

REGIONE: PUGLIA

PROVINCIA: FOGGIA

COMUNI: CERIGNOLA ed ASCOLI SATRIANO

ELABORATO:

4.2
6D

OGGETTO:

**PARCO EOLICO Cerignola Borgo Libertà
composto da 12 WTG da 3,40MW/cad.**

PROGETTO DEFINITIVO

STUDIO EVOLUZIONE OMBRA (SHADOW FLICKERING)

PROPONENTE:

TOZZIgreen

TOZZI Green S.p.A.

Via Brigata Ebraica, 50
48123 Mezzano (RA) Italia
tozzi.re@legalmail.it

tel. +39 0544 525311
fax +39 0544 525319

PROGETTISTA:

ing. Massimo CANDEO

Ordine Ing. Bari n° 3755
Via Canello Rotto, 3
70125 Bari
m.candeo@pec.it

tel. +39 328 9569922
fax +39 080 2140950



Collaborazione:
ing. Gabriele CONVERSANO
Ord. Ing.ri Bari n° 8884

Note:

DATA	REV	DESCRIZIONE	ELABORATO da:	APPROVATO da:
28.06.2017	0	Emissione	ing. Massimo Candeo e Gabriele Conversano	ing. Massimo Candeo

PROPRIETÀ ESCLUSIVA DELLE SOCIETÀ SOPRA INDICATE,
UTILIZZO E DUPLICAZIONE VIETATE SENZA AUTORIZZAZIONE SCRITTA

SOMMARIO

1	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	3
2	SHADOW FLICKERING.....	4
3	ANALISI DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA PER L'IMPIANTO IN PROGETTO ...	6
4	CONCLUSIONI.....	11

1 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

La presente proposta progettuale è finalizzata alla realizzazione di un impianto eolico per la produzione industriale di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica, da realizzarsi all'interno dei limiti amministrativi dei Comuni di Cerignola ed Ascoli Satriano (FG).

