,93	10,6	10,1	A02
R36	62	38,96	10,4	10,0	D10
R37	61	37,57	10,0	9,8	D10
R38	65	41,39	11,0	10,2	A07
R39	91	61,72	16,4	10,8	A07
R40	24	5,9	1,6	3,9	A07
R41	0	0	0,0	0,0	A03
R42	0	0	0,0	0,0	A03
R43	0	0	0,0	0,0	A02
R44	0	0	0,0	0,0	D10
R45	49	25,05	6,7	8,2	A04/C02
R46	96	71,86	19,1	12,0	D10
R47	79	26,68	7,1	5,4	A02
R48	50	17,7	4,7	5,7	A03
R49	138	60,53	16,1	7,0	A03
R50	108	46,49	12,4	6,9	D10
R51	112	55,75	14,8	8,0	D10
R52	144	74,51	19,8	8,3	A02
R53	140	74,69	19,9	8,5	A02
R54	138	72,55	19,3	8,4	A03
R55	131	90,3	24,0	11,0	A04
R56	100	54	14,4	8,6	D10
R57	84	36,5	9,7	6,9	A03
R58	49	21,48	5,7	7,0	D10
R59	46	17,69	4,7	6,1	A02
R60	47	18,47	4,9	6,3	A03
R61	50	23,04	6,1	7,4	A02
R62	56	28,84	7,7	8,2	A02
R63	60	32,25	8,6	8,6	D10
R64	40	13,18	3,5	5,3	A03

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"		Categoria catastale
	giorni/anno	ore/anno	[ore/anno]	[minuti/giorno]	
R65	39	13,05	3,5	5,3	A03
R66	65	17,91	4,8	4,4	A03
R67	36	10,62	2,8	4,7	A02
R68	36	9,85	2,6	4,4	A03
R69	82	25,21	6,7	4,9	A02/C06
R70	95	36,39	9,7	6,1	A02
R71	97	37,82	10,1	6,2	A02
R72	105	44,81	11,9	6,8	A02
R73	89	31,42	8,4	5,6	A02
R74	27	1,5	0,4	0,9	A03/C02
R75	36	4,43	1,2	2,0	A02
R76	0	0	0,0	0,0	A03/C02
R77	0	0	0,0	0,0	A03/A04
R78	0	0	0,0	0,0	A03
R79	16	0,53	0,1	0,5	A03
R80	24	3,16	0,8	2,1	A03
R81	0	0	0,0	0,0	A04/C02
R82	0	0	0,0	0,0	A03
R83	0	0	0,0	0,0	A03/A04
R84	0	0	0,0	0,0	A04
R85	0	0	0,0	0,0	A04/A06
R86	0	0	0,0	0,0	A04
R87	0	0	0,0	0,0	A04
R88	0	0	0,0	0,0	A04
R89	0	0	0,0	0,0	A04
R90	0	0	0,0	0,0	A04
R91	0	0	0,0	0,0	A04
R92	0	0	0,0	0,0	A05
R93	36	9,13	2,4	4,1	A02/C02
R94	36	9,39	2,5	4,2	A02
R95	36	9,53	2,5	4,2	A02/A03/A04
R96	37	9,5	2,5	4,1	A02
R97	36	9,6	2,6	4,3	A02
R98	36	9,62	2,6	4,3	A02
R99	37	9,96	2,7	4,3	A03
R100	37	9,87	2,6	4,3	A02/A04
R101	38	9,89	2,6	4,2	A03
R102	38	10,15	2,7	4,3	A03
R103	38	10,11	2,7	4,3	A04
R104	38	10,68	2,8	4,5	A03/A04
R105	36	9,59	2,6	4,3	A03/C02

