

REGIONE SARDEGNA
Provincia di Sassari
COMUNI DI NULVI E PLOAGHE

PROGETTO

POTENZIAMENTO PARCO EOLICO NULVI- PLOAGHE



PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE



PROGETTISTA:



Hydro Engineering s.s.
di Damiano e Mariano Galbo
via Rossotti, 39
91011 Alcamo (TP) Italy



OGGETTO DELL'ELABORATO:

STUDIO EVOLUZIONE OMBRA (SHADOW FLICKERING)

CODICE PROGETTISTA	DATA	SCALA	FOGLIO	FORMATO	CODICE DOCUMENTO				
	03/08/2018	/	1 di 14	A4	IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.
					PLO	ENG	REL	0018	00

NOME FILE: PLO-ENG-REL-0018_00.doc

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO NULVI - PLOAGHE STUDIO EVOLUZIONE OMBRA (SHADOW FLICKERING)	2
PLO	ENG	REL	0018	00		

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	03/08/2018	Prima emissione	EG	MG	DG

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO NULVI - PLOAGHE STUDIO EVOLUZIONE OMBRA (SHADOW FLICKERING)	3
PLO	ENG	REL	0018	00		

1	PREMESSA	4
2	DESCRIZIONE DELL'AEROGENERATORE	5
3	SHADOW FLICKERING	6
4	ANALISI DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA PER L'IMPIANTO IN PROGETTO.....	8
5	VALUTAZIONI DEL FENOMENO	10

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO NULVI - PLOAGHE STUDIO EVOLUZIONE OMBRA (SHADOW FLICKERING)	4
PLO	ENG	REL	0018	00		

1 PREMESSA

La società *Hydro Engineering s.s.* è stata incaricata di redigere il progetto definitivo relativo al potenziamento dell'impianto eolico ubicato nei Comuni di Nulvi (SS) e Ploaghe (SS) e costituito allo stato attuale da n. 51 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale di 0,85 MW, per una potenza complessiva di 43,35 MW.

Il progetto definitivo relativo al potenziamento dell'impianto consiste nella dismissione di tutti gli aerogeneratori esistenti (n.51 unità da 0.85 MW) e nella realizzazione di n. 27 nuovi aerogeneratori da 4,5 MW per complessivi 121,50 MW.

L'installazione del più moderno tipo di generatore comporterà la riduzione del numero di torri eoliche, dalle 51 esistenti alle 27 proposte, riducendo in maniera sensibile l'effetto selva.

Inoltre, l'incremento di efficienza delle turbine previste rispetto a quelle in esercizio, porterà ad un ampliamento del tempo di generazione ed un aumento della produzione unitaria media.

La produzione di energia sarà incrementata più di quattro volte quella attuale, e con la medesima proporzione avverrà l'abbattimento di produzione di CO2 equivalente.

Inoltre, l'incremento di efficienza delle turbine previste rispetto a quelle in esercizio, porterà ad un ampliamento del tempo di generazione ed un aumento della produzione unitaria media.

Il presente elaborato riguarda l'analisi del fenomeno denominato "shadow flicker" (letteralmente ombreggiamento intermittente) ovvero l'espressione comunemente impiegata per descrivere l'effetto stroboscopico delle ombre proiettate dalle pale rotanti degli aerogeneratori eolici allorquando il sole si trova alle loro spalle. Il fenomeno si traduce in una variazione alternata di intensità luminosa che, a lungo andare, può provocare fastidio agli occupanti delle abitazioni le cui finestre risultano esposte al fenomeno stesso.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO NULVI - PLOAGHE STUDIO EVOLUZIONE OMBRA (SHADOW FLICKERING)	5
PLO	ENG	REL	0018	00		

2 DESCRIZIONE DELL'AEROGENERATORE

L'aerogeneratore è una macchina che sfrutta l'energia cinetica posseduta del vento, per la produzione di energia elettrica, descritta nell'elaborato *"Tipico aerogeneratore PLO-ENG-TAV-0072_00"*.

Sul mercato esistono diverse tipologie di aerogeneratori, ad asse orizzontale e verticale, con rotore mono, bi o tripala, posto sopra o sottovento.