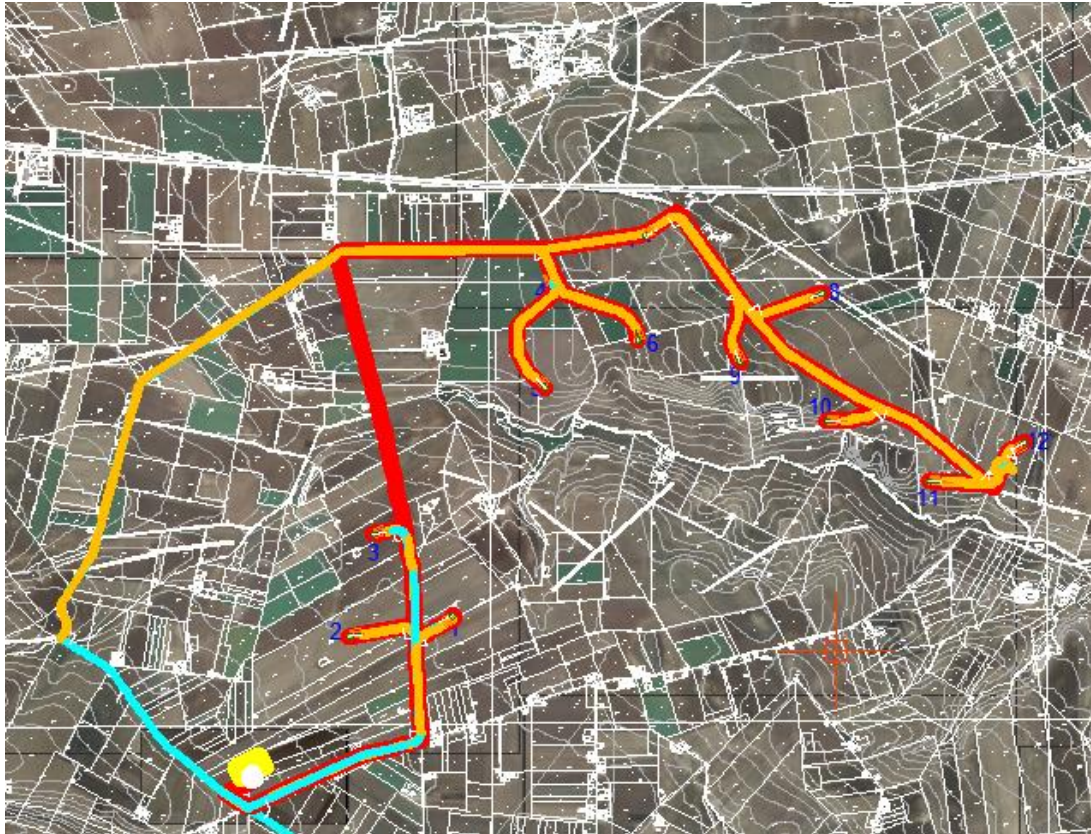


Fig. 1.1 - Layout impianto

L'aerogeneratore impiegato nel presente progetto è costituito da una torre di sostegno tubolare metallica a tronco di cono, sulla cui sommità è installata la navicella il cui asse è a 110mt dal piano campagna con annesso il rotore di diametro pari a 130m (lunghezza pala 62,5mt circa), per un'altezza massima complessiva del sistema torre-pala di 175mt slt.

L'impianto eolico sarà costituito da 12 aerogeneratori, per una potenza elettrica complessiva pari a 40,8MW.

Il Layout dell'impianto è schematicamente indicato nella precedente figura, ma meglio dettagliato nelle **Tavole di Progetto**.

In riferimento alla Soluzione Tecnica che sarà rilasciata da Terna Spa, gestore nella Rete elettrica di Trasmissione Nazionale (RTN), l'energia prodotta dall'impianto eolico in progetto sarà immessa nella rete elettrica nazionale, mediante connessione in cavo AT 150 kV con la esistente stazione RTN di Valle su stallo dedicato a 150kV.

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

2 SHADOW FLICKERING

Lo *shadow flickering* consiste in una variazione periodica dell'intensità luminosa osservata, causata dalla proiezione, su una superficie, dell'ombra indotta da oggetti in movimento. Per un impianto eolico tale fenomeno è generato dalla proiezione, al suolo o su un recettore, dell'ombra prodotta dalle pale in rotazione degli aerogeneratori.

Dal punto di vista di un recettore, lo *shadow flickering* si manifesta in una variazione ciclica dell'intensità luminosa: in presenza di luce solare diretta, un recettore localizzato nella zona d'ombra indotta dal rotore, sarà investito da un continuo alternarsi di luce diretta ed ombra, causato dalla proiezione delle ombre dalle pale in movimento.

Tale fenomeno se vissuto dal recettore per periodi di tempo non trascurabile può generare un disturbo, quando:

- si sia in presenza di un livello sufficiente di intensità luminosa, ossia in condizioni di cielo sereno sgombro da nubi ed in assenza di nebbia e con sole alto rispetto all'orizzonte;
- la linea recettore-aerogeneratore non incontri ostacoli: in presenza di vegetazione o edifici interposti l'ombra generata da quest'ultimi annulla il fenomeno. Pertanto, ad esempio, qualora il recettore sia un'abitazione, perché si generi lo *shadow flickering* le finestre dovrebbero essere orientate perpendicolarmente alla linea recettore-aerogeneratore e non affacciarsi su ostacoli (alberi, altri edifici, ecc.);
- la turbina sia orientata in modo che il rotore risulti perpendicolare alla linea sole-recettore: come mostrato nelle figure seguenti, quando il piano del rotore è perpendicolare alla linea sole-recettore, l'ombra proiettata dalle pale risulta muoversi all'interno di un "cerchio" che riferisce alla circonferenza del rotore inducendo uno *shadow flickering* non trascurabile; per situazioni in cui, dal punto di vista del recettore, il piano del rotore risulti essere in linea con il sole ed il recettore, l'ombra proiettata è sottile, di bassa intensità ed è caratterizzata da un rapido movimento, risultando pertanto lo *shadow flickering* di entità trascurabile.