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"		Categoria catastale
	giorni/anno	ore/anno	[ore/anno]	[minuti/giorno]	
R106	36	9,56	2,5	4,2	A04
R107	38	9,83	2,6	4,1	A02/C02
R108	36	9,63	2,6	4,3	A03
R109	37	9,57	2,5	4,1	A02
R110	38	10,34	2,8	4,3	A02/C06
R111	38	10,59	2,8	4,5	A07
R112	38	11,28	3,0	4,7	A07/F03
R113	42	12,18	3,2	4,6	A03
R114	41	13,4	3,6	5,2	A07
R115	43	14,53	3,9	5,4	D10
R116	42	13,49	3,6	5,1	A04/C02
R117	45	15,23	4,1	5,4	A02/C06
R118	47	16,75	4,5	5,7	A03
R119	41	12,4	3,3	4,8	A04
R120	44	13,13	3,5	4,8	A02/C06
R121	44	13,15	3,5	4,8	A02/C06
R122	44	13,4	3,6	4,9	A02/C06
R123	44	13,11	3,5	4,8	A02
R124	44	13,15	3,5	4,8	A02
R125	43	12,3	3,3	4,6	A04
R126	41	11,76	3,1	4,6	A02
R127	41	11,45	3,0	4,5	A04
R128	38	9,99	2,7	4,2	A04
R129	37	7,37	2,0	3,2	A03/A04
R130	36	7,36	2,0	3,3	A03/A04
R131	33	5,02	1,3	2,4	A03
R132	34	6,22	1,7	2,9	A04
R133	31	4,2	1,1	2,2	A03
R134	31	3,95	1,1	2,0	A03
R135	28	3,17	0,8	1,8	A03
R136	27	2,38	0,6	1,4	A03
R137	0	0	0,0	0,0	A03
R138	28	2,13	0,6	1,2	A04
R139	9	0,06	0,0	0,1	A04/C02
R140	26	1,96	0,5	1,2	A04
R141	22	1,07	0,3	0,8	A04/F02
R142	0	0	0,0	0,0	A04
R143	31	3,97	1,1	2,0	A03
R144	32	4,8	1,3	2,4	A03/A04
R145	31	5,63	1,5	2,9	A04/C02
R146	34	6,06	1,6	2,8	A03/C02

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"		Categoria catastale
	giorni/anno	ore/anno	[ore/anno]	[minuti/giorno]	
R147	34	6,98	1,9	3,3	A04
R148	36	7,48	2,0	3,3	A03
R149	35	6,76	1,8	3,1	A04
R150	36	9,85	2,6	4,4	A04
R151	36	9,3	2,5	4,1	A03
R152	36	7,45	2,0	3,3	A03
R153	37	9,4	2,5	4,1	A03/C02
R154	0	0	0,0	0,0	A02/F03
R155	26	1,34	0,4	0,8	A02/C02
R156	0	0	0,0	0,0	A07
R157	0	0	0,0	0,0	A02
R158	47	18,66	5,0	6,3	A04
R159	153	133,81	35,6	14,0	A03
R160	192	169,63	45,2	14,1	A02/C02
R161	127	71,35	19,0	9,0	A04/C02
R162	53	28,41	7,6	8,6	A07
R163	159	127,65	34,0	12,8	A03
R164	41	20,6	5,5	8,0	A03
R165	0	0	0,0	0,0	D10
R166	0	0	0,0	0,0	D10
R167	0	0	0,0	0,0	A04
R168	0	0	0,0	0,0	D10
R169	74	48,72	13,0	10,5	A03
R170	168	92,58	24,7	8,8	D10
R171	81	47,29	12,6	9,3	A07
R172	49	22,61	6,0	7,4	A07
R173	49	22,09	5,9	7,2	A02
R174	48	22,19	5,9	7,4	A02
R175	49	22,5	6,0	7,3	A02/C02
R176	0	0	0,0	0,0	A07/D10
R177	0	0	0,0	0,0	D10
R178	0	0	0,0	0,0	A03
R179	0	0	0,0	0,0	A02
R180	0	0	0,0	0,0	A07
R181	73	36,02	9,6	7,9	A04/F03
R182	45	18,21	4,8	6,5	D10
R183	0	0	0,0	0,0	D10
R184	0	0	0,0	0,0	A03/C02
R185	0	0	0,0	0,0	D10
R186	34	10,85	2,9	5,1	A02/D10
R187	34	10,89	2,9	5,1	A02/D10

