



## IMPIANTO EOLICO "NULVI"

## COMUNE DI NULVI

### PROPONENTE

Sardegna Nulvi 1 Srl  
Via Nazionale n. 39  
09024 - Nuraminis (SU)

### IMPIANTO EOLICO "NULVI" NEL COMUNE DI NULVI

OGGETTO:  
Relazione interferenza telecomunicazioni

CODICE ELABORATO

NL\_SIA\_A012

### COORDINAMENTO



**BIA srl**  
PIVA 03983480926  
cod. destinatario KRRH6B9  
+ 39 347 596 5654  
energhiabia@gmail.com  
energhiabia@pec.it  
piazza dell'Annunziata n. 7  
09123 Cagliari (CA) | Sardegna

### GRUPPO DI LAVORO S.I.A.

Dott.ssa Geol. Cosima Atzori  
Dott. Giulio Casu  
Dott. Archeol. Fabrizio Delussu  
Dott. Ing. Ivano Distinto  
Dott.ssa Ing. Silvia Exana  
Dott. Nat. Vincenzo Ferri  
Dott. Ing. Carlo Foddis  
Dott.ssa Ing. Ilaria Giovagnorio  
Dott. Nat. Giorgio Lal  
Dott. Federico Loddo  
Dott. Ing. Giovanni Lovigu  
Dott. Ing. Bruno Manca  
Dott. Nat. Nicola Manis  
Dott. Nat. Maurizio Medda  
Dott.ssa Ing. Alessandra Scalas  
Federica Zaccheddu

### REDATTORE

Dott. Ing. Giovanni Lovigu  
Dott.ssa Ing. Alessandra Scalas

00	Novembre 2023	Emissione per procedura VIA
REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE

## Sommario

<b>1. Premessa .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Descrizione del progetto .....</b>	<b>2</b>
<b>3. Effetti elettromagnetici sulle comunicazioni .....</b>	<b>3</b>
<b>4. Analisi degli impatti.....</b>	<b>5</b>
4.1. Impatti sui radar .....	5
4.2. Impatti sui sistemi a microonde-ponti radio .....	10
4.3. Impatti sulle telecomunicazioni TV .....	14
4.4. Impatti sui segnali radio .....	16
4.5. Impatti sulle comunicazioni telefoniche.....	16
<b>5. Conclusioni.....</b>	<b>19</b>

## 1. Premessa

Come prescritto nell'allegato alla Delib.G.R. n. 3/17 del 16.1.2009 la presente relazione ha lo scopo di una verifica preliminare per quanto riguarda le eventuali interferenze con le telecomunicazioni generate dalla realizzazione del parco eolico denominato "Nulvi" nel Comune di Nulvi (SS).

## 2. Descrizione del progetto

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto eolico per la produzione di energia elettrica da localizzarsi nel Comune di Nulvi (SS). L'impianto è costituito come segue:

- **12 aerogeneratori della potenza unitaria di 6,2 MW, per una potenza complessiva di 74,4 MW.** Gli aerogeneratori saranno montati su torri tubolari di acciaio che porteranno il mozzo del rotore a un'altezza da terra di 119 m dal piano campagna, e l'altezza massima dal suolo di ogni macchina (compresa la massima estensione da terra della terna di pale) sarà pertanto pari a 200 m.
- **Opere accessorie: cabine elettriche e cavidotti interrati.** Gli aerogeneratori saranno collegati tra loro attraverso un cavidotto interrato in MT a 36 kV che collegherà il parco eolico alla sezione 36 kV della Stazione di nuova realizzazione del Gestore Della Rete mediante un collegamento in antennache sarà ubicata a circa 700 m a sud-ovest della turbina AG01, lungo la S17.



Figura 1: vista d'insieme del Parco.

### 3. Effetti elettromagnetici sulle comunicazioni

Gli impianti eolici possono potenzialmente generare degli impatti sui segnali elettromagnetici, attraverso le interferenze elettromagnetiche generate dalle turbine e dalle linee elettriche o creando un ostacolo e, quindi, delle distorsioni ai segnali.

Il grado e la natura dell'interferenza possono dipendere:

- dalle caratteristiche delle pale;
- dalle caratteristiche del ricevitore del segnale;
- dalla frequenza del segnale;
- dal tipo di propagazione delle onde radio nell'atmosfera.

Le interferenze possono essere prodotte dai tre principali costituenti la turbina eolica:

1. la torre;
2. le pale in rotazione;
3. Il generatore elettrico.

I primi due (ed in particolar modo il pilone) possono costituire un ostacolo, rifrangere o riflettere le onde elettromagnetiche. Le pale presentano meno questo problema perché sono realizzate in materiali sintetici non metallici. Allo stesso modo il generatore, con i moderni sistemi di isolamento, non costituisce un problema per le radio e telecomunicazioni.

Gli eventuali impatti si possono verificare su diversi sistemi:

- sistemi per le radio e telecomunicazioni;
- sistemi per le comunicazioni telefoniche;
- sistemi radar;
- sistemi a microonde (Ponti Radio).

I risultati delle ricerche su questo tema sono in genere confortanti e mostrano che, a parte ancora alcune preoccupazioni per gli impatti sui sistemi radar, è possibile evitare del tutto le interferenze con opportuni accorgimenti soprattutto considerando il progressivo ricorso a materiali non metallici nella costruzione delle turbine.

Le turbine eoliche possono influenzare le caratteristiche di propagazione delle telecomunicazioni (come qualsiasi ostacolo), la qualità del collegamento in termini di segnale-disturbo e la forma del segnale ricevuto con eventuale alterazione dell'informazione.

