

# SARDEOLICA S.r.l.

Sesta Strada Ovest - Z.I. Macchiareddu I-09068 Uta (CA)

Società del gruppo SARAS

## REALIZZAZIONE DEL PARCO EOLICO "ONANIE" NEL TERRITORIO DEL COMUNE DI ONANI' (NU)

### STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE



### APPROFONDIMENTO STUDIO PREVISIONALE PER LA VALUTAZIONE DELLE INTERFERENZE SULLE TELECOMUNICAZIONI

#### ALLEGATO E.1

Rev.	Data
0	Settembre 2020

Il Committente:



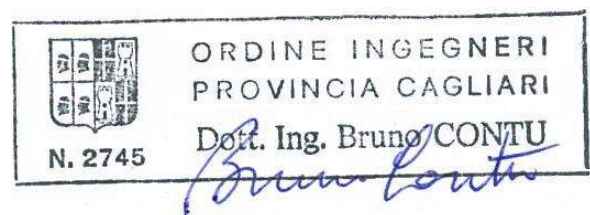
Elaborazione S.I.A.:



**ECOS S.R.L.**

Via Meucci 11a, 09131 CAGLIARI  
Tel. 07044805 - Fax 0704526095  
<http://www.ecos-srl.com>  
e-mail: [ecos@ecos-srl.com](mailto:ecos@ecos-srl.com)

Coordinamento: Dott. Ing. Bruno Contu



A cura di:

DIEE - Dipartimento Ingegneria Elettrica  
ed Elettronica - Università di Cagliari

Ing. Giuseppe Mazzarella

Ing. Emilio Ghiani

**PROGETTO DEL PARCO EOLICO  
 "ONANIE"  
 SITO NEL TERRITORIO DEL COMUNE DI ONANI' (NU)  
 STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE**



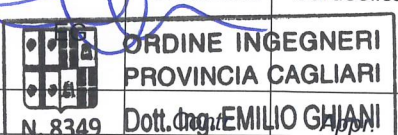
**APPROFONDIMENTO STUDIO PREVISIONALE PER LA VALUTAZIONE  
 DELLE INTERFERENZE CON LE TELECOMUNICAZIONI  
 RIPETITORE RAI WAY TANCA NOVA DI BITTI E PONTE RADIO DEL  
 CENTRO TLC DEI VV.F. - SARDEGNA 2 -**

Elaborato da:



**DIEE – Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica - Università di Cagliari**

**Prof. Ing. Giuseppe Mazzarella – Prof. Ing. Emilio Ghiani**

0	30/09/20	Emissione per procedura di VIA	DIEE	Sardeolica	Sardeolica
Rev.	Data	Descrizione	Red.		



Sede Amministrativa  
 I-20122 Milano  
 Galleria Passarella 2  
 Tel. +39 02 77371  
 Fax +39 02 7737209

Sede Legale  
 Sesta Strada Ovest  
 Z.I. Macchiareddu  
 I-09068 Uta (CA)  
 Tel. +39 070 24661780  
 Fax +39 070 24661211

Stabilimento  
 Parchi Eolici di Ulassai  
 S.P. 13, km.11+500  
 I-08040 Ulassai (NU)  
 Tel. +39 3297518302  
 Fax +39 078240594

Cap. Soc. € 56.696,00 int. vers.  
 Reg. Imprese di Cagliari e  
 Cod. Fisc. IT 01953460902  
 Società appartenente al Gruppo IVA  
 P. IVA 03868280920  
 sardeolica@pec.grupposaras.it  
 comunicazioni.sardeolica@pec.grupposaras.it



EN ISO 9001  
 20 100 121257604  
 EN ISO 14001  
 20 104 121257607  
 EN ISO 18001  
 20 116 121257606  
 EN ISO 50001  
 TA270173002576

## INDICE

PREMESSA.....	2
1. LOCALIZZAZIONE E CARATTERISTICHE GENERALI DEL PROGETTO.....	3
2. SISTEMI TLC INDIVIDUATI NELL'AREA DI PROGETTO .....	5
3. SPECIFICHE TECNICHE E MODELLIZZAZIONE PER LO STUDIO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI .....	10
3.1 Profilo plano-altimetrico studio effetti ripetitore "Tanca Nova" .....	10
3.2 Profilo plano-altimetrico studio effetti Ponte Radio VVFF Lode/Bottidda .....	10
3.3 Modellizzazione delle torri e aerogeneratori eolici.....	11
3.4 Software di calcolo.....	12
3.5 Modellizzazione della sorgente emissiva - Ripetitore di Tanca Nova .....	12
3.6 Valutazioni dello studio UHF - ripetitore "Tanca Nova" .....	14
3.7 Valutazione Numerica del Campo - VHF - ripetitore "Tanca Nova" .....	16
3.8 Stima mediante ottica fisica VHF E UHF - ripetitore "Tanca Nova" .....	17
3.9 Effetto complessivo sul ripetitore tanca nova .....	19
3.10 Valutazione Numerica del Campo - Collegamento in ponte radio .....	19
4. CONCLUSIONI DELLO STUDIO .....	20

## **PREMESSA**

La presente relazione tecnica riguarda lo studio previsionale per la valutazione delle interferenze con le telecomunicazioni, relativamente al progetto del nuovo parco eolico in progetto nel comune di Onanì denominato "Onanie".

Nello specifico, è obiettivo dello studio la valutazione dell'effetto degli aerogeneratori sulla diffusione dell'onda piana incidente, proveniente dal ripetitore RAI WAY di Bitti, e quindi, a partire dalle valutazioni del campo nelle due situazioni (con e senza parco eolico), determinare se esista un effetto dovuto al parco eolico sulla copertura RAI nell'area interessata al progetto, con estensione fino al centro abitato di Lode', e se questo possa dare effetti di interferenza peggiorativi sulla qualità del servizio televisivo.

In particolare lo studio intende valutare:

- il possibile rischio di interferenza tra il generatore eolico OS-06 del parco eolico "Onanie" situato nel comune di Onanì (NU), con la tratta in ponte radio (Monte Rasu - Sant'Anna - Lodè) del centro TLC dei VV.F. - Sardegna 2 (Nord);
- rilevare una possibile parziale copertura dell'angolo di diffusione di un MUX radiotelevisivo (impianti RAI - RADIOTELEVISIONE ITALIANA S.P.A. di TANCA NOVA – BITTI) dovuta alla realizzazione del Parco Onanie.



## 1. LOCALIZZAZIONE E CARATTERISTICHE GENERALI DEL PROGETTO

Il nuovo parco eolico in progetto nel comune di Onani sarà costituito da n° 6 generatori eolici la cui ubicazione è qualitativamente illustrata in Figura 1, e le cui coordinate WGS84 sono indicate in Tabella 1.