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"		Categoria catastale
	giorni/anno	ore/anno	[ore/anno]	[minuti/giorno]	
R188	34	10,62	2,8	5,0	A02/D10
R189	33	10,71	2,9	5,2	A02/D10
R190	35	11,5	3,1	5,2	A02/D10
R191	0	0	0,0	0,0	A03
R192	36	10,23	2,7	4,5	A02
R193	38	13,2	3,5	5,6	D02
R194	41	15,45	4,1	6,0	D02
R195	38	13,01	3,5	5,5	A07
R196	0	0	0,0	0,0	A03/C02
R197	0	0	0,0	0,0	A02
R198	45	14,2	3,8	5,0	A07
R199	56	19,05	5,1	5,4	A02
R200	66	21,35	5,7	5,2	A02/C06
R201	66	20,69	5,5	5,0	A03/C06
R202	87	23,97	6,4	4,4	A02/C06
R203	81	26,46	7,0	5,2	A07
R204	83	24,51	6,5	4,7	A03/C06
R205	65	25,73	6,9	6,3	A07
R206	69	27,98	7,5	6,5	A07
R207	76	28,69	7,6	6,0	A03
R208	46	17,91	4,8	6,2	A02
R209	159	114,03	30,4	11,5	A02
R210	147	106,25	28,3	11,5	A03
R211	143	104,55	27,8	11,7	A03
R212	89	27,9	7,4	5,0	D10
R213	107	61,16	16,3	9,1	A04/C02
R214	60	20,64	5,5	5,5	D10
R215	0	0	0,0	0,0	D10
R216	0	0	0,0	0,0	D10
R217	0	0	0,0	0,0	D10
R218	0	0	0,0	0,0	A03
R219	0	0	0,0	0,0	D10
R220	49	13,28	3,5	4,3	A03/F02
R221	87	27,58	7,3	5,1	A02
R222	64	31,93	8,5	8,0	A07
R223	105	43,85	11,7	6,7	A04/C02
R224	104	43,62	11,6	6,7	A04/B08
R225	104	43,31	11,5	6,7	A04
R226	106	44,47	11,8	6,7	A04/C02
R227	42	16,84	4,5	6,4	D10
R228	42	17,56	4,7	6,7	A03

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"		Categoria catastale
	giorni/anno	ore/anno	[ore/anno]	[minuti/giorno]	
R229	42	17,64	4,7	6,7	A03
R230	38	13,67	3,6	5,7	A07
R231	88	37,58	10,0	6,8	A03
R232	130	75,33	20,1	9,3	A07
R233	0	0	0,0	0,0	A03
R234	49	25,13	6,7	8,2	A07
R235	41	16,59	4,4	6,5	D02
R236	75	26,75	7,1	5,7	A03
R237	50	18,74	5,0	6,0	A07
R238	52	20,02	5,3	6,2	A02
R239	50	17,78	4,7	5,7	A07
R240	51	18,53	4,9	5,8	A02
R241	54	18,93	5,0	5,6	A02
R242	54	19,77	5,3	5,8	A02
R243	54	19,57	5,2	5,8	A03/C06
R244	56	20,54	5,5	5,9	A02
R245	54	20,55	5,5	6,1	A03/C06
R246	62	24,35	6,5	6,3	A02/C06
R247	66	26,57	7,1	6,4	A03/C06
R248	72	28,13	7,5	6,2	A02/A04
R249	75	27,39	7,3	5,8	A02/C06
R250	76	30,87	8,2	6,5	A02
R251	68	28,27	7,5	6,6	A02
R252	56	20,46	5,4	5,8	A07
R253	62	23,95	6,4	6,2	A02/C02
R254	72	20,83	5,5	4,6	A02
R255	101	37,67	10,0	6,0	A02
R256	100	46,12	12,3	7,4	A02
R257	99	46,49	12,4	7,5	A02
R258	89	24,68	6,6	4,4	A07
R259	83	24,64	6,6	4,7	A02
R260	84	24,8	6,6	4,7	A02
R261	85	39,17	10,4	7,4	A02/F03
R262	83	38,32	10,2	7,4	A02
R263	74	32,48	8,6	7,0	A07
R264	83	31,38	8,4	6,0	A03
R265	81	27,46	7,3	5,4	A04/C02
R266	74	23,53	6,3	5,1	A04/C02
R267	66	25,17	6,7	6,1	A07
R268	52	18,83	5,0	5,8	A02
R269	52	18,55	4,9	5,7	A02