Per misurare gli effetti di questo fenomeno si può far ricorso sia a prove sperimentali che a previsioni teoriche. Il primo metodo consiste nel controllare, tramite rilevamenti effettuati a varie distanze dagli aerogeneratori, la qualità dell'immagine ricevuta, correlandola al livello del segnale riflesso o diffuso dalla struttura del generatore stesso.

---

Esistono, inoltre, modelli matematici predittivi per calcolare i livelli del segnale riflesso e diffuso dalle strutture in movimento. Questi permettono di individuare, in maniera conservativa, una zona di rispetto oltre la quale il rapporto tra segnale e disturbo è di entità tale da non incidere sulla qualità del radioservizio stesso.

Sulla base di quanto riportato in letteratura e con riferimento a risultati di prove di caratterizzazione di macchine di media taglia, si ritiene che il rischio di tali disturbi possa considerarsi irrilevante per gli aerogeneratori dell'attuale generazione che utilizzano pale in materiale non metallico ed antiriflettente.

## 4. Analisi degli impatti

### 4.1 Impatti sui radar

Questo tipo di impatto si rileva nelle vicinanze di aeroporti civili e militari, basi militari o stazioni radar o lungo rotte aeree o navali. Si possono avere due tipi di interferenza:

- interferenza diretta;
- doppler.

Nel primo caso il segnale radar viene riflesso dai componenti della turbina; nel secondo, la rotazione delle pale causa delle distorsioni sulle frequenze del segnale radar, facendole aumentare in una direzione e diminuire nell'altra, creando così un effetto doppler con conseguenze sui radar. Questo effetto è amplificato dalla possibilità della navicella di ruotare sull'asse verticale per ottimizzare la sua esposizione al vento. Queste interferenze riducono la sensibilità dei sistemi radar creando false immagini (ghosting), zone morte e zone d'ombra in prossimità degli impianti eolici.

Il parco eolico in proposta non si trova in corrispondenza di alcuna rotta aerea, come risulta dalla carta di crociera degli spazi aerei (Fonte ENAC) illustrata in Figura 2, e le turbine non interferiscono con lo spazio aereo dedicato agli aeromobili.

Come evidenziato nella circolare ENAC "Protocollo del 25/02/2010 0013259/DIRGEN/DG", nella scelta della ubicazione dei parchi eolici sono da tenere presenti alcune condizioni che integrano le disposizioni regolamentari di cui al Regolamento Aeroporti dell'ENAC. Sussistono condizioni di incompatibilità assoluta nelle seguenti aree:

- a) all'interno della Zona di Traffico dell'Aeroporto (A.T.Z. Aerodrome Traffic Zone come definita nelle pubblicazioni AIP);
- b) sottostanti le Superfici di Salita al Decollo (T.O.C.S. Take off Climb Surface) e di Avvicinamento (Approach Surface) come definite nel R.C.E.A.

Esternamente alle aree di cui ai punti a) e b), ricadenti all'interno dell'impronta della Superficie Orizzontale Esterna (O.H.S. Outer Horizontal Surface), i parchi eolici sono ammessi, previa valutazione favorevole espressa dall'ENAC, purché di altezza inferiore al limite della predetta superficie O.H.S.

**Il parco eolico è esterno alle suddette aree.**

Rientra, invece, all'interno della CTA zona 4 della Sardegna, ma è importante precisare che essa rappresenta solo la proiezione sul piano orizzontale degli spazi aerei dedicati agli aeromobili. La CTA ha inizio a 5'500 ft<sup>1</sup> al di sopra del livello del mare (AMSL) e finisce a circa 8'500 ft<sup>2</sup>, quindi ben oltre l'altezza delle turbine.

Pertanto tale condizione non pregiudica la realizzazione del parco eolico.

**Il progetto sarà sottoposto all'iter valutativo dell'ENAC per la verifica dei potenziali ostacoli e pericoli per la navigazione aerea secondo le disposizioni previste nella nota ENAC Protocollo del 25/02/2010 0013259/DIRGENIDG e nel documento "VERIFICA PRELIMINARE- VERIFICA POTENZIALI OSTACOLI E PERICOLI PER LA NAVIGAZIONE AEREA" emesso da Enac e Enav a febbraio 2015, in cui si precisa che i parchi eolici devono essere sottoposti all'iter valutativo di ENAC se:**

- (a) posizionata entro 45 Km dal centro dell'ARP di un qualsiasi aeroporto;
- (b) posizionata entro 16 km da apparati radar e in visibilità ottica degli stessi;
- (c) interferente con le BRA (Building Restricted Areas) degli apparati di comunicazione/navigazione ed in visibilità ottica degli stessi.

In relazione ai punti b. e c. si evidenzia che nessun iter valutativo dovrà essere avviato, quando tra gli apparati CNR ed il manufatto in esame siano presenti ostacoli artificiali inamovibili o orografici aventi un ingombro (altezza - larghezza) tale da schermare il manufatto stesso. In questo caso dovrà essere resa all'ENAC un'apposita asseverazione, redatta da un professionista e/o da un tecnico abilitato, che attesti l'esclusione dall'iter valutativo.

**Al di fuori delle condizioni di cui ai punti a., b. e c., dovranno essere sottoposti all'iter valutativo solo le strutture di altezza dal suolo (AGL), al top della pala, uguale o superiore a 100 m (45 m se sull'acqua).**

---

<sup>1</sup> 1676 metri.

<sup>2</sup> 2591 metri.



Figura 2: Carta di crociera - spazio aereo superiore (ENAC).