L'aerogeneratore di progetto è del tipo descritto a seguire:

- un aerogeneratore ad asse orizzontale con rotore tripala e una potenza massima di 4500 KW, le cui caratteristiche principali sono di seguito riportate:

rotore tripala a passo variabile, di diametro di 145 m, posto sopravvento al sostegno, in resina epossidica rinforzata con fibra di vetro, con mozzo rigido in acciaio;

navicella in carpenteria metallica con carenatura in vetroresina e lamiera, in cui sono collocati il generatore elettrico e le apparecchiature idrauliche ed elettriche di comando e controllo;

sostegno tubolare troncoconico in acciaio, avente altezza massima pari a 180.0 m, altezza massima fino all'asse del rotore variabile tra i 107,50 m e i 114.00 m, diametro del rotore 145,00 m e diametro interno alla base di circa 4,00 m.

I tronchi di torre sono realizzati da lastre in acciaio laminate, saldate per formare una struttura tubolare troncoconica.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO NULVI - PLOAGHE STUDIO EVOLUZIONE OMBRA (SHADOW FLICKERING)	6
PLO	ENG	REL	0018	00		

3 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 ricettore, 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 trascurabili 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 questi ultimi annulla il fenomeno. Pertanto, ad esempio, qualora il recettore sia una abitazione, perché si generi lo shadow flickering le finestre dovrebbero essere orientate perpendicolarmente alla linea recettore-aerogeneratore e non affacciarsi su ostacoli;
- La turbina sta 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;
- 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 sono in movimento;
- Turbina e ricettore 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 ricettore, così che una porzione ampia di pala copra il sole, 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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO NULVI - PLOAGHE STUDIO EVOLUZIONE OMBRA (SHADOW FLICKERING)	7
PLO	ENG	REL	0018	00		

quando l'ombra proiettata sul recettore è indotta dall'estremità delle pale; raggiunge il massimo dell'intensità in corrispondenza dell'attacco di pala all'hub.



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

Rilevamenti sul campo hanno evidenziato che per distanze tra aerogeneratore di altezza paragonabile a quella delle macchine di progetto) e recettori superiori a 350m il fenomeno è da rilevarsi solamente all'alba e 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 del recettore – aerogeneratore – sole;
- dalle condizioni metereologiche;
- dall'altezza del sole.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO NULVI - PLOAGHE STUDIO EVOLUZIONE OMBRA (SHADOW FLICKERING)	8
PLO	ENG	REL	0018	00		

4 ANALISI DELL'EVOLUZIONE DELL'OMBRA PER L'IMPIANTO DI PROGETTO

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

- della altezza della macchina con pala 180m);
- orientamento del rotore rispetto al ricettore;
- proiezione dell'ombra rispetto ai recettori;
- posizione dei possibili recettori.

Le simulazioni sono state effettuate mediante un tool applicativo di autodesk, denominato Ombra Solare (OS), tramite il quale è possibile valutare la proiezione delle ombre prodotte dai raggi solari, rispetto ad un dato oggetto di altezza h, in virtù della sua posizione geografica (latitudine e longitudine) ed in funzione dei vari periodi annui. A tal proposito si è deciso di effettuare le simulazioni:

- per le 24 ore durante il quale si verrà a registrare il solstizio d'estate 21-06 (massimo valore di declinazione positiva del sole);
- per le 24 ore durante il quale si verrà a registrare il solstizio d'inverno 21-12 (massimo valore di declinazione negativa del sole);
- per le 24 ore del giorno 04-01 giorno del perielio invernale, giorno durante il quale sole e terra si trovano alla minima distanza e le ombre più lunghe.

Le tre condizioni illustrate sono state ritenute significative in quanto:

- 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 e 21 dicembre).

In particolare:

- il 4 gennaio il sole ha un'altezza maggiore di 20° sull'orizzonte nell'intervallo compreso tra le 9:30 e le 15:00;
- il 21 giugno il sole ha un'altezza maggiore di 20° sull'orizzonte nell'intervallo compreso tra le 6:45 e le 17:45.