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"		Categoria catastale
	giorni/anno	ore/anno	[ore/anno]	[minuti/giorno]	
R270	79	24,8	6,6	5,0	0
R271	71	25,65	6,8	5,8	0
R272	0	0	0,0	0,0	0
R273	0	0	0,0	0,0	0
R274	0	0	0,0	0,0	0
R275	0	0	0,0	0,0	0
R276	0	0	0,0	0,0	0
R277	0	0	0,0	0,0	0
R278	0	0	0,0	0,0	0
R279	0	0	0,0	0,0	0
R280	0	0	0,0	0,0	0
R281	0	0	0,0	0,0	0
R282	0	0	0,0	0,0	0
R283	0	0	0,0	0,0	0
R284	0	0	0,0	0,0	0
R285	0	0	0,0	0,0	0
R286	0	0	0,0	0,0	0
R287	0	0	0,0	0,0	0
R288	0	0	0,0	0,0	0
R289	0	0	0,0	0,0	0
R290	0	0	0,0	0,0	D10
R291	0	0	0,0	0,0	D10
R292	80	27,4	7,3	5,5	A07
R293	61	19,64	5,2	5,1	C02
R294	53	17,68	4,7	5,3	A03
R295	56	18,67	5,0	5,3	A03
R296	48	15,41	4,1	5,1	C02
R297	47	15,17	4,0	5,2	C06
R298	34	8,03	2,1	3,8	D10
R299	35	7,84	2,1	3,6	A03
R300	35	7,99	2,1	3,6	A03/D10
R301	37	7,98	2,1	3,4	C02
R302	36	7,71	2,1	3,4	C02
R303	35	7,39	2,0	3,4	C02
R304	35	7,5	2,0	3,4	C02
R305	34	7,65	2,0	3,6	C02
R306	0	0	0,0	0,0	D10
R307	44	19,58	5,2	7,1	C01
R308	46	20,26	5,4	7,0	A07
R309	46	20,54	5,5	7,1	A07
R310	44	18,06	4,8	6,6	C03/E03

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"		Categoria catastale
	giorni/anno	ore/anno	[ore/anno]	[minuti/giorno]	
R311	43	18,35	4,9	6,8	C03/E03
R312	81	45,45	12,1	9,0	A03/C06
R313	94	43,1	11,5	7,3	C06
R314	115	47,94	12,8	6,7	C06
R315	118	49,22	13,1	6,7	A02
R316	119	49,71	13,2	6,7	C06
R317	117	48,18	12,8	6,6	C02
R318	108	45,41	12,1	6,7	C02
R319	144	64,85	17,3	7,2	A07
R320	148	63,48	16,9	6,9	C02/C06
R321	154	66,25	17,6	6,9	A04
R322	131	57,31	15,3	7,0	A02
R323	51	23,78	6,3	7,4	NC
R324	0	0	0,0	0,0	C06
R325	0	0	0,0	0,0	C02/F02
R326	0	0	0,0	0,0	C02/F02

Inoltre, alla luce di quanto descritto nei paragrafi precedenti, nel caso in esame non è presente nessun impatto significativo da shadow flickering sui ricettori individuati, infatti i ricettori soggetti per più ore all'anno al fenomeno (Caso "realistico") sono quelli indicati con i codici R15, R159, R160, R163, R209 (cfr. figure seguenti) per i quali si registrano nell'arco dell'anno, rispettivamente, circa 46.0, 36.6, 45.2, 34.0, 30.4 ore/anno potenziali del fenomeno analizzato. Inoltre è da sottolineare come nessun ricettore risulta soggetta ad un'esposizione superiore a 30 minuti al giorno.

Alla luce di quanto sopra esposto, in corrispondenza dei suddetti ricettori, con categoria catastale A07/C06, A03, e A02/C02, A03 e A02, potrà essere previsto in accordo con i proprietari dell'immobile, come intervento di mitigazione, la piantumazione di barriere sempreverdi (normali siepi di recinzione) al fine di ridurre e/o annullare completamente il fenomeno in oggetto e di eliminare completamente qualunque disturbo indotto.

Inoltre si rappresenta che si tratta di fenomeni:

- limitati nello spazio;
- episodici durante l'anno e localizzati all'alba o al tramonto;
- di breve durata nel corso della giornata, in quanto ciascun edificio è interessato solo per un breve periodo;
- limitati come intensità, dal momento che la luce del sole, in condizioni di alba o tramonto, risulta di intensità modesta e, quindi, è modesta anche la variazione dovuta allo shadow flickering.