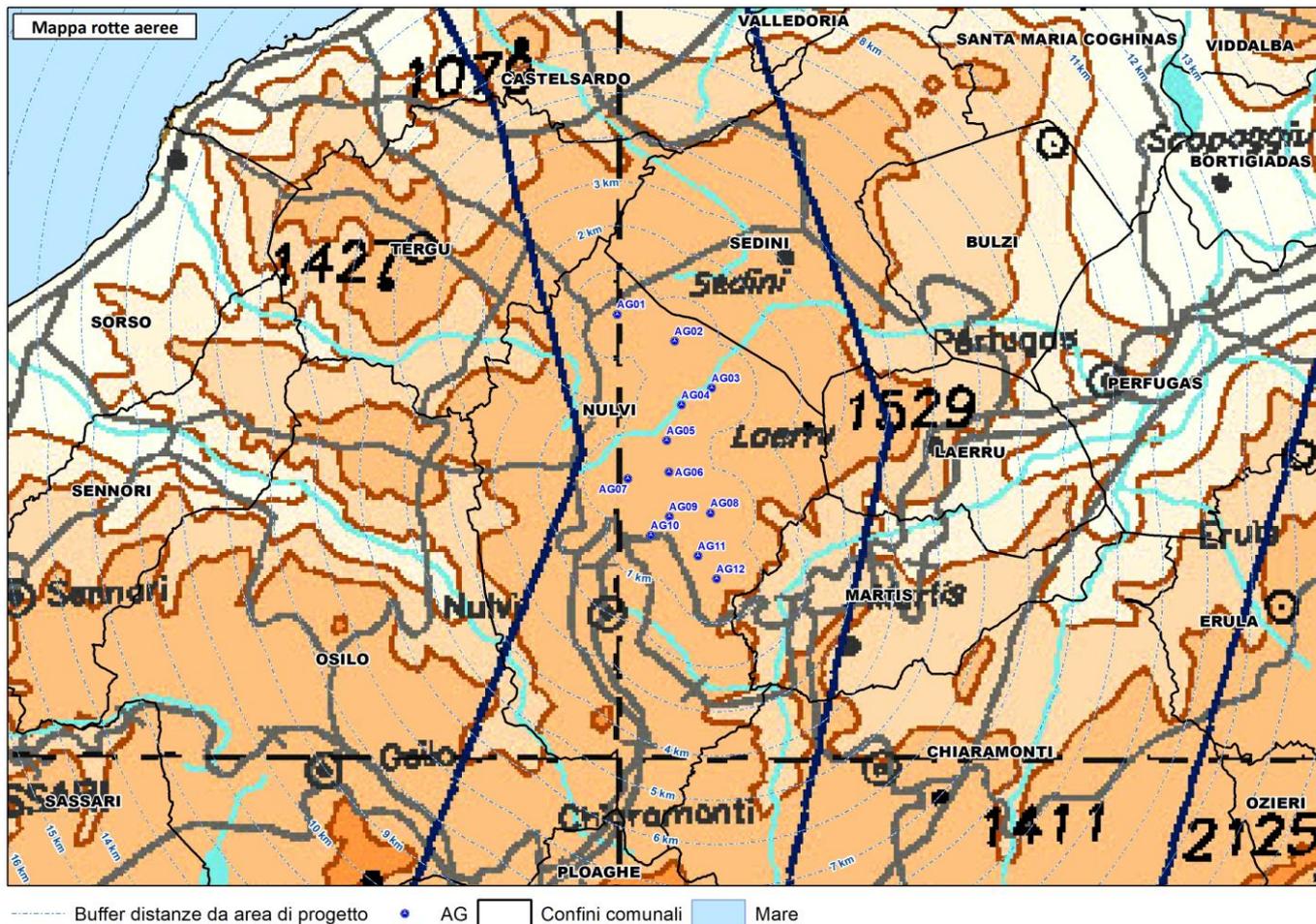


Figura 4: Inquadramento del parco eolico nello spazio aereo.

## 4.2 Impatti sui sistemi a microonde-ponti radio

Un ponte radio è un collegamento radioelettrico tra due punti fissi effettuato per mezzo di onde elettromagnetiche dirette. Poiché il collegamento viene effettuato tra due punti in visibilità elettromagnetica, i ponti radio sono generalmente realizzati con antenne direttive (o direzionali), che consentono di concentrare l’energia trasmessa in fasci di piccola apertura secondo una prefissata direzione. Per ottenere questi fasci direttivi è necessario usare onde elettromagnetiche a frequenze molto elevate (microonde), le cui frequenze tipiche sono riportate in Tabella 1.

Nello spazio libero la potenza ricevuta dal ponte ricevente decresce con il quadrato della distanza e varia in funzione della frequenza e delle proprietà direttive dell’antenna. L’attenuazione dovuta a questi fattori si somma all’attenuazione dovuta al fatto che il mezzo trasmissivo è diverso dal vuoto ed alla presenza di ostacoli di vario genere. Pertanto la propagazione delle onde elettromagnetiche, non avvenendo in uno spazio libero ideale, è influenzata da diversi fenomeni: riflessione (contro ostacoli di dimensioni maggiori della sua lunghezza d’onda), rifrazione (nel passaggio da un mezzo trasmissivo ad un altro, ad esempio aria-cemento) e diffrazione.

Al fine di ridurre al minimo i fenomeni di attenuazione, si deve fare in modo che sulle tratte dei ponti radio sia garantita una visibilità priva di ostacoli tra il Trasmettitore ed il Ricevitore, all’interno del cosiddetto ellissoide di Fresnel. È necessario, dunque, studiare il posizionamento del parco eolico rispetto a tale ellissoide che definisce il volume di radiazione dell’onda elettromagnetica trasmessa.