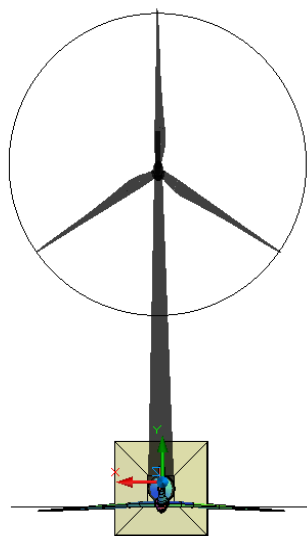


Fig. 2.1 – Proiezione dell'ombra indotta dall'aerogeneratore con rotore perpendicolare alla linea sole - recettore



Fig. 2.2 – Proiezione dell'ombra indotta dall'aerogeneratore con rotore in linea con il sole ed il recettore

- la posizione del sole sia tale da indurre una luminosità sufficiente. Ciò si traduce, in riferimento alla latitudine di progetto, in un'altezza del sole pari ad almeno 15-20°;
- le pale siano in movimento;
- turbina e recettore siano vicini: le ombre proiettate in prossimità dell'aerogeneratore risultano di maggiore intensità e nitidezza rispetto a quelle proiettate lontano. Quando una turbina è posizionata sufficientemente vicino al recettore, così che una porzione ampia di pala copra il sole (così come osservato dal punto di vista del recettore), l'intensità del flicker risulta maggiore. All'aumentare della distanza tra turbina e recettore, le pale coprono una porzione sempre più piccola del sole, inducendo un flicker di minore entità. Inoltre il fenomeno risulta di bassa entità quando l'ombra proiettata sul recettore è indotta dall'estremità delle pale (rotor tip); raggiunge il massimo dell'intensità in corrispondenza dell'attacco di pala all'hub.

Rilevamenti sul campo hanno evidenziato che per distanze tra aerogeneratore (di altezza paragonabile a quella delle macchine in progetto) e recettore superiori a 350m il fenomeno è da rilevarsi solo all'alba ed al tramonto, momenti in cui la radiazione diretta è di minore intensità.

Pertanto, in riferimento a quanto sin qui esposto, si può concludere che durata ed entità dello Shadow Flickering sono condizionate:

- dalla distanza tra aerogeneratore e recettore;
- dalla direzione ed intensità del vento;
- dall'orientamento del recettore;
- dalla presenza o meno di ostacoli lungo la linea di vista recettore – aerogeneratore – sole;
- dalle condizioni meteorologiche;
- dall'altezza del sole.

3 ANALISI DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA PER L'IMPIANTO IN PROGETTO

Al fine di verificare la sussistenza del fenomeno dello *shadow flickering* indotto dalle opere in progetto sono state effettuate simulazioni in considerazione:

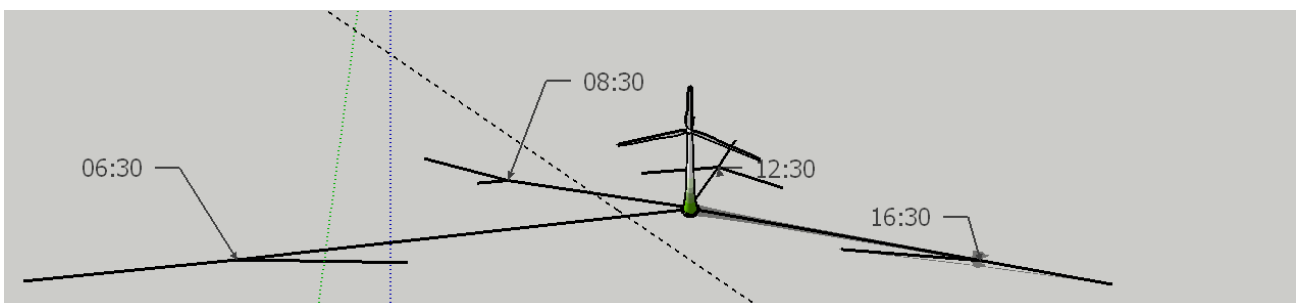
- del diagramma solare riferito alla latitudine di installazione dell'impianto;
- dell'altezza complessiva di macchina, intesa quale somma tra l'altezza del mozzo e la lunghezza di pala;
- dall'orientamento del rotore rispetto al recettore;
- della posizione del sole e quindi della proiezione dell'ombra rispetto ai recettori;
- dell'orografia;
- della posizione dei possibili recettori.