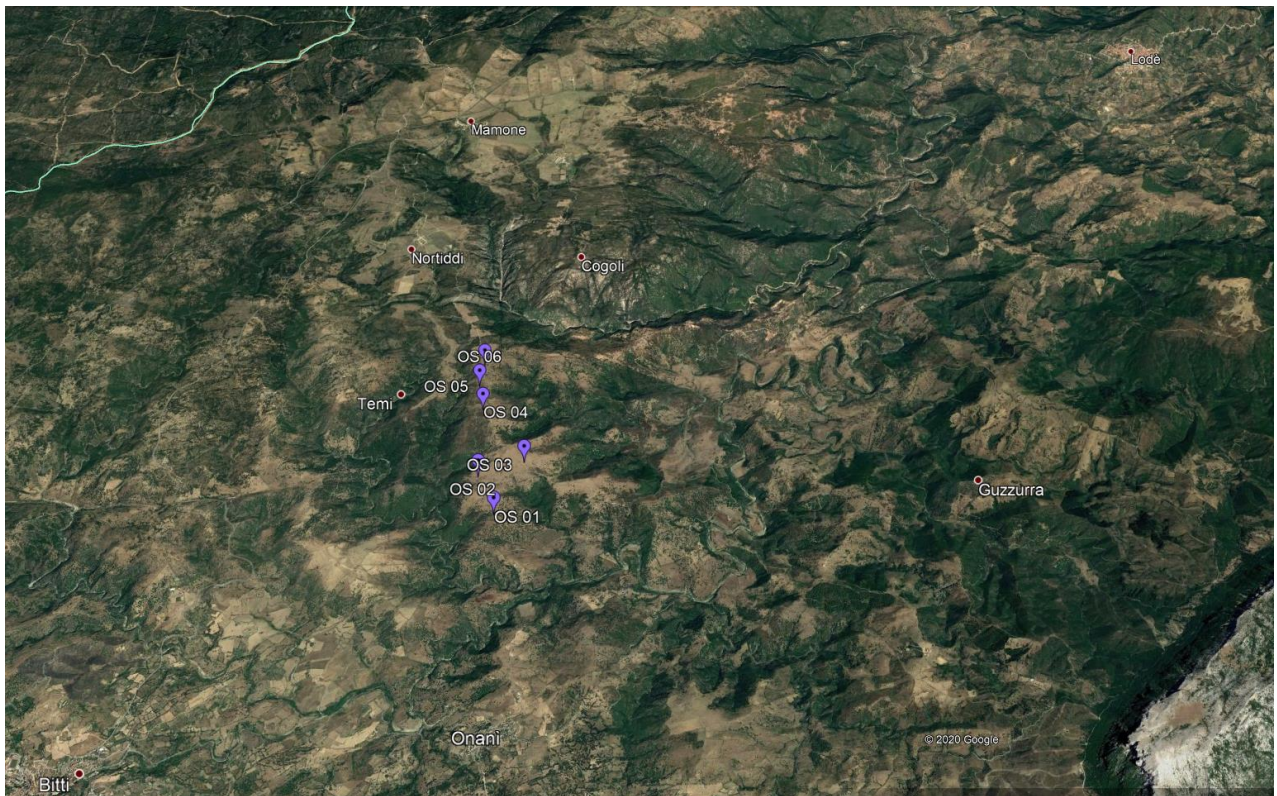


Figura 1 – Ubicazione dell'impianto eolico i progetto

Tabella 1 Coordinate geografiche punti previsti per installazione aerogeneratori in progetto

#	NOME WTG	Coordinate Geografiche WGS84	
		Est	Nord
1	OS 01	9°26'14.74"	40°30'46.78"
2	OS 02	9°26'02.70"	40°31'04.63"
3	OS 03	9°26'26.29"	40°31'11.84"
4	OS 04	9°25'58.58"	40°31'37.60"
5	OS 05	9°25'54.11"	40°31'49.84"
6	OS 06	9°25'54.77"	40°32'00.54"

L'aerogeneratore ipotizzato per le valutazioni progettuali è stato scelto tra quelli maggiormente efficienti e sofisticati presenti attualmente sul mercato. In

particolare si è preso come riferimento l'aerogeneratore di tipologia Vestas V162 da 5,6 MW (Figura 2).

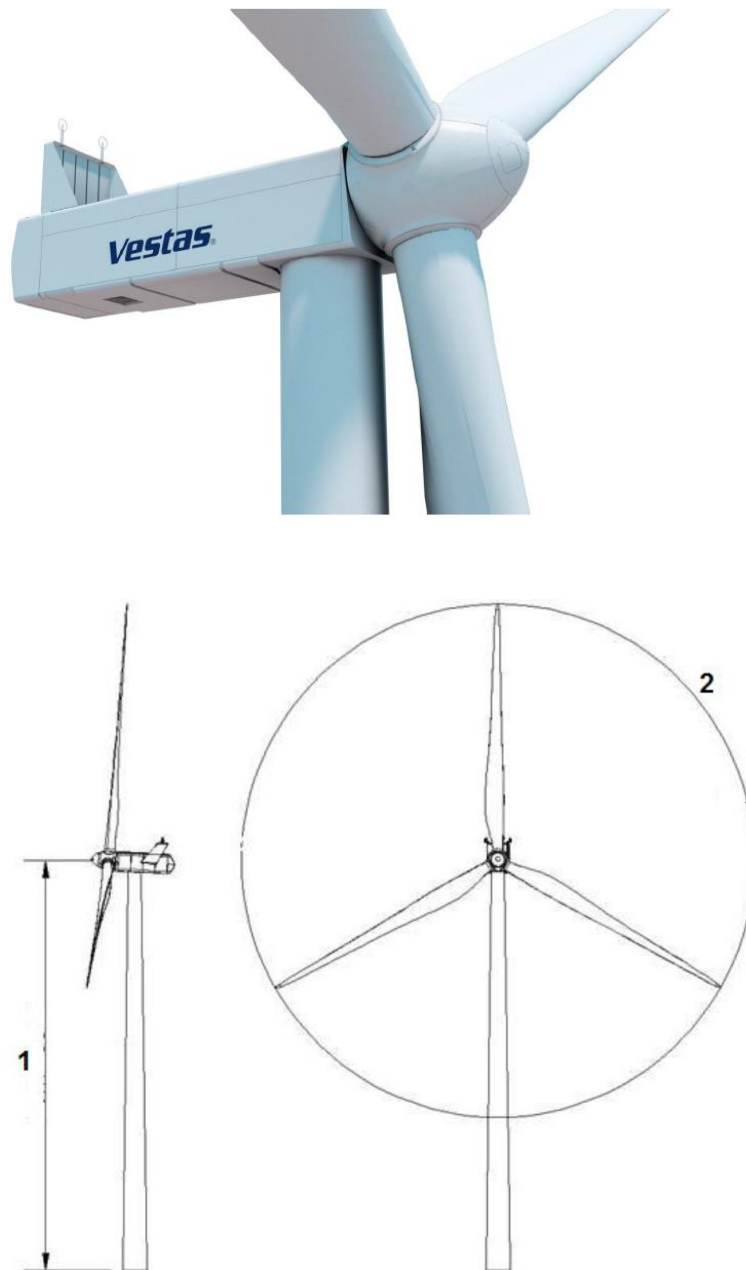


Figura 2 – Aerogeneratore tipo Vestas V162 da 5,6 MW con altezza al mozzo di 125 m

## **2. SISTEMI TLC INDIVIDUATI NELL'AREA DI PROGETTO**

Lo studio progettuale ha individuato una potenziale interferenza tra gli aerogeneratori e gli impianti dell'operatore RAI WAY nel sito di Tanca Nova – Bitti (Figura 3), dove sono presenti i ripetitori MUX (multiplexer) digitali 1, 2, 3 e 4 - sui canali: 5 in VHF; 49, 43 e 47 in UHF, che servono i comuni di: Bitti, Onanì, Lula e Lodè.