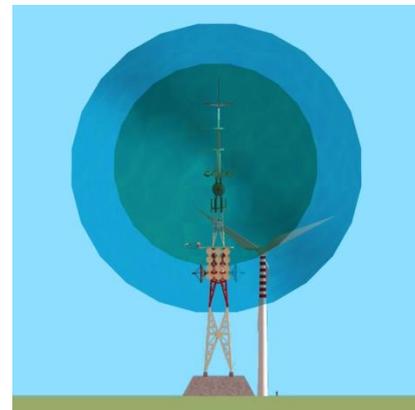


Figura 5 - Interferenza di un AG con le zone di Fresnel

Tabella 1 - frequenze tipiche della trasmissione a microonde

Gamma di frequenze [GHz]	Campo di frequenze [GHz]
2	1 700 ÷ 2 300
4	3 600 ÷ 4 200
6 (Bassa)	5 925 ÷ 6 425
6 (Alta)	6 430 ÷ 7 110
7	7 125 ÷ 7 725
8	7 725 ÷ 8 500
11	10 700 ÷ 11 700
13	12 700 ÷ 13 250
18	17 700 ÷ 19 700

Sovrapponendo le Zone di Fresnel relative ad ogni percorso del segnale a microonde al layout dell'impianto eolico, è quindi possibile definire la qualità di un collegamento ed il disturbo eventualmente causato dalla presenza delle turbine. Due antenne si dicono in completa visibilità se il primo ellissoide di Fresnel risulta libero da ostacoli. È auspicabile che l'impianto eolico ricada almeno al di fuori della seconda zona di Fresnel, in quanto potrebbero manifestarsi delle interferenze in seguito a schermatura o diffrazione, e questa condizione vale per tutte le gamme di frequenza.

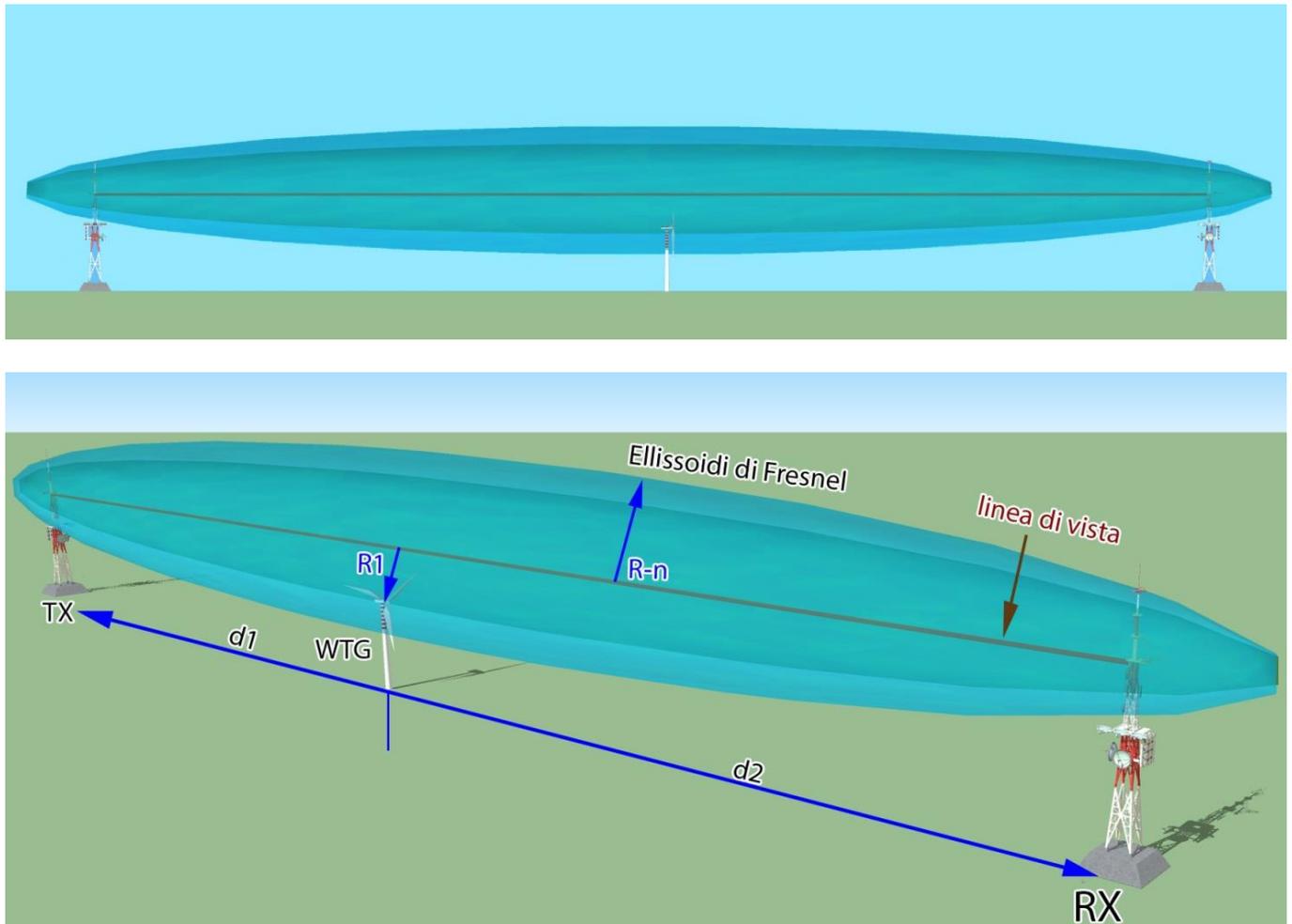


Figura 6 - Rappresentazione schematica interferenza AG con le zone di Fresnel tra due ponti radio.