Le simulazioni effettuate sono state condotte in condizioni conservative, assumendo il cielo completamente sgombro da nubi, foschia, ecc. e nessun ostacolo interposto tra il recettore e la turbina eolica. E' stato quindi realizzato un modello 3D dell'aerogeneratore, avente le dimensioni caratteristiche degli aerogeneratori in progetto, che è stato posizionato in ambiente CAD nelle coordinate geografiche rappresentative del centro dell'impianto.

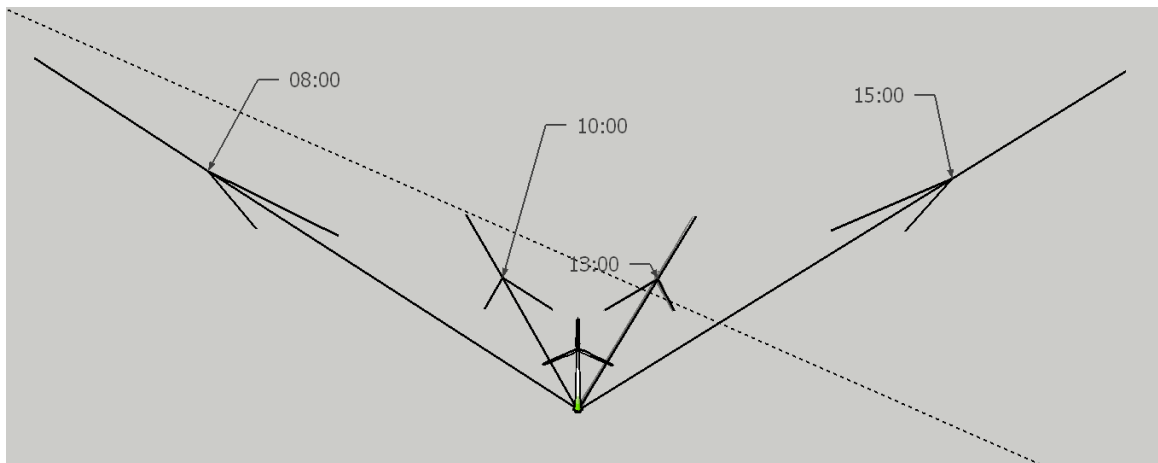
E' stato quindi possibile calcolare per il perielio invernale (4 gennaio, giorno in cui terra e sole sono alla minima distanza e le ombre sono più lunghe) e per il solstizio estivo (21 giugno) l'evoluzione dell'ombra dell'aerogeneratore. I risultati di questa simulazione sono riportati nelle immagini seguenti.

Le due condizioni sono state ritenute rappresentative perché:

- il fenomeno di flickering risulta tanto più rilevante quanto maggiore è l'intensità della luce del sole (21 giugno);
- dal punto di vista dell'individuazione dei possibili osservatori, la condizione più sfavorevole si ha nel periodo dell'anno, in determinate ore del giorno, in cui le ombre indotte dagli aerogeneratori risultano più lunghe (4 gennaio).



Evoluzione delle ombre relativa al 4 gennaio



Evoluzione delle ombre relativa al 21 giugno

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 e sovrapporla alla CTR.

I risultati sono riportati nelle immagini alle pagine seguenti in cui:

con tratteggiato giallo sono indicate le aree di shadow flickering con tratteggiato rosso sono indicati gli edifici (volutamente, per chiarezza grafica, l'area tratteggiata è molto più ampia dell'estensione degli edifici)

Dall'analisi delle immagini seguenti si può notare che:

anche nel giorno con le ombre di maggior lunghezza dell'anno, sono interessati dal fenomeno dello shadow flickering esclusivamente un singolo edificio nelle prime ore della mattina (SH_1 sulla cartografia - relativo all'aerogeneratore WTG4) ed un singolo edificio all'orario del tramonto (SH_2 - relativa all'aerogeneratore WTG12).