Si precisa come la proiezione sia stata effettuata considerando la pala orientata, non nella principale direzione del vento, ovvero nella posizione in cui dovrebbe trovarsi nella maggior parte del suo funzionamento, ma come se essa fosse contemporaneamente in tutte le direzioni al momento dell'esposizione ai raggi solari.

È bene evidenziare inoltre che, a vantaggio di sicurezza, le simulazioni effettuate sono state

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO NULVI - PLOAGHE STUDIO EVOLUZIONE OMBRA (SHADOW FLICKERING)	9
PLO	ENG	REL	0018	00		

eseguite in condizioni non reali, ipotizzando cioè contemporaneamente le condizioni più sfavorevoli per qualunque recettore soggetto a shadow flickering:

- assenza di manto nuvoloso;
- rotore in movimento alla massima frequenza ed in moto continuo;
- assenza di ostacoli;
- luce diretta.

Le ombre sono state suddivise in funzione delle tavole (Allegati 1-2-3), nelle proiezioni durante le tre giornate (04-01; 21-06; 21-12) nelle quali sono state effettuate le simulazioni. All'interno di ciascuna tavola le ombre sono state a loro volta suddivise in due proiezioni separate relative alle torri degli aerogeneratori e al blocco delle pale. Le ombre, come visibile nelle tavole, si sovrappongono per larghi tratti. In realtà tale sovrapposizione avverrà solamente da una certa distanza in poi, in quanto nonostante la variabilità delle inclinazioni di proiezione, non avremo ombra indotta dal blocco delle pale a pochi metri di distanza dalla torre. La situazione descritta negli elaborati allegati è dunque in assoluto la situazione più gravosa possibile e, appurata l'assenza di significative interferenze con edifici e con la viabilità provinciale esistente, consente una analisi del fenomeno in oggetto, del tutto cautelativa.

Avendo calcolato geometricamente l'evoluzione delle ombre durante la giornata, per i giorni e per gli intervalli orari indicati, è possibile infatti identificare l'area in cui avviene il fenomeno dello shadow flickering per ciascun aerogeneratore. Si riporta, in coda, l'output realizzato mediante l'applicazione Ombra Solare.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO NULVI - PLOAGHE STUDIO EVOLUZIONE OMBRA (SHADOW FLICKERING)	10
PLO	ENG	REL	0018	00		

5 VALUTAZIONI DEL FENOMENO

Come visibile dalle tavole allegate alla presente relazione, lungo tutto il tracciato del parco solamente in alcuni punti si avrà sovrapposizione delle ombre indotte dalle pale opportunamente proiettate, con il tracciato della strada provinciale, della strada statale e con tratti di rete ferroviaria (nei vari tratti SPn.76/SSn.127). In molti di questi tratti tuttavia l'influenza sarà minima in quanto vi arrivano le ombre con proiezione più profonda e dunque quelle che avranno una intensità solare molto ridotta. Si deve inoltre considerare il fatto che trattasi di viabilità con bassa frequenza di passaggi veicolari.

Per quel che concerne invece la presenza di edifici (censiti catastalmente come abitazioni) nell'intorno degli aerogeneratori R-NU02 e R-NU08, la proiezione delle ombre dovute al moto rotatorio delle pale avrà in alcuni casi minima influenza, nulla in tutti i restanti, come si nota dagli allegati 1 - 2 - 3.

Saranno soggetti al fenomeno di shadow flickering (con entità comunque molto ridotta) solamente edifici catastalmente individuati come *“ruderi o aree relative a fabbricati demoliti o aree fortemente degradate”* o ancora *“immobili adibiti a deposito o ad attività agricola”* (sporadicamente frequentati) e pertanto il fenomeno non è da considerare di rilievo.

Lo “shadow flickering” è ritenuto “pericoloso” in quanto dimostrato che l'effetto visivo, dovuto alla intermittenza dell'ombra creata dal moto delle pale in rotazione (per una lunghezza complessiva di non più di 300 m), sia causa di possibili danni alla salute umana. Si ritiene più precisamente che il fenomeno sia strettamente connesso con i problemi di epilessia. Tuttavia, le frequenze che possono provocare un senso di fastidio sono comprese tra i 2.5 Hz e 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 sulla quale siano manifesti problemi di alimentazione elettrica.