Nell'area vasta sono presenti diverse stazioni di trasmissione. Come prima ipotesi si è considerata la **situazione più cautelativa, supponendo che tutti i ponti radio presenti nel raggio di 200 km siano mutuamente visibili**. Si consideri, però, che in condizioni reali di propagazione, a causa della curvatura terrestre, ci sarà sempre una distanza alla quale la sorgente di emissione non sarà più visibile dall'antenna ricevente. Ad esempio, in un terreno pianeggiante, se le antenne trasmettenti e riceventi sono poste a 30 km di distanza, dovranno essere a 15 metri dal suolo per ottenere visibilità ottica.

Si è posto, per semplicità, che ogni antenna sia alta 15 m e si è considerata la curvatura terrestre. Considerando, inoltre, le tratte dei ponti radio di rilevanza regionale, si è ottenuta la situazione rappresentata in Figura 7.

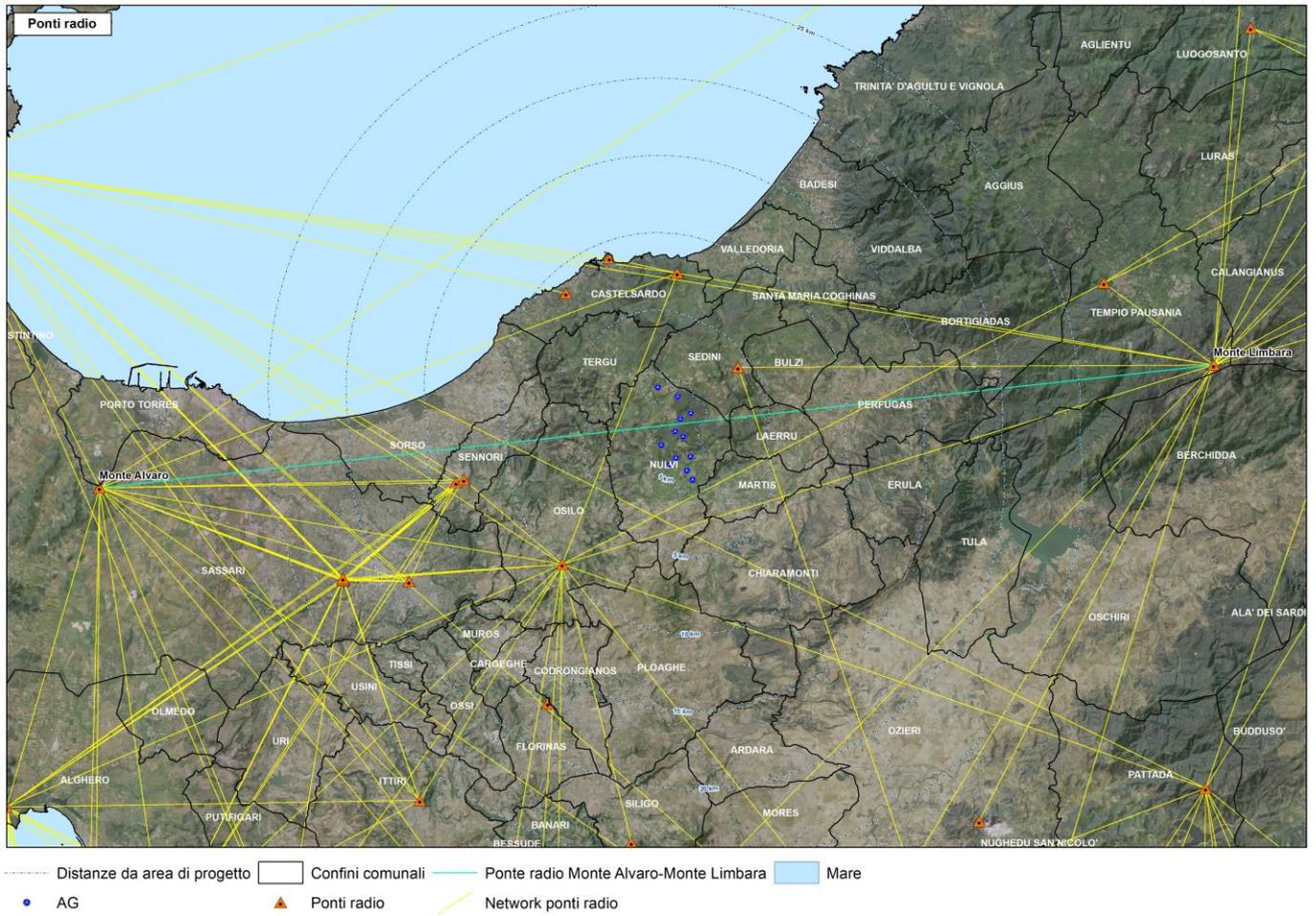


Figura 7 - tratte ponti radio nell'area vasta.



Figura 8: Interferenza Ponte radio Monte Alvaro – Monte Limbara nell'area di progetto.