Si tratta di fenomeni:

- limitati nello spazio, in quanto relativi solo a due edifici;
- episodici durante l'anno in quanto limitati solo ad alcune giornate invernali;
- di breve durata nel corso della giornata, in quanto ciascun edificio è interessato solo per un breve periodo nelle prime ore della mattina o al tramonto
- limitati come intensità, dal momento che la luce del sole in inverno nelle prime ore del mattino e nelle ultime ore della sera è di intensità modesta e, quindi, è modesta anche la variazione dovuta allo shadow flickering

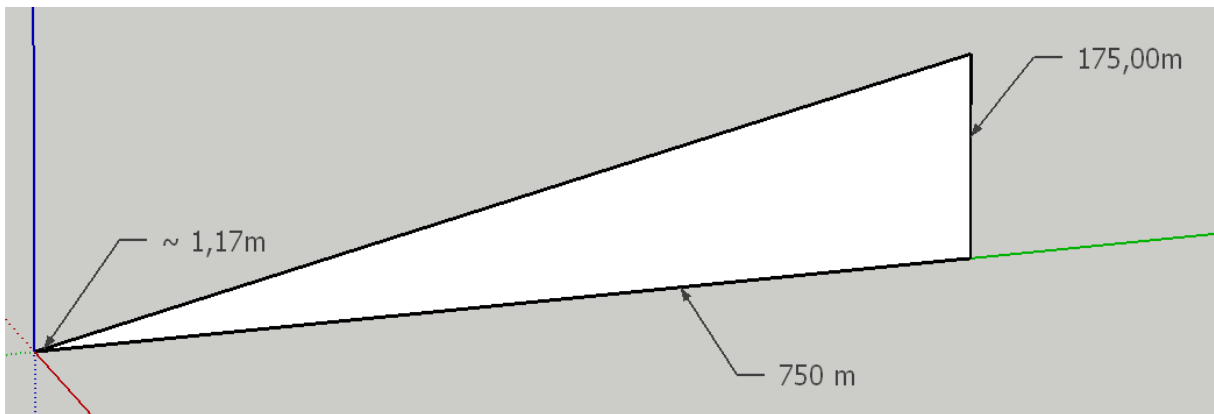
Come illustrato di seguito, peraltro, le normali recinzioni in siepe sono una misura di mitigazione più che sufficiente per eliminare completamente qualunque disturbo nella situazione di cui ci si occupa

E' escluso, in qualunque periodo dell'anno, lo shadow flickering in corrispondenza di alcun edificio nelle ore centrali della giornata, durante le quali l'intensità della radiazione solare è maggiore.

Con riferimento alla situazione del 21 giugno infatti, si osserva che un unico edificio è interessato, peraltro solo nelle prime ore della mattina, dall'ombra dell'aerogeneratore WTG10

(SH_3 nelle immagini), ma si tratta di un rudere e, pertanto, nessuno sarà disturbato dall'ombra proiettata dall'impianto.