Figura 3 – Ripetitore di Tanca Nova – Bitti

L'area di irradiazione del ripetitore di Tanca Nova è parzialmente ostruita dal sito del parco eolico, che si frappone tra l'impianto ripetitore e l'abitato di Lodè (Figura 4).



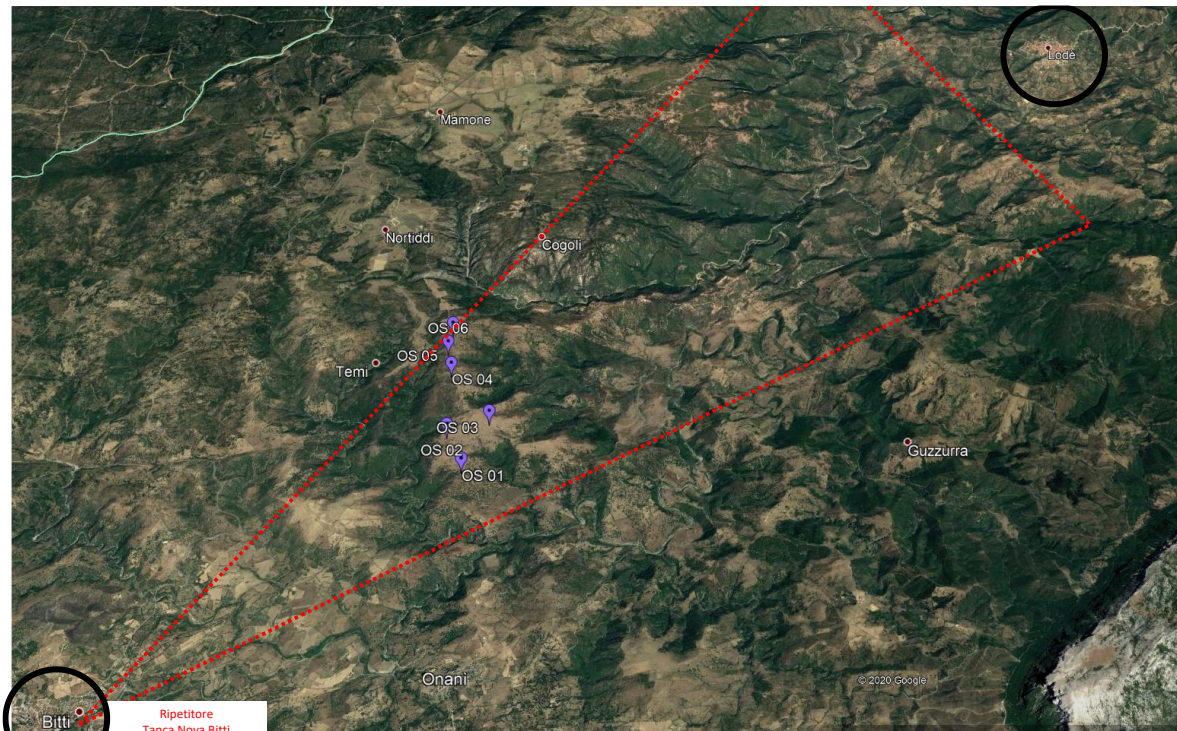


Figura 4 – Parco eolico ubicato tra l’impianto ripetitore e l’abitato di Lodè

In corrispondenza all’area di progetto è presente altresì un collegamento in ponte radio tra la località S. Anna in comune di Lodè e la località Punta Rasu nel comune di Bottidda gestito dai VV.FF.





Figura 5 – Parco eolico ubicato tra l’impianto ripetitore e l’abitato di Lodè

Le caratteristiche degli altri apparati per TLC presenti nell’area entro 10 km dal sito del parco eolico sono i seguenti indicati in Tabella 2.

Tabella 2 Apparati TLC entro 10km dell’area di progetto

OPERATORE	ID IMPIANTO	TIPO	UBICAZIONE	LAT. LONG. ALT.	CH	PROG. / BOUQUET	ERP MAX H	ERP MAX V	FREQ. MHz
<b>RADIO MARIA APS</b>	CNF149126	FM	RADIO MARIA - MONTE S. ELIA – BITTI	40N2829 09E2325 740		RADIO MARIA		32	98,0
<b>RAI - RADIOTELEV. ITALIANA S.P.A.</b>	CNF153100	FM	MF01 - BITTI - BITTI	40N2816 09E2310 740		MF01	29	29	94,7
<b>RAI - RADIOTELEV. ITALIANA S.P.A.</b>	CNF153973	FM	MF02 - BITTI - BITTI	40N2816 09E2310 740		MF02	29	29	96,7
<b>RAI - RADIOTELEV. ITALIANA S.P.A.</b>	CNF154778	FM	MF03 - BITTI - BITTI	40N2816 09E2310 740		MF03	29	29	98,7
<b>VIDEOLINA S.P.A.</b>	CNF106160	TD	BITTI - MONTE SANT’ELIA - BITTI	40N2834 09E2326 740	36	VIDEOLINA	10	--	594
<b>SARDEGNA TV S.R.L.</b>	CNF115292	TD	MONTE SANT’ELIA - Monte Sant’ Elia	40N2822 09E3054	39	SARDEGNA UNO	15	--	618