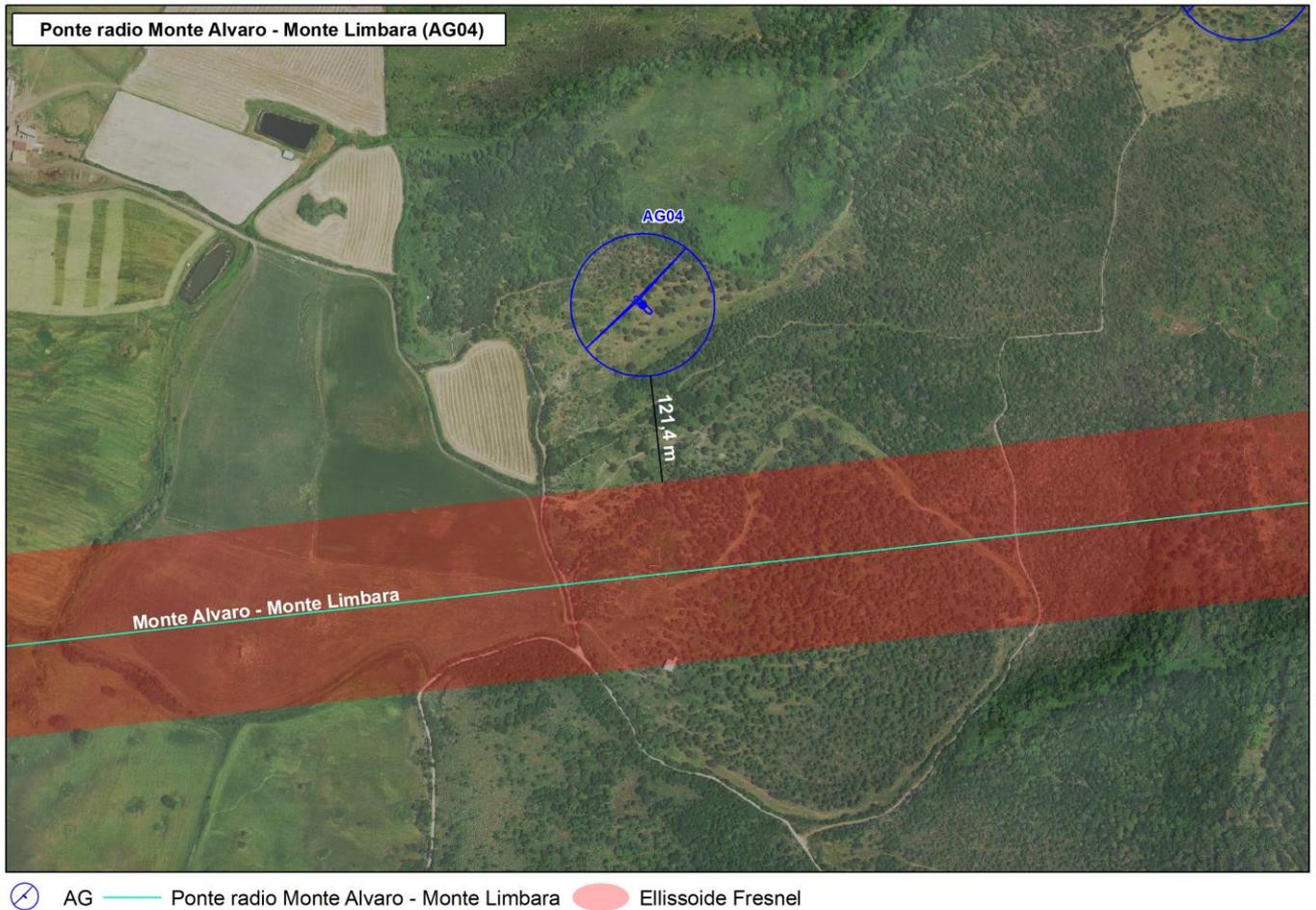


Figura 9: Interferenza Ponte radio Monte Alvaro – Monte Limbara nell'area di progetto - dettaglio.

Già da una prima analisi, nessun ponte radio potrà essere influenzato dalla realizzazione del parco, in quanto l'ellissoide più prossimo alle turbine, relativo al collegamento tra Monte Alvaro e Monte Limbara dista oltre 120 m in pianta dall'aerogeneratore più vicino.

### 4.3 Impatti sulle telecomunicazioni TV

Relativamente ai **segnali televisivi** alle utenze finali, anche essi possono essere soggetti a distorsioni causate dalla riflessione generata dal movimento delle pale e ad attenuazioni nel caso di passaggio attraverso le turbine. Nel primo caso, le distorsioni possono generare dei segnali ombra (ghosting) o delle variazioni continue su contrasto e nitidezza video.

Questi effetti sono differenti nel caso di trasmissione del segnale analogico o digitale. L'abbandono della TV analogica per quella digitale ha ridotto notevolmente le interferenze dovute ai parchi eolici in quanto

il segnale digitale ha la caratteristica di essere molto più "pulito" di quello analogico, grazie alla complessa tecnologia di soppressione del rumore e dei disturbi.

Dallo studio dei recettori emerge in via preliminare che non si prevedono interferenze con il sistema di telecomunicazioni radio-TV dovuto alla presenza del parco eolico, per via della distanza (**almeno 150 m dei recettori più vicini, e oltre 2 km dai centri abitati**) e del fatto che nessun recettore risulta schermato dalle turbine in tutte le direzioni.

Dato il carattere preliminare di questa analisi (poiché non si conoscono i dettagli tecnici dei vari apparati di ricezione), non si possono escludere totalmente delle possibili interferenze ai ricettori, ad oggi non valutabili. Tali interferenze sono tuttavia facilmente risolvibili successivamente alla realizzazione dell'impianto attraverso le seguenti azioni:

- Installazione di un'antenna ricevente di migliore qualità o con una maggiore direzionalità rispetto a quelle omnidirezionali;
- Riposizionamento dell'antenna e/o variazione della direzione verso altre stazioni trasmettenti;
- Utilizzo di una connessione satellitare (TVSat) come mostrato in Figura 10.