Questo tipo di aerogeneratore da 4.5 MW a in genere un numero di giri per minuti legato alla velocità di cut-off (27 m/s) prossimo ai 10-20 rpm. Una semplice conversione in termini di unità di misura dimostra che 60 rpm sono pari all'incirca ad 1 Hz. Considerando le macchine da 3 pale e moltiplicando pertanto la frequenza di tale rotazione, si arriva a dimostrare come l'effetto di disturbo massimo generabile per effetto del fenomeno di shadow flickering dovuto al moto delle pale è pari ad 1 Hz. Si è, pertanto, ben al di sotto delle soglie che sono definibili pericolose in termini medici.

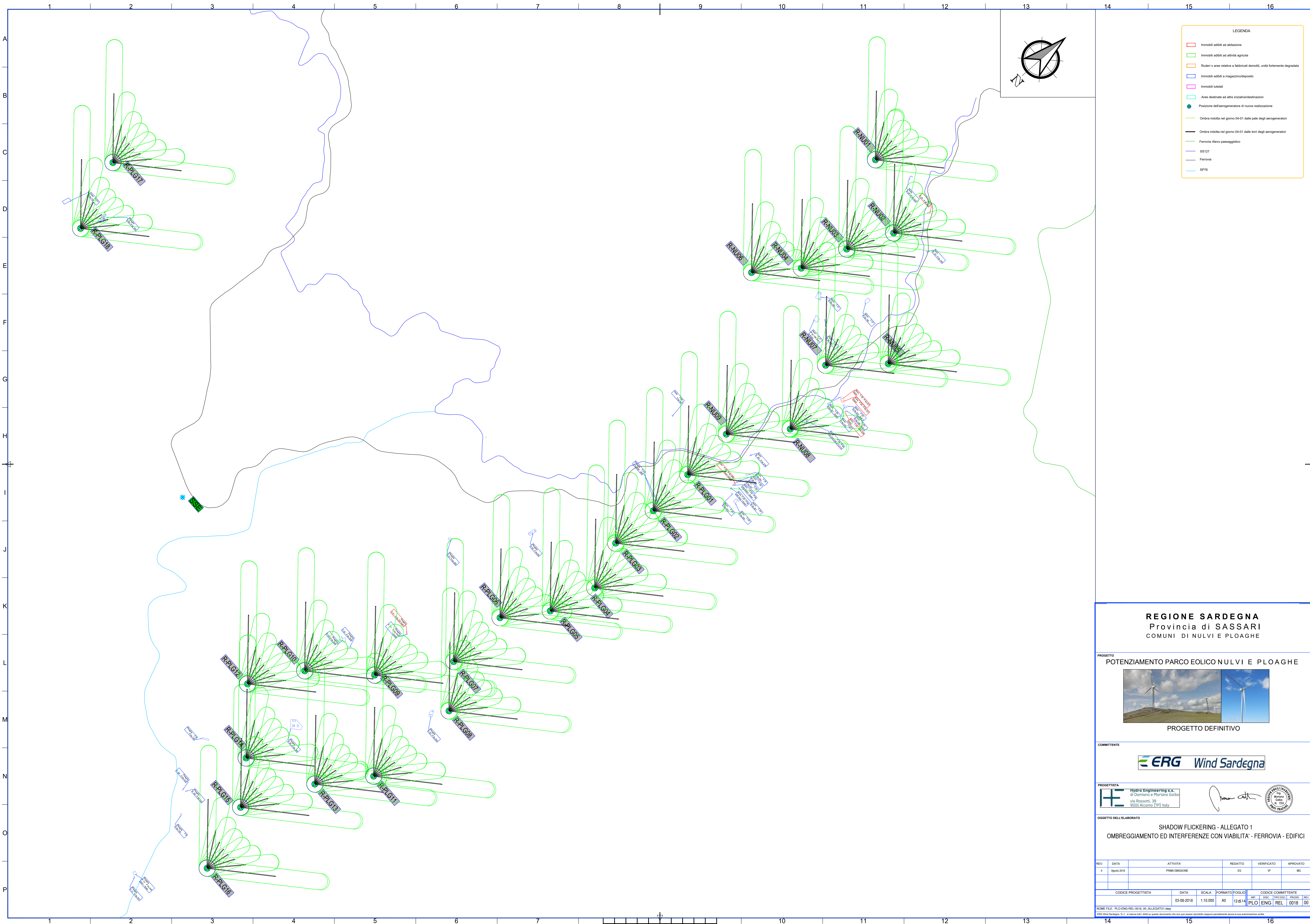
Si dovrà inoltre considerare un ulteriore fattore legato proprio alla durata dei periodi nei quali le condizioni atmosferiche siano tali da permettere che il fenomeno arrivi ad avere tale intensità