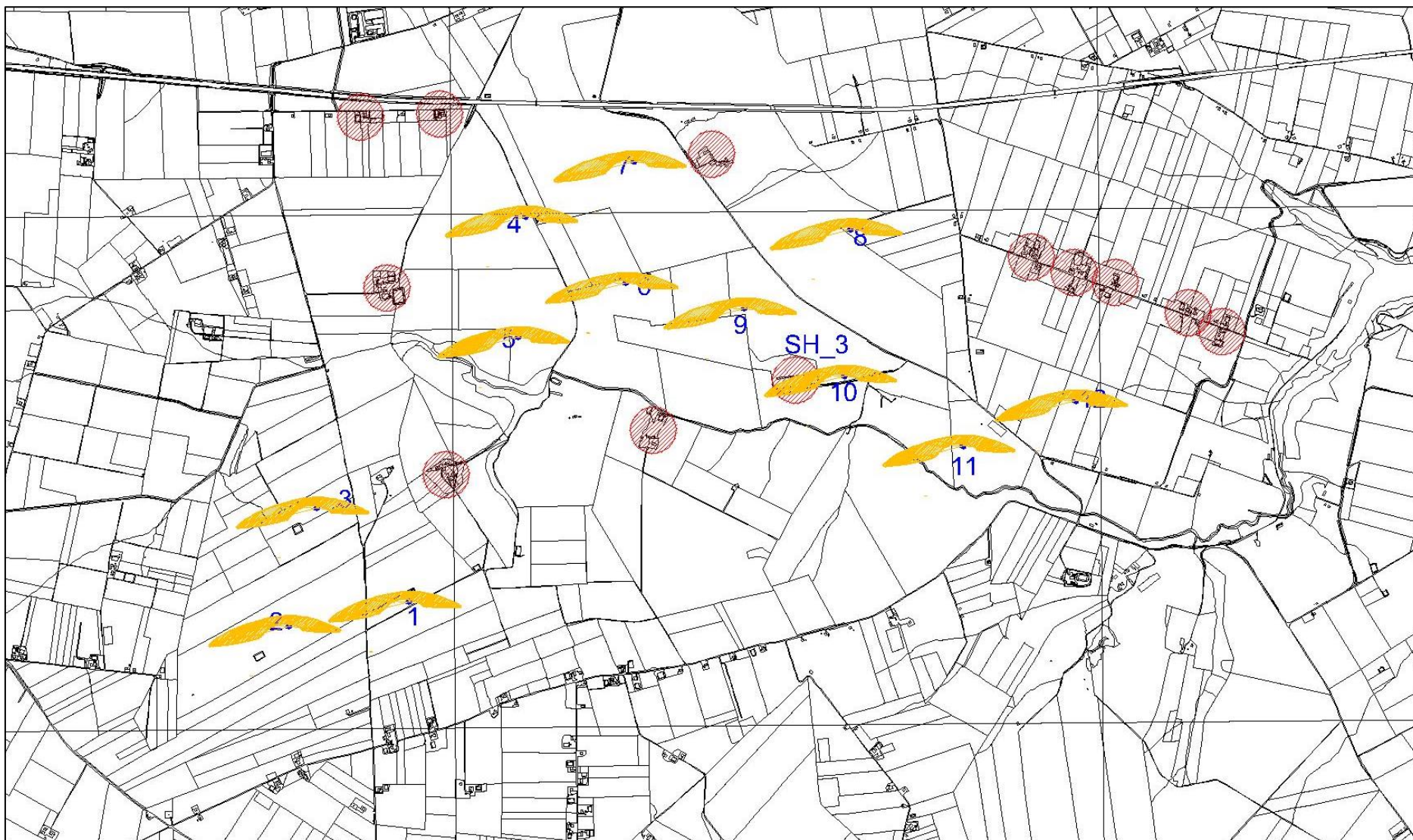
Peraltro in virtù della distanza reciproca tra aerogeneratori e ricettori, in caso di avvertito fastidio sarebbe sufficiente provvedere alla piantumazione di una barriera sempreverde di modesta altezza per eliminare completamente il problema.