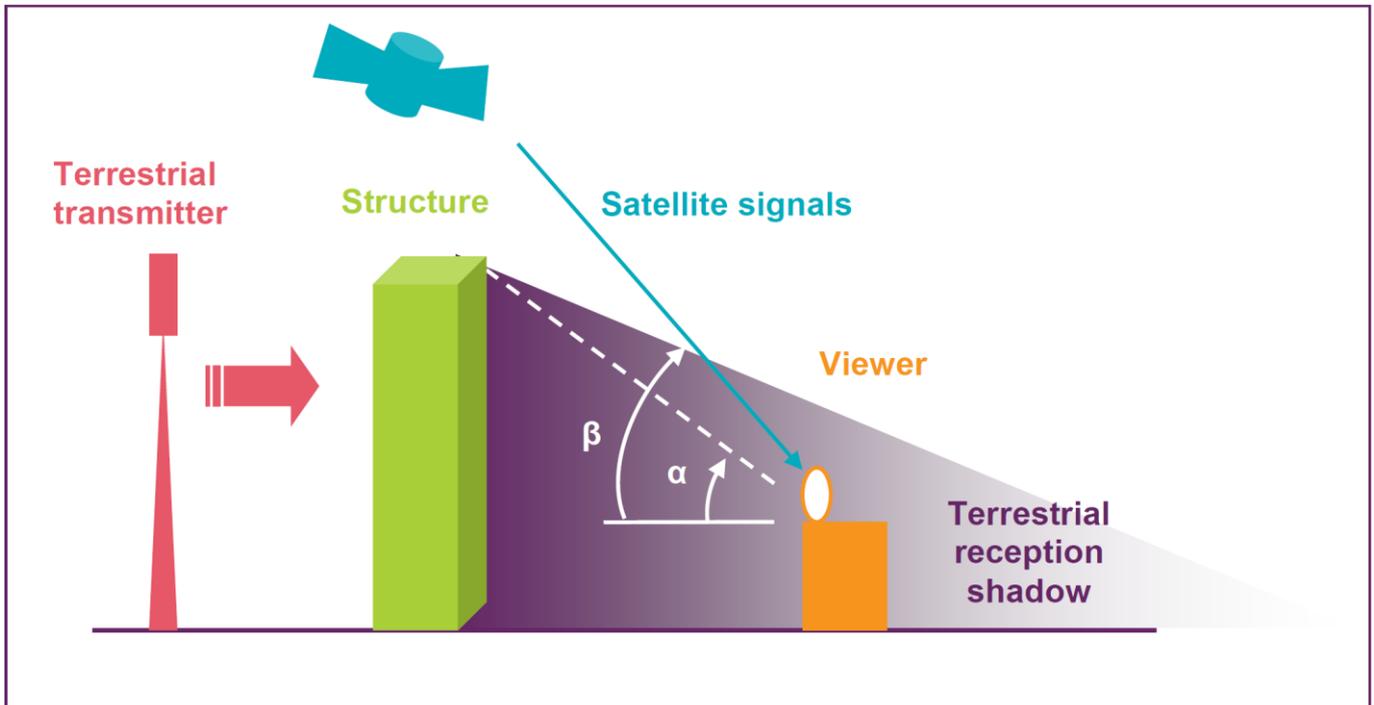


Figura 10: la ricezione satellitare non è compromessa dalle nuove strutture. Fonte: Tall structures and their impact on broadcast and other wireless services. Ofcom, agosto 2009.

## 4.4 Impatti sui segnali radio

A differenza delle telecomunicazioni e dei segnali a microonde, poiché **i trasmettitori radio sono omnidirezionali**, le turbine, a meno che non siano localizzate nelle immediate vicinanze dell'antenna, non costituiscono alcun ostacolo ai segnali radio.

L'onda elettromagnetica può seguire più percorsi dal trasmettitore al ricevitore ad esempio sfruttando, oltre alla linea diretta, la riflessione da parte del terreno o degli edifici. A tale forma di propagazione si dà il nome di multipropagazione (*multipath*)<sup>3</sup>.

Il multipath è particolarmente sentito anche nelle trasmissioni radiomobili come le reti cellulari dove il mutare della posizione del terminale mobile rispetto alla stazione radio base, specie con ambiente urbano di radiopropagazione, determina continue variazioni degli effetti di riflessione e diffrazione e quindi un multipath variabile in maniera non predicibile ovvero aleatoria. Pur tuttavia il multipath nel canale radiomobile permette la ricezione anche non in linea di vista.

Si assume che non vi sia alcun impatto se la turbina è posizionata ad oltre 1 km di distanza da un trasmettitore omnidirezionale, o se posizionata ad oltre 3 km da un trasmettitore monodirezionale<sup>4</sup>.

In caso contrario vi può essere anche la formazione di correnti di radio frequenza che si propagano lungo le strutture metalliche della turbina, che possono causare elettrocuzione o perdita di equilibrio sul personale addetto alla manutenzione della stessa (particolarmente pericolosa per chi lavora all'esterno della navicella).

**Nel caso in esame si esclude totalmente qualsiasi interferenza, in quanto come detto, l'apparato di trasmissione più vicino, dista oltre 5 km dall'aerogeneratore ad esso più vicino.**

## 4.5 Impatti sulle comunicazioni telefoniche

Nell'area in esame sono presenti diverse antenne dei principali operatori telefonici, dislocate in modo da favorire in particolare la copertura dei centri abitati e le principali vie di comunicazione, come rappresentato in Figura 11.

I trasmettitori sono omnidirezionali. La rete cellulare è una rete per cui la copertura geografica è realizzata con una tassellazione a celle: porzioni di area geografica che unite ricoprono perfettamente una zona. La stazione base trasmette dando la possibilità agli utenti che si trovano entro il suo raggio di copertura di comunicare. Inizialmente

---

<sup>3</sup> Si intende come multipath la presenza contemporanea di due o più percorsi attraverso cui la potenza viaggia tra l'antenna trasmittente e quella ricevente. Si è già visto come tale e etto può essere prodotto dalla contemporanea presenza di: cammino diretto, riflessioni dal terreno, riflessioni dovute a forti gradienti dell'indice di rifrazione. Le fluttuazioni dell'indice di rifrazione possono costituire un ulteriore contributo. I campi dovuti ai diversi cammini si ricombinano in prossimità dell'antenna ricevente con diverse relazioni di fase, variabili nel tempo. Ne conseguono oscillazioni della potenza ricevuta che possono essere anche molto intense. Tale effetto è denominato fading.