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO NULVI - PLOAGHE STUDIO EVOLUZIONE OMBRA (SHADOW FLICKERING)	11
PLO	ENG	REL	0018	00		

massima. In più si dovrà inevitabilmente tener conto del fatto che tali proiezioni sono realizzate nel giorno del solstizio d'inverno, nel solstizio d'estate e durante il perielio invernale, ovvero nelle peggiori "condizioni solari" annue. Come evidente dalle tavole allegate, l'interazione con abitazioni e viabilità risulta essere talvolta minima talvolta assente.

Quanto sopra detto, porta a definire ininfluente il fenomeno dello shadow flickering ad opera dell'impianto eolico di Nulvi-Ploaghe.

A seguire le mappe d'ombra individuate nelle condizioni sopra descritte.



REGIONE SARDEGNA
Provincia di SASSARI
COMUNI DI NULVI E PLOAGHE

PROGETTO
POTENZIAMENTO PARCO EOLICO NULVI E PLOAGHE



PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE



PROGETTISTA

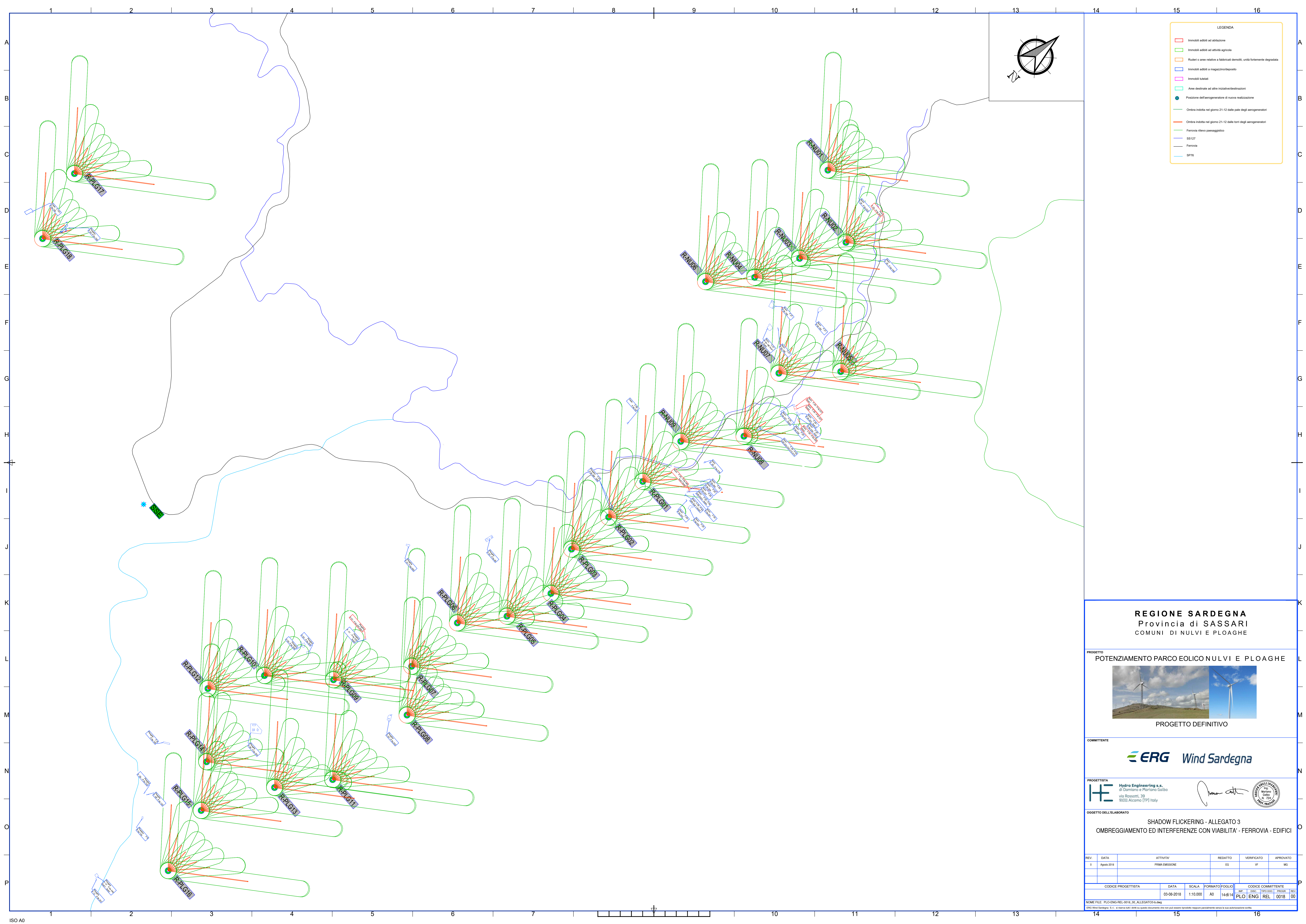


OGGETTO DELL'ELABORATO

SHADOW FLICKERING - ALLEGATO 1
OMBREGGIAMENTO ED INTERFERENZE CON VIABILITA' - FERROVIA - EDIFICI

REV.	DATA	ATTIVITA'	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	03/08/2018	PRIMA EMISSIONE	EG	VF	MG
CODICE PROGETTISTA		DATA	SCALA	FORMATO/FOGLIO	CODICE COMMITTENTE
		03-08-2018	1:10.000	A0 12 di 14	PLO ENG REL 0018 00
NOME FILE: PLO-ENG-REL-0018_00_ALLEGATO1.dwg					





LEGENDA