OPERATORE	ID IMPIANTO	TIPO	UBICAZIONE	LAT. LONG. ALT.	CH	PROG. / BOUQUET	ERP MAX H	ERP MAX V	FREQ. MHz
(IN CONC. PREV)			- BITTI	390					
ELETTRONICA INDUSTRIALE SPA	CNF115328	TD	ALA' DEI SARDI - LOC. MORTULLO' 3 - BITTI	40N3506 09E2607 950	42	MEDIASET 5	--	19	642
ELETTRONICA INDUSTRIALE SPA	CNF115329	TD	ALA' DEI SARDI - LOC. MORTULLO' 3 - BITTI	40N3506 09E2607 950	46	MEDIASET 2	--	19	674
ELETTRONICA INDUSTRIALE SPA	CNF120838	TD	ALA' DEI SARDI - LOC. MORTULLO' 3 - BITTI	40N3506 09E2607 950	50	MEDIASET 1	--	19	706
ELETTRONICA INDUSTRIALE SPA	CNF124678	TD	ALA' DEI SARDI - LOC. MORTULLO' 3 - BITTI	40N3506 09E2607 950	52	MEDIASET 4	--	19	722
RAI - RADIOTELEV. ITALIANA S.P.A.	CNF125599	TD	ALA' DEI SARDI - PUNTO MORTULLO - BITTI	40N3511 09E2606 920	7	DVM1-CA	--	15	191,5
RAI - RADIOTELEV. ITALIANA S.P.A.	CNF125612	TD	BITTI - TANCA NOVA - BITTI	40N2816 09E2310 740	5	DVM1-CA	14	--	177,5
RAI - RADIOTELEV. ITALIANA S.P.A.	CNF125613	TD	BITTI - TANCA NOVA - BITTI	40N2816 09E2310 740	49	DVM2	21	--	698
RAI - RADIOTELEV. ITALIANA S.P.A.	CNF125614	TD	BITTI - TANCA NOVA - BITTI	40N2816 09E2310 740	47	DVM4	21	--	682
RAI - RADIOTELEV. ITALIANA S.P.A.	CNF125615	TD	BITTI - TANCA NOVA - BITTI	40N2816 09E2310 740	43	DVM3	21	--	650
RAI - RADIOTELEV. ITALIANA S.P.A.	CNF131324	TD	ALA' DEI SARDI - PUNTO MORTULLO - BITTI	40N3511 09E2606 920	49	DVM2	--	21	698
RAI - RADIOTELEV. ITALIANA S.P.A.	CNF131325	TD	ALA' DEI SARDI - PUNTO MORTULLO - BITTI	40N3511 09E2606 920	43	DVM3	--	22	650
RAI - RADIOTELEV. ITALIANA S.P.A.	CNF131326	TD	ALA' DEI SARDI - PUNTO MORTULLO - BITTI	40N3511 09E2606 920	47	DVM4	--	22	682
RAI - RADIOTELEV. ITALIANA S.P.A.	CNF137009	TD	ALA' DEI SARDI - LOC. MORTULLO' 3 - BITTI	40N3506 09E2607 950	29	MEDIASET 3	--	18	538
CAIRO NETWORK S.R.L.	CNF138985	TD	ALA' DEI SARDI - LOC. MORTULLO' 3 - BITTI	40N3506 09E2607 950	59	CAIRO DUE	--	19	778

OPERATORE	ID IMPIANTO	TIPO	UBICAZIONE	LAT. LONG. ALT.	CH	PROG. / BOUQUET	ERP MAX H	ERP MAX V	FREQ. MHz
<b>PRIMA TV - S.P.A.</b>	CNF159861	TD	ALA' DEI SARDI - LOC. MORTULLO' 3 - BITTI	40N3506 09E2607 950	38	DFree	--	20	610



### 3. SPECIFICHE TECNICHE E MODELLIZZAZIONE PER LO STUDIO DEI CAMPI ELETTRICI

#### 3.1 Profilo plano-altimetrico studio effetti ripetitore "Tanca Nova"

Il profilo plano-altimetrico è stato ottenuto a partire da carta tecnica regionale, per le finalità del presente studio è stato considerato l'andamento illustrato qualitativamente nella Figura 6, che descrive l'andamento altimetrico lungo la direttrice ripetitore RAI WAY- Parco Eolico-Centro abitato Lodè.

Il parco eolico è a una distanza di circa 6,5 km dal ripetitore di Tanca Manna- Bitti, e il centro abitato di Lodè si trova a circa 12,50 km dal parco eolico.

Il ripetitore si trova a circa 750 m s.l.m., il parco eolico a una quota variabile tra 560 m e 685 m s.l.m., il centro abitato di Lodè è stato considerato a un'altezza media di 320 m s.l.m.

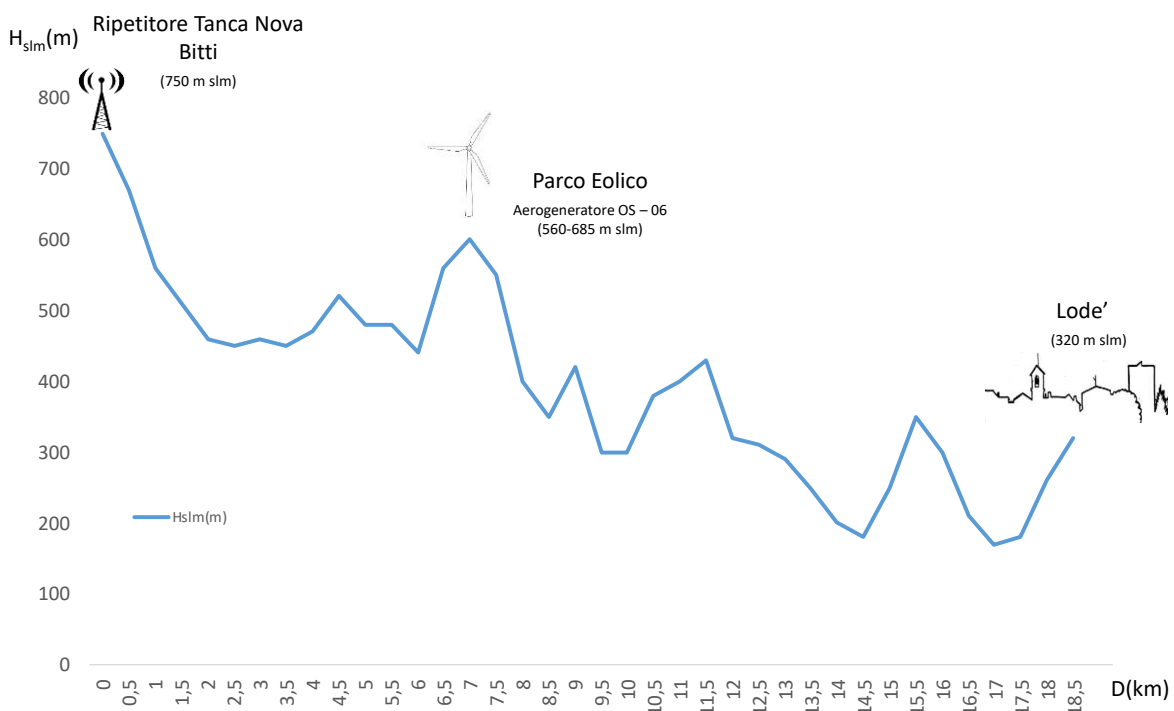


Figura 6 – Andamento altimetrico ripetitore "Tanca Nova" – Lula (spaziatura 500m)

#### 3.2 Profilo plano-altimetrico studio effetti Ponte Radio VVFF Lode/Bottidda

Per lo studio delle potenziali interferenze con il ponte radio del centro TLC dei VV.F. - Sardegna 2 (nord) è stato considerato il percorso tra le due antenne considerando

le quote di installazione (Monte Rasu - Sant'Anna - Lodè) con le seguenti specifiche tecniche:

- Master: Sito “Monte Rasu” - Bono (SS) – h = 1250 m slm
- Satellite: Sito “Montalbo” - Lodè (NU)- h = 850m slm

Frequenza:

- Canale 52 (VHF) – 73 MHz in ricezione. 73,8 ÷ 74,6 MHz in trasmissione

La rappresentazione altimetrica del ponte radio e il parco eolico in progetto illustrato qualitativamente nella Figura 7.