<sup>4</sup> Alcuni studi definiscono 500 m come distanza dalle antenne necessaria ad evitare interferenze. Fonte: Tall structures and their impact on broadcast and other wireless services. Ofcom, agosto 2009.

---

(anni '70) le regioni di copertura erano molto grandi (raggio di alcuni km) e si utilizzava, per una sola stazione, l'intero spettro delle frequenze. Oggi, invece, le stazioni coprono aree più piccole quindi, a differenza di prima, le antenne erogano una potenza minore. Inoltre celle vicine usano frequenze diverse per evitare interferenze.

Per la telefonia mobile il raggio di possibile interferenza intorno ai trasmettitori è inferiore a 1 km. A distanza maggiore, la presenza degli aerogeneratori non crea alcun problema al sistema di telecomunicazione che è notoriamente adatto a funzionare in condizioni dinamiche.

Come rappresentato in Figura 11 sono presenti alcune antenne telefoniche sul vicino Monte Alma che distano circa 500 m dagli aerogeneratori più vicini. **Le turbine potrebbero quindi causare interferenze con le comunicazioni telefoniche.**

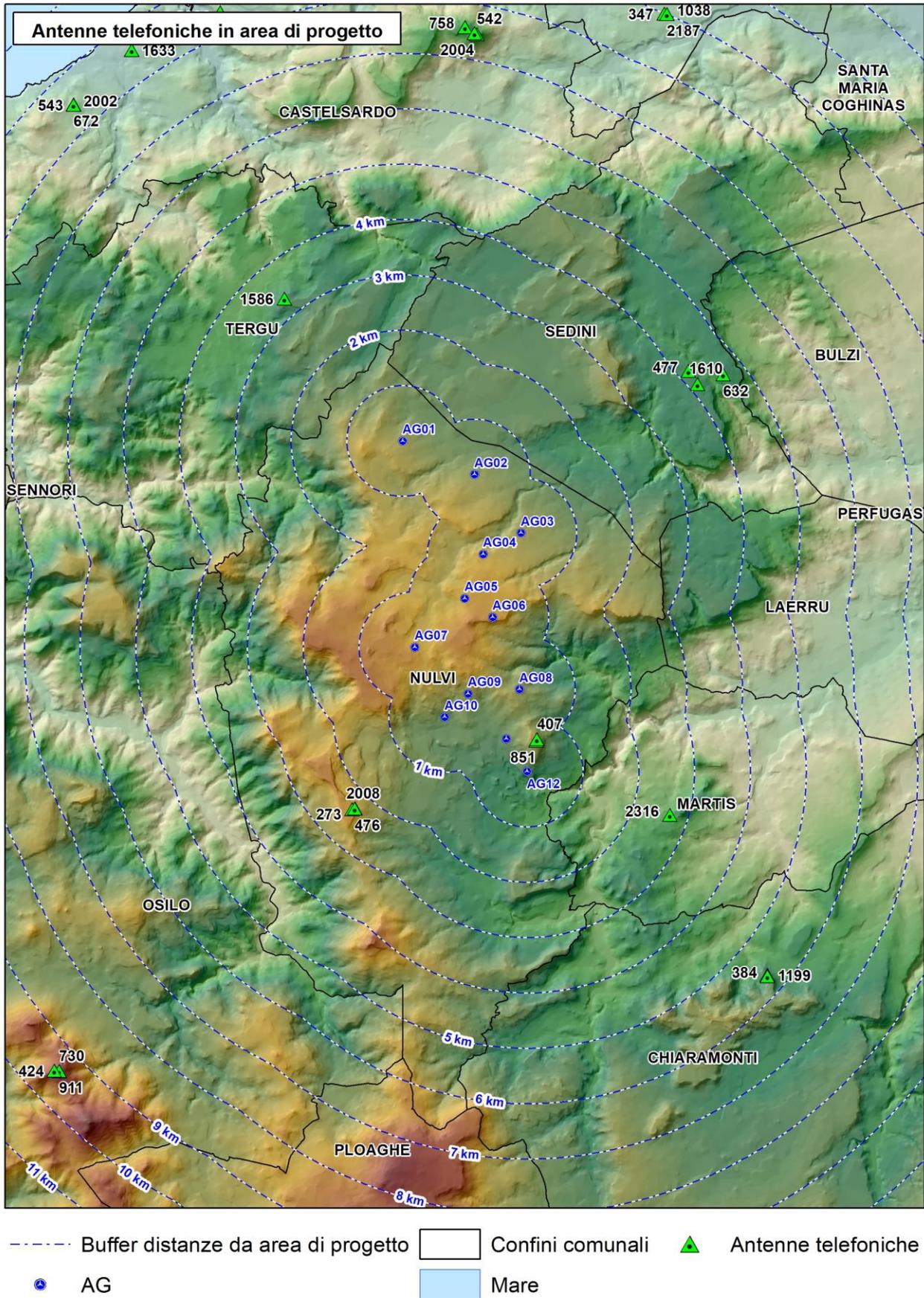


Figura 11: individuazione antenne rete mobile.

## 5. Conclusioni

In questa fase preliminare si possono escludere interferenze con i sistemi di comunicazioni radar, radio tramite ponti radio. Non si può escludere in assoluto qualche interferenza sui sistemi di ricezione TV, a causa della non conoscenza di tutte le caratteristiche degli apparati di trasmissione e ricezione presenti nell'area, peraltro facilmente mitigabili.

**Sono possibili delle interferenze sulle comunicazioni telefoniche date dalla vicinanza delle turbine AG11 e AG12 con le antenne telefoniche poste sul vicino Monte Alma.**