- Immobili adibiti ad abitazione
- Immobili adibiti ad attività agricola
- Ruini o aree relative a fabbricati demoliti, unità fortemente degradata
- Immobili adibiti a magazzino/deposito
- Immobili tutelati
- Aree destinate ad altre iniziative/destinazioni
- Posizione dell'aerogeneratore di nuova realizzazione
- Ombra indotta nel giorno 21-12 dalle pale degli aerogeneratori
- Ombra indotta nel giorno 21-12 dalle torri degli aerogeneratori
- Ferrovia rilievo paesaggistico
- SS127
- Ferrovia
- SP76

REGIONE SARDEGNA
Provincia di **SASSARI**
COMUNI DI NULVI E PLOAGHE

PROGETTO
POTENZIAMENTO PARCO EOLICO NULVI E PLOAGHE



PROGETTO DEFINITIVO

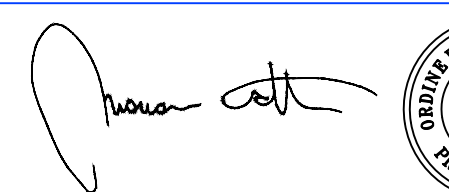
COMMITTENTE



PROGETTISTA



Hydro Engineering s.r.l.
di Damiano e Mariano Gallus
via Rossotti, 39
91011 Alcamo (TP) Italy



OGGETTO DELL'ELABORATO

SHADOW FLICKERING - ALLEGATO 3
OMBREGGIAMENTO ED INTERFERENZE CON VIABILITA' - FERROVIA - EDIFICI

REV.	DATA	ATTIVITA'	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	Agosto 2018	PRIMA EMISSIONE	EG	VF	MG

CODICE PROGETTISTA	DATA	SCALA	FORMATO/FOGLIO	CODICE COMMITTENTE
03-08-2018	1:10.000	A0	14di14	PLO-ENG-REL-0018-00

NOI: FILE: PLO-ENG-REL-0018-00_ALLEGATO3.dwg
ERG Wind Sardegna S.r.l. si riserva tutti i diritti su questo documento che non può essere riprodotto neppure parzialmente senza la sua autorizzazione scritta.