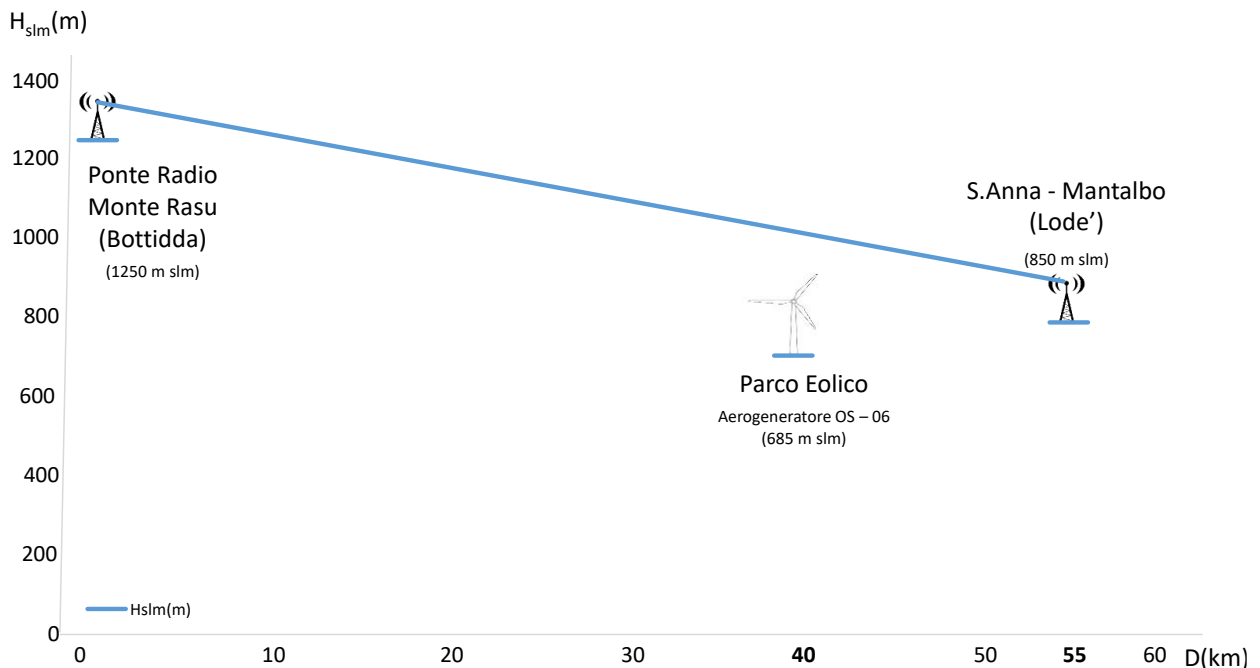


Figura 7 – Andamento altimetrico Ponte Radio VVFF Lode/Bottidda

### 3.3 Modellizzazione delle torri e aerogeneratori eolici

Le torri di supporto degli aerogeneratori e la struttura della navicella sono metallici, e quindi diffondono il campo incidente dovuto al ripetitore. Il campo totale si ottiene quindi dalla somma di quello diretto del ripetitore e di quello diffuso dal parco eolico.

Ogni torre è stata modellata come l'insieme di cinque cilindri metallici, il palo di sostegno, la navicella e le tre pale dell'aerogeneratore.

I singoli punti della torre sono largamente in campo lontano dell'antenna del ripetitore, ma la torre nel suo complesso è troppo alta per supporre che il campo

incidente sia una onda piana. Pertanto il ripetitore è stato modellato come una antenna (in particolare un dipolo orizzontale a  $\lambda/2$ ) con la stessa potenza irradiata equivalente (ERP - Effective Radiated Power) del trasmettitore effettivo. Questo dipolo produce, sul parco eolico e nell'abitato di Lodè, un campo con la stessa distribuzione spaziale (un'onda sferica) e polarizzazione (H) del campo del ripetitore.

### **3.4 Software di calcolo**

La simulazione è stata eseguita mediante il software NEC-2<sup>1</sup> sviluppato presso i Lawrence Livermore National Laboratory (centro di ricerca del Dipartimento per l'Energia degli USA), e che rappresenta lo standard per l'analisi di antenne filiformi e strutture metalliche chiuse. Il programma è basato sul metodo dei momenti<sup>2</sup>, e consente di calcolare le correnti indotte sui fili e sulle superfici metalliche. In particolare, su queste ultime la corrente viene discretizzata mediante funzioni a sottodominio.

La superficie è divisa in patch (piccoli rispetto alla lunghezza d'onda) e per ciascun patch si assume che la corrente sia costante, con due componenti tangenti alla superficie stessa. La corrente indotta viene calcolata imponendo che il campo elettrico tangente alla superficie sia nullo. Poiché tale campo dipende dalle correnti, si ottiene una equazione integrale che viene risolta mediante discretizzazione. Il principale vantaggio del metodo dei momenti è che richiede la discretizzazione solo delle correnti, mentre tecniche differenziali come gli elementi finiti richiedono la discretizzazione di tutto lo spazio attorno alla struttura. Per dare un termine di paragone, una singola torre eolica richiede, col metodo dei momenti, circa 10k incognite nel caso VHF, mentre una tecnica differenziale richiede, alla stessa frequenza, 100M di incognite.

### **3.5 Modellizzazione della sorgente emissiva - Ripetitore di Tanca Nova**

La sorgente emissiva è rappresentata dall'antenna RAI WAY ubicata presso il monte è visualizzata in Figura 8.

---

<sup>1</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Numerical\\_Electromagnetics\\_Code](https://en.wikipedia.org/wiki/Numerical_Electromagnetics_Code)

<sup>2</sup> W.C. Gibson, The Method of Moments in Electromagnetics, Chapman & Hall/CRC Press, Boca Raton, FL, 2008



Il ripetitore trasmette su un canale VHF, frequenza centrale 175.25 MHz, corrispondente ad una lunghezza d'onda  $\lambda = 1.71$  m, e su tre canali UHF centrati attorno alla frequenza di 673.92 MHz, corrispondente ad una lunghezza d'onda  $\lambda = 44.5$  cm). Le bande occupate, nei due casi sono molto piccole. Lo studio verrà pertanto condotto considerando le due frequenze centrali indicate nel seguito come VHF e UHF.