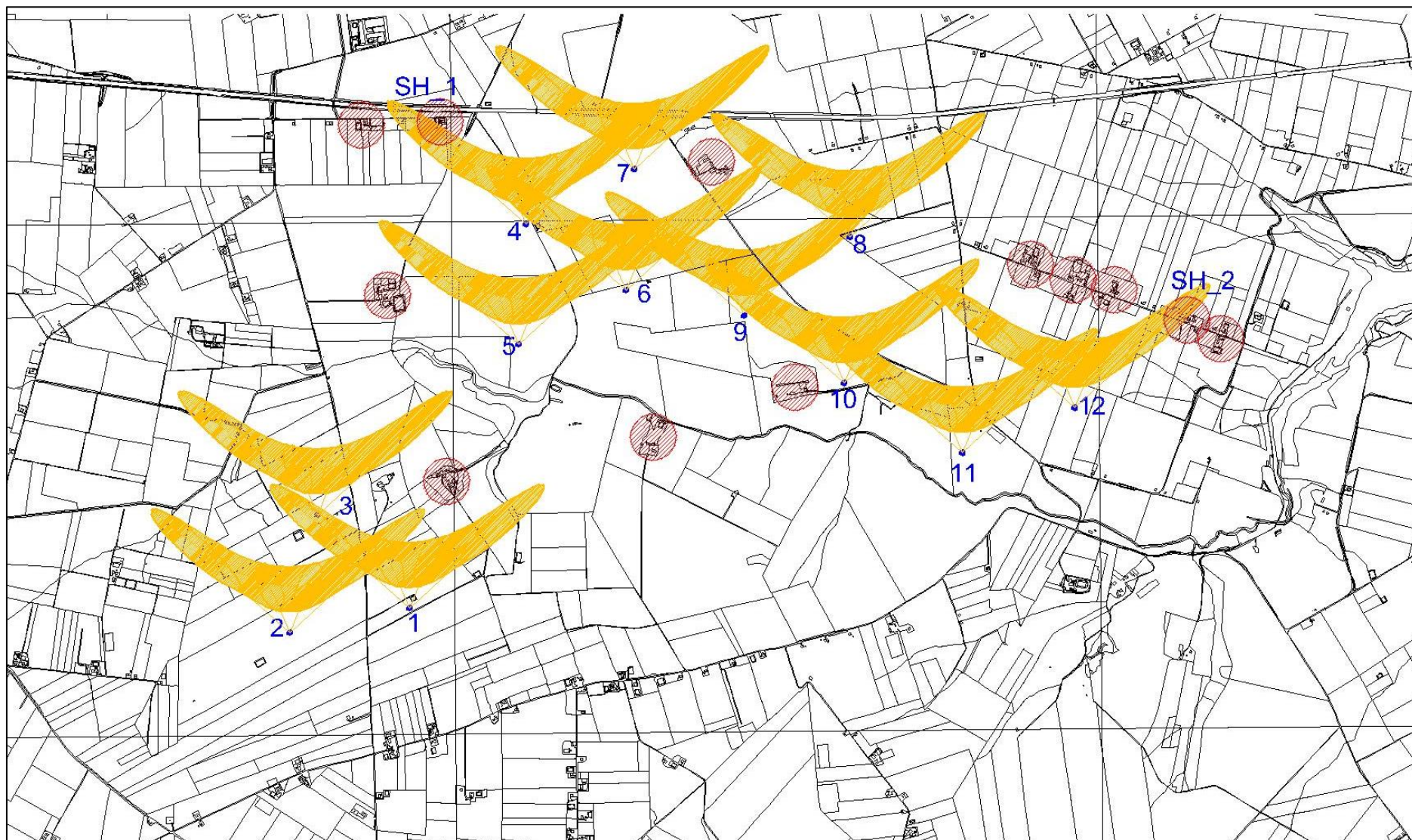
Schematizzazione geometrica

Come visibile dalla schematizzazione geometrica appena mostrata, per schermare visivamente (e quindi proteggere da flickering) un oggetto alto 175 metri (altezza del tip dell'aerogeneratore) posto ad una distanza di 750 m (inferiore peraltro alla distanza cui si trovano i ricettori potenzialmente disturbati) è sufficiente una barriera di altezza inferiore a 1,2 metri posta a 5 metri dal ricevitore disturbato.

E' bene evidenziare che, in tutto vantaggio di sicurezza, le simulazioni effettuate sono state eseguite in condizioni non reali, ipotizzando che si verificano contemporaneamente le situazioni più sfavorevoli per un ricevitore soggetto a shadow flickering (concomitanza di assenza di nuvole o nebbia, rotore frontale ai ricettori, rotore in movimento continuo, assenza di ostacoli, luce diretta, ecc.).



Area di shadow flickering su CTR – 21 giugno



Area di shadow flickering su CTR – 4 gennaio

4 CONCLUSIONI

Dallo studio delle ombre proiettate dagli aerogeneratori si evince che:

- non sono presenti ricettori nell'area percorsa dall'ombra degli aerogeneratori in periodo estivo;
- due edifici saranno interessati dall'ombra di un aerogeneratore in periodo invernale, ciascuno esclusivamente per un breve periodo della giornata ed in corrispondenza di ore nelle quali la radiazione solare diretta è di modesta entità: il fenomeno infatti si riscontra quando il sole ha un'altezza inferiore ai 15° sull'orizzonte, pertanto può ritenersi trascurabile, per l'elevata intensità della radiazione diffusa rispetto a quella diretta.
- in virtù della elevata distanza tra ricettori disturbati e aerogeneratori, in caso di avvertito fastidio sarà sufficiente la piantumazione di barriere sempreverdi di modesta altezza per eliminare completamente il fenomeno dello shadow flickering.