Va altresì sottolineato che:

- la velocità di rotazione dell'aerogeneratore di progetto è dell'ordine di 11 rotazioni al minuto, quindi nettamente inferiore a 60 rpm, frequenza massima raccomandata al fine di ridurre al minimo i fastidi e soddisfare le condizioni di benessere;

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 in concomitanza dei seguenti fattori: assenza di nuvole o nebbia, rotore frontale ai ricettori, rotore in movimento continuo, assenza di ostacoli, luce diretta.

Tutta via si evidenzia come l'analisi condotta non ha tenuto conto della presenza di "zone di esclusione" naturali o artificiali che hanno la facoltà di inibire (parzialmente o totalmente) il fenomeno di Shadow Flicker sui ricettori individuati (es.: presenza di alberatura, tendaggi, infissi, ecc.), poiché il calcolo si è basato esclusivamente sui dati orografici e geografici de sito in esame.

Sulla base dei primi esiti della indagine, effettuata in sito e dalle valutazioni condotte tramite ortofoto, per comprendere la configurazione del territorio in cui si collocano i recettori sensibili e le caratteristiche stesse degli edifici, si sottolinea come alcuni dei recettori individuati non siano abitati oppure siano già caratterizzati dalla presenza di barriere fisiche (i.e. alberature, portici, tende da sole) che riducono l'esposizione al fenomeno dell'ombreggiamento intermittente.

Pertanto, si sottolinea che i risultati presentati rappresentano il caso peggiore in cui si verificano i fattori sopra esposti in concomitanza per cui è ragionevole ritenere che tale fenomeno possa essere difficilmente percepito nelle condizioni reali.