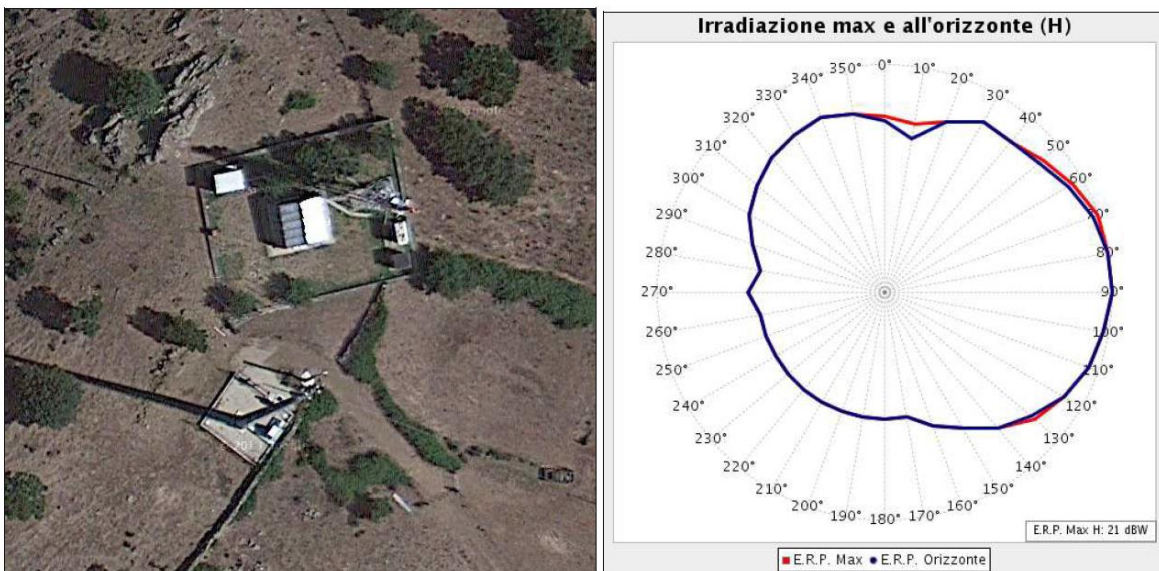


Figura 8 – Ripetitore di Tanca Nova – Bitti

L'effetto del parco eolico su di un collegamento radio può essere analizzato mediante il modello della propagazione multipath. Detto  $E_0(\mathbf{r})$  il campo in assenza di parco eolico, la componente co-polare con  $E_0$  del campo totale può essere espressa con la (1):

$$E_t(\mathbf{r}) = E_o(\mathbf{r}) \cdot M(\mathbf{r}) = E_o(\mathbf{r}) \cdot \left[ 1 + \sum_1^{N_t} a_n(\mathbf{r}) \cdot e^{-j\omega\tau_n(\mathbf{r})} \right] \quad (1)$$

Dove:

- $M(\mathbf{r})$  è il contributo multipath;
- $N_t$  è il numero di torri eoliche;
- $c \cdot \tau_n(\mathbf{r})$  è la differenza di cammino tra il percorso sorgente - torre n - punto campo e quello del raggio diretto;
- $c = 2,9979 \cdot 10^8$  m/s è la velocità della luce nel vuoto

- $a_n(\mathbf{r}) \cdot E_o(\mathbf{r})$  è il campo diffuso dalla torre n-esima in presenza delle altre torri.

Per il parco eolico in progetto la distanza tra le torri (superiore al centinaio di lunghezze d'onda) consente di considerare le torri come diffusori indipendenti.

Quindi il termine  $a_n(\mathbf{r}) \cdot E_o(\mathbf{r})$  sarà il campo diffuso dalla torre n-esima in assenza delle altre torri.

Per il servizio broadcast di Tanca Nova verso l'abitato di Lodè sono possibili ulteriori approssimazione.

L'angolo sotto cui viene visto l'abitato è sufficientemente piccolo da considerare, per ciascuna torre,  $|E_o(\mathbf{r})| |a_n(\mathbf{r})| = \text{cost}$  per tutti i punti dell'abitato di Lodè.

L'ampiezza del relativo ellissoide di Fresnel, dall'altezza del piano eolico, è di 40 m in UHF e 80 m in VHF, notevolmente inferiore alla distanza tra le antenne. Questo suggerisce che solo la torre OS1, l'unica vicina al raggio diretto, contribuisca al multipath<sup>3</sup>. Possiamo quindi assumere la (2)

$$E_t(\mathbf{r}) = E_o(\mathbf{r}) \cdot [1 + a_1(\mathbf{r}) \cdot e^{-j\omega\tau_1(\mathbf{r})}] \quad (2)$$

e considerare aleatoria e uniformemente distribuita la fase del contributo del multipath.

### **3.6 Valutazioni dello studio UHF - ripetitore "Tanca Nova"**

Il parco eolico in questione è costituito da 6 torri eoliche. I pali di supporto, e parte della struttura del generatore, sono metallici e quindi diffondono il campo incidente dovuto al ripetitore. Il campo totale sarà quindi la somma di quello diretto del ripetitore e di quello diffuso dal parco eolico; è necessario ai fini dello studio quindi valutare l'ampiezza di quest'ultimo nelle zone servite dal ripetitore.

Il ripetitore coinvolto trasmette su un canale VHF (frequenza centrale 175.25 MHz, corrispondente ad una lunghezza d'onda  $\lambda = 1.71$  m) e su tre canali UHF molto vicini (centrati attorno alla frequenza di 673.92 MHz, corrispondente ad una lunghezza d'onda  $\lambda = 44.5$  cm).

Le bande occupate, nei due casi sono molto piccole. Pertanto verranno considerate solo le due frequenze centrali, che nel seguito saranno indicate come caso VHF e caso UHF.

---

<sup>3</sup> Wikipedia: [en.wikipedia.org/wiki/Multipath\\_propagation](https://en.wikipedia.org/wiki/Multipath_propagation)

L'analisi verrà fatta sia utilizzando il concetto di sezione radar di un oggetto, sia simulando con tecniche elettromagnetiche full-wave la risposta del parco eolico.

Indicando con  $E_i$  il campo del ripetitore incidente  $S_i$  su di una struttura, allora si può valutare mediante la (3)

$$S_i = \frac{1}{2\zeta} |E_i|^2 \quad (3)$$

Dove  $\zeta = 377 \Omega$  è la densità di potenza dell'onda incidente. La densità di potenza diffusa  $S_d(\mathbf{R}, \Omega)$  dalla struttura (dipendente dalla direzione  $\Omega$  in cui la si osserva, e dipendente come  $R^{-2}$  dalla distanza  $R$  tra struttura e punto di osservazione) è proporzionale ad  $S_i$  e può essere espressa mediante la sezione radar  $\sigma(\Omega)$  della struttura tramite la (4):

$$S_d(R, \Omega) = \sigma(\Omega) \frac{S_i}{4\pi R^2} \quad (4)$$

Si sono assunte le basi delle sei torri alla quota di progetto e si è scelto un sistema di riferimento con l'origine alla base della torre OS1 (e ovviamente asse z verticale) e l'asse x lungo il parallelo.

Le torri eoliche sono strutture essenzialmente verticali, alte e snelle, e per esse la sezione radar ha un massimo molto pronunciato nella direzione che è il prolungamento della direzione da cui arriva il campo incidente. Quindi l'effetto c'è solo nelle vicinanze dell'abitato di Lodè. Quindi è sufficiente valutare l'effetto solo per tale zona, dove la sezione radar (per un segnale di lunghezza d'onda  $\lambda$ ) di una struttura cilindrica verticale di raggio  $a$  e lunghezza  $L$  risulta, se valutata in approssimazione di Ottica Fisica (PO), pari a  $\sigma$  come dalla (5):

$$\sigma = AL^2(\beta a) \text{sinc}^2 \left[ \frac{\beta L}{2} \sin \Delta\theta_s \right] \quad (5)$$

essendo  $A$  una costante e  $\beta = 2\pi/\lambda$ . Nella (5),  $\Delta\theta_s$  è l'angolo tra la congiungente ripetitore–centro del cilindro e la congiungente centro del cilindro–punto campo.

A causa della dipendenza da  $L^2$  di  $\sigma$ , i pali di sostegno, lunghi 125 m forniscono il maggior contributo alla sezione radar. Per essi l'angolo  $\Delta\theta_s$  vale (per l'abitato di Lodè) circa  $0.2^\circ$ . Pertanto la variazione di  $\sigma$  rispetto al valore massimo, dovuta all'ultimo fattore, vale  $-1$  dB in VHF e  $-36$  dB in UHF. Il contributo delle tre pale, di lunghezza pari a circa 80 m è inferiore. Questo sia perché hanno una sezione radar inferiore di 4 dB a causa del fattore  $L^2$ , sia perché sono poste più in alto (centro a 80–130 m di quota),



e quindi l'angolo  $\Delta\theta_s$  è superiore, causando una ulteriore riduzione dell'ultimo fattore della (5).

### **3.7 Valutazione Numerica del Campo - VHF - ripetitore "Tanca Nova"**

Ogni torre è stata modellata come l'insieme di cinque cilindri metallici, il palo di sostegno, il generatore e le tre pale dell'elica. I singoli punti della torre sono largamente in campo lontano dell'antenna del ripetitore, ma la torre nel suo complesso è troppo alta per supporre che il campo incidente sia una onda piana. Pertanto il ripetitore è stato modellato come una antenna (in particolare un dipolo orizzontale a  $\lambda/2$ ) con la stessa Potenza irradiata efficace (ERP<sup>4</sup>) del trasmettitore effettivo. Questo dipolo produce, sul parco eolico e nell'abitato di Lodè, un campo con la stessa distribuzione spaziale (una onda sferica) e polarizzazione (H) del campo del ripetitore.

La simulazione è stata eseguita con NEC-2<sup>5</sup>, modellando i cilindri mediante un insieme di superfici elementari, sostanzialmente rettangolari.

Nella banda VHF, si è verificato che rettangoli alti  $0.85\lambda$  e larghi  $0.31\lambda$  sono sufficienti a dare risultati molto simili a quelli ottenuti dai rettangoli suggeriti nel manuale del NEC-2, ovvero  $0.2\lambda \times 0.2\lambda$ . Questi ultimi avrebbero comportato un numero troppo elevato di incognite nella analisi di una singola torre, a maggior ragione per il parco eolico nel suo complesso. La differente scelta lungo l'asse del cilindro e in direzione laterale è legata al fatto che le correnti di ottica fisica (che nella banda VHF sono una discreta approssimazione delle correnti vere indotte sul cilindro) sono costanti rispetto all'asse  $z$  ma abbastanza variabili in direzione laterale, a causa della curvatura.

Sono stati prima esaminati separatamente i singoli pali di supporto. Si è trovato un livello del campo diffuso da ciascun palo pari a circa  $-28$  dB rispetto al campo diretto del ripetitore. Poiché le diffusioni dei vari pali (e delle varie torri) sono sostanzialmente indipendenti, e con fasi significativamente diverse, si può assumere un incremento del livello del campo diffuso, rispetto al singolo palo, di circa 2 dB per i due pali più vicini (OS2 E OS3) e 4 dB per il parco eolico complessivo.

---

<sup>4</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Potenza\\_irradiata\\_efficace](https://it.wikipedia.org/wiki/Potenza_irradiata_efficace)

<sup>5</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Numerical\\_Electromagnetics\\_Code](https://en.wikipedia.org/wiki/Numerical_Electromagnetics_Code)

Si è poi passato ad esaminare le singole torri, considerando le pale delle eliche disposte ad ore 12, ore 4 e ore 8, e con il piano delle pale parallelo in due direzioni ortogonali. Per tutte le torri il caso più critico è quello con il piano delle pale ortogonale alla direzione di incidenza del campo. Si trova infatti in tale caso un campo diffuso dalla torre in media di -26 dB sotto quello del ripetitore, ma con punte massime di -20 dB. Per le altre torri i valori medi sono di circa 10 dB più bassi di quelli della torre OS1.

Anche qui i campi diffusi sono, nei vari punti, con fasi variabili e quindi la loro somma è significativamente minore che se si sommassero tutti in fase. Poiché uno dei campi (quello della torre OS1) domina, si può assumere, come nell'equazione (2), che il campo diffuso dal parco eolico sia, nel caso peggiore, almeno 17-18 dB più basso di quello diretto del ripetitore, ovvero che la densità di potenza diffusa  $S_d$  sia, nel caso peggiore, non più del 2% di  $S_i$

### 3.8 Stima mediante ottica fisica VHF E UHF - ripetitore "Tanca Nova"

Può essere utile valutare il campo diffuso tramite la approssimazione di ottica fisica (PO). Partendo dalla (5) che in forma esplicita fornisce<sup>6</sup> la (6)

$$\sigma = AL^2(\beta\alpha)\text{sinc}^2\left[\frac{\beta L}{2}\mathbf{i}_z \cdot (\mathbf{i}_i - \mathbf{i}_s)\right] \quad (6)$$

Essendo

$$A = \frac{\beta\alpha}{\pi} \left| \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} (i_x \sin\phi - i_y \cos\phi) \exp[j\beta\alpha i_n \cdot (i_i - i_s)] d\phi \right|^2 \quad (7)$$

mentre i vari versori sono:

- $i_i$  = direzione di incidenza, ovvero versore del vettore ripetitore-centro del cilindro;
- $i_s$  = direzione di diffusione, ovvero versore del vettore centro del cilindro-punto campo;
- $i_n$  = versore normale alla superficie del cilindro ( $i_n = i_x \cos\phi + i_y \sin\phi$ )

---

<sup>6</sup> E.F. Knott et al., Radar Cross Section II ed., Scitech.

Nel caso VHF la (3) fornisce, per l'abitato di Lodè, un valore di  $\sigma = 6,6 \cdot 10^5 \text{m}^2$ , contro un valore calcolato dal NEC-2 di circa  $4 \cdot 10^5 \text{m}^2$ .

La differenza, significativa ma all'interno dello stesso ordine di grandezza, deriva da due fattori. Il primo è che la condizione di validità della PO è che il raggio di curvatura della superficie sia grande rispetto alla lunghezza d'onda. Il che è vero per il caso UHF ( $a/\lambda=4.3$ ) ma non per il caso VHF, in cui tale rapporto vale  $a/\lambda=1.1$ , un valore sufficiente a garantire l'ordine di grandezza ma non la precisione. Il secondo è che il campo incidente non ha una fase lineare, ma quadratica sul palo, a causa della lunghezza del palo stesso. Questo riduce leggermente la  $\sigma$  nella direzione del raggio incidente (ovvero se  $i_s = i_i$ ) o nelle sue vicinanze, come è il caso dell'abitato di Lodè, e lo aumenta leggermente nelle altre. Questa coincidenza degli ordini di grandezza suggerisce di usare, almeno come stima iniziale, la PO anche nei casi UHF, in cui la valutazione numerica è significativamente più onerosa dal punto di vista computazionale.

Le (6,7) forniscono, per il caso UHF, un valore di  $\sigma = 3000 \text{m}^2$ , ovvero oltre 20 dB in meno della sezione radar VHF.

Si possono applicare le (6,7) anche alle pale, sempre schematizzandole come cilindri. Considerando la pala posta verticalmente si trova  $\sigma_{\text{VHF}} = 7 \cdot 10^4 \text{m}^2$ , e  $\sigma_{\text{UHF}} = 2 \cdot 10^4 \text{m}^2$ .