Figura 3: Inquadramento tramite Google Earth del Ricettore R15



Figura 4: Inquadramento tramite Google Earth del Ricettore R159

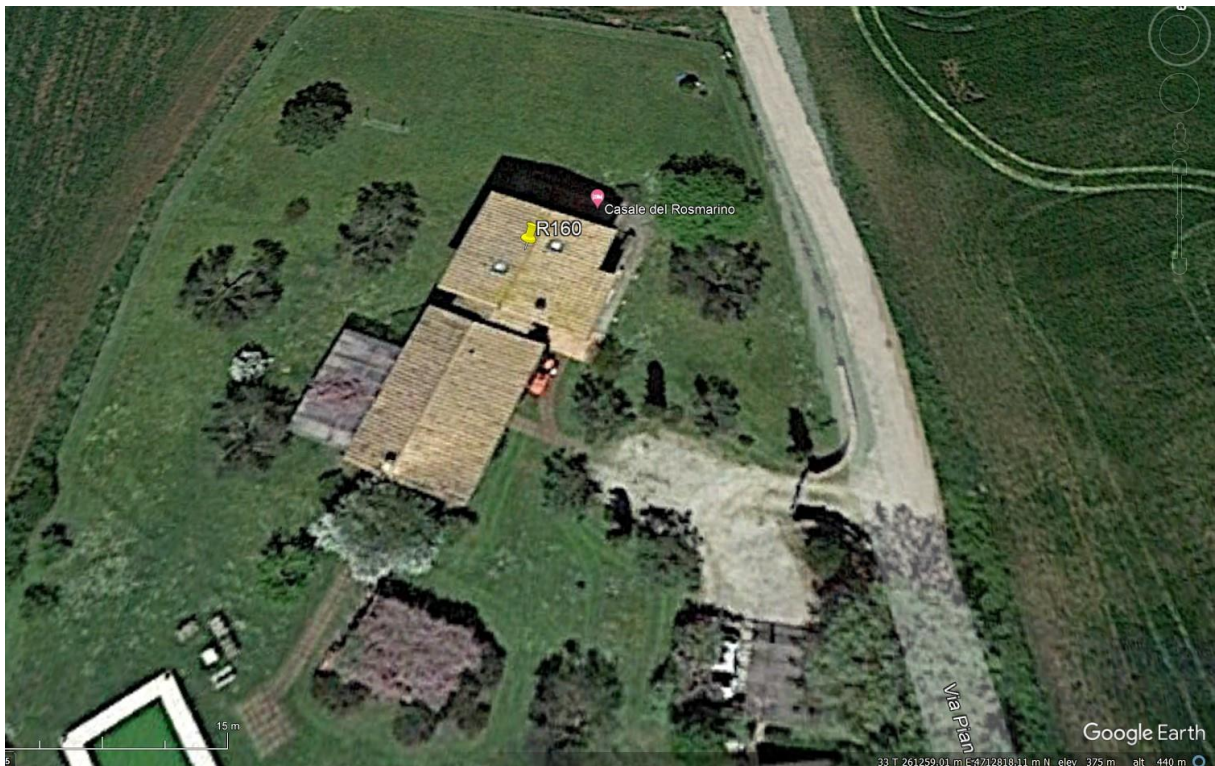


Figura 5: Inquadramento tramite Google Earth del Ricettore R160



Figura 6: Inquadramento tramite Google Earth del Ricettore R163

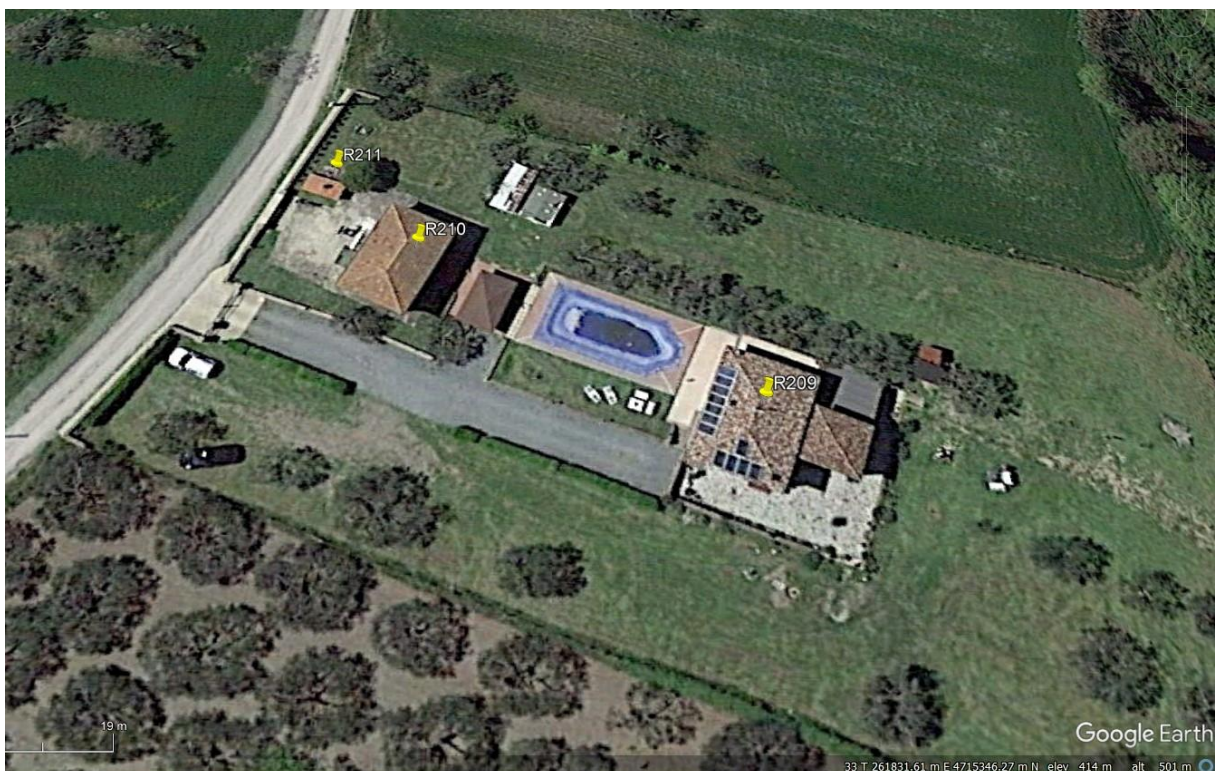
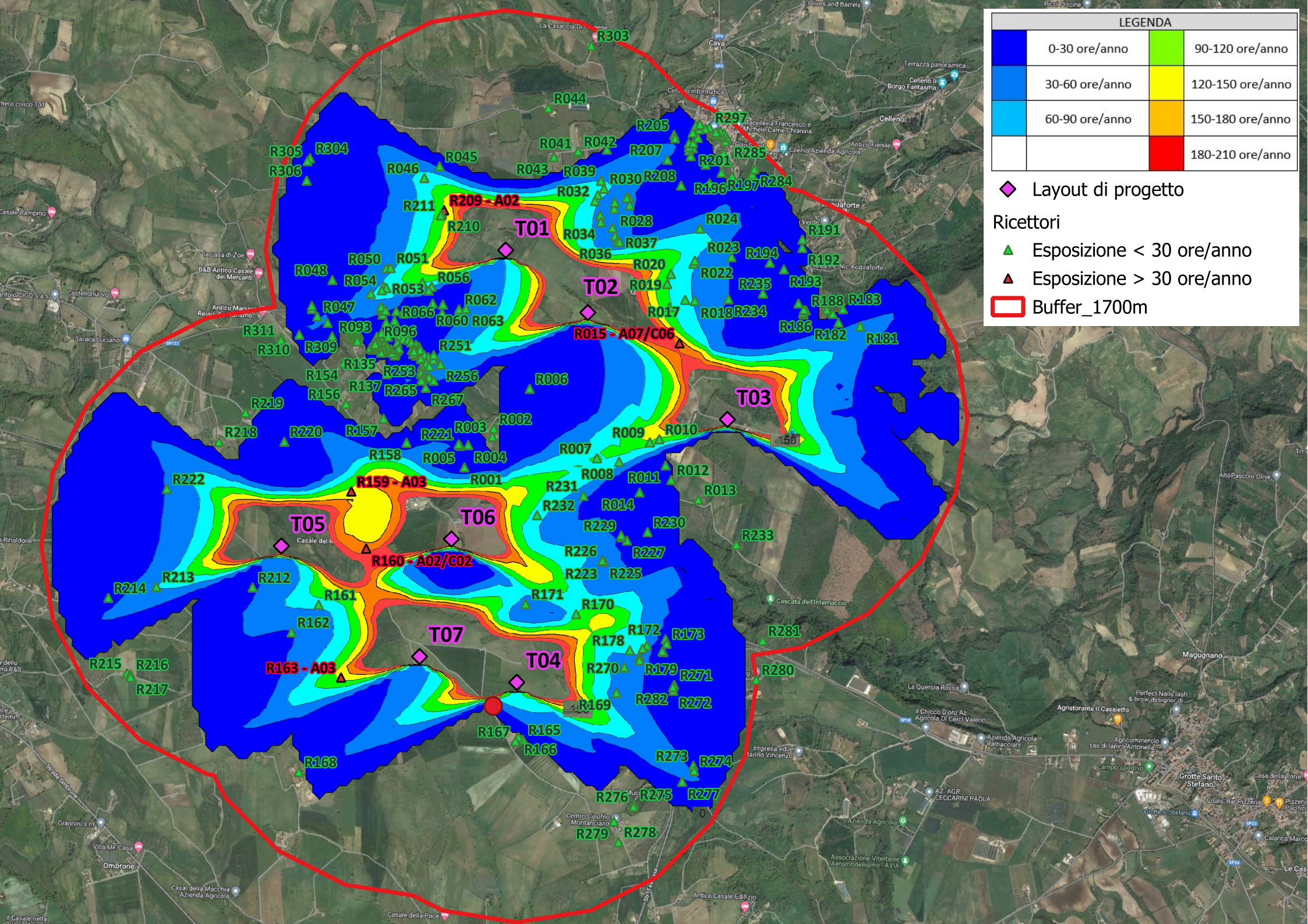


Figura 7: Inquadramento tramite Google Earth del Ricettore R209

Figura 8: Mappa di impatto potenziale (Worst Case) da shadow flickering per il campo eolico in esame



LEGENDA			
	0-30 ore/anno		90-120 ore/anno
	30-60 ore/anno		120-150 ore/anno
	60-90 ore/anno		150-180 ore/anno
			180-210 ore/anno

- ◆ Layout di progetto
- Ricettori
 - ▲ Esposizione < 30 ore/anno
 - ▲ Esposizione > 30 ore/anno
- Buffer_1700m