Per una pala orizzontale (e posta ortogonalmente alla direzione di incidenza) si trova invece  $\sigma_{\text{VHF}} = 2,4 \cdot 10^5$ , e  $\sigma_{\text{UHF}} = 1,5 \cdot 10^5 \text{m}^2$ .

I valori di  $\sigma_{\text{VHF}}$  giustificano la relativamente piccola differenza del campo totale diffuso, da quello diffuso dal solo palo.

Invece, nel caso UHF, la diffusione è soprattutto dovuta alle pale delle eliche, la cui sezione radar 10÷20 dB più alta di quella del palo. Infatti, la riduzione di L allarga la zona in cui l'ultimo fattore della (5) è prossimo a 1, compensando l'incremento di  $\beta$ .

Per le pale dell'elica si trova in particolare che  $\sigma_{\text{VHF}}$  e  $\sigma_{\text{UHF}}$  hanno sostanzialmente lo stesso ordine di grandezza, e sono circa 10 dB più piccole della sezione radar del palo in VHF. Poiché in UHF il palo contribuisce molto poco alla sezione radar complessiva, mentre è il termine dominante a VHF, si può concludere che il campo diffuso a UHF è, in rapporto a quello diretto del ripetitore, più piccolo di quello diffuso a VHF. E quindi

neanche per i canali UHF, il parco eolico produce un effetto apprezzabile sul servizio di broadcast fornito dal ripetitore.

### 3.9 Effetto complessivo sul ripetitore *tanca nova*

Il modulo del termine di multipath i VHF è di circa 17-18 dB più basso del campo diretto ( $|a_1| = 0,14$ ). Includendo come worst case il contributo delle altre torri si arriva a un valore di  $|a_1|$  di 0,22. Nel caso UHF le ampiezze dei campi diffusi risultano significativamente inferiori e, quindi, discuteremo solo del caso VHF.

Risulta<sup>7</sup> che il valore minimo di  $|M|^2$  è di  $(1 - |a_1|)^2 = 0,6$ , corrispondente a una riduzione massima di 2,3 dB rispetto al campo in assenza del parco eolico in progetto.

### 3.10 Valutazione Numerica del Campo - Collegamento in ponte radio

Relativamente al collegamento in ponte radio a 74 MHz tra Monte Rasu e S. Anna di Lodè, una prima analisi ha evidenziato che la proiezione al suolo di tale collegamento attraversa il parco eolico Onanie (vedi Figura 9).

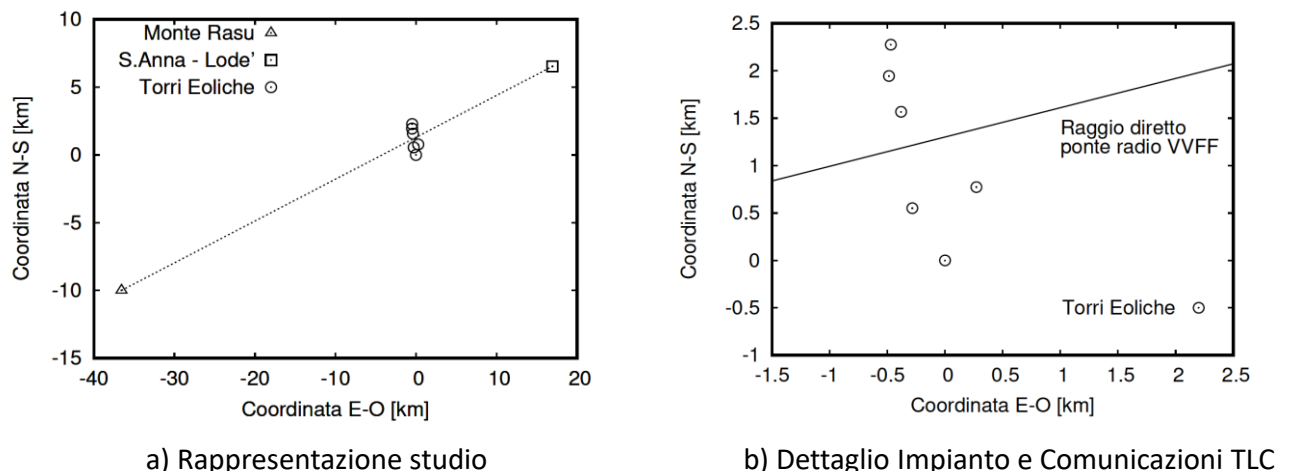


Figura 9 – Proiezione al suolo collegamento ponte radio e parco eolico

Poiché il relativo raggio del primo ellissoide di Fresnel all'altezza del parco è di circa 220 m, esiste una intersezione tra le torri del parco e i primi ellissoidi. Questo ha suggerito una analisi più approfondita.

<sup>7</sup> Vaughan R. and Bach Andersen I., "Channels Propagation and Antennas for Mobile Communications"



Non ci si aspettano tuttavia interazioni significative, in quanto il raggio diretto del collegamento passa, nella zona del parco, a una quota di circa 950 m (vedi Figura 7) mentre le cime dei pali delle torri eoliche raggiungono l'altezza massima di circa 800 m. Pertanto solo una piccola frazione perimetrale del primo ellissoide viene ostruita. Poiché la frequenza del ponte radio è di 74 MHz (banda VHF), l'effetto delle pale risulta di una decina di dB più basso di quello del palo di sostegno.

E' stata quindi una analisi dell'effetto dei soli pali metallici di sostegno utilizzando il software NEC-2.

Attraverso lo studio si è trovato che il campo diffuso dalle varie torri nella direzione dell'altro terminale del ponte radio è, rispetto al campo diretto, più basso di circa 45-46 dB per i tre pali delle torri OS04, OS05, OS06 e di circa 50 dB per le altre tre. Tenendo conto dell'effetto di pale e navicelle, e assumendo (come worst case) che i campi diffusi da tutte le torri siano in fase, il contributo di multipath della (1) è valutabile intorno ai -36 dB (corrispondente a 0.016)

Il valore minimo di  $|M|^2$  risulta quindi di 0.97, ovvero -0.15 dB.

#### 4. CONCLUSIONI DELLO STUDIO

Questo studio ha valutato l'effetto del parco eolico del parco eolico "Onanie", situato nel comune di Onanì (NU), sul servizio di broadcasting fornito dal ripetitore RaiWay di Tanca Nova nei confronti del segnale ricevuto dagli utenti dei centri abitati confinanti all'area del progetto e gli effetti possibile rischio di interferenza sui collegamenti in ponte radio (Monte Rasu - Sant'Anna - Lodè) del centro TLC dei VV.F. - Sardegna 2.

I risultati dello studio per il ripetitore RaiWay di tanca Nova hanno evidenziato:

- a) **Caso VHF:** il campo diffuso dal parco eolico è, nel caso peggiore, di 17-18 dB più basso di quello diretto del ripetitore RaiWay di Tanca Nova, ovvero la densità di potenza diffusa  $S_d$  è, nel caso peggiore, inferiore al 2% alla densità incidente  $S_i$ . In corrispondenza a questo si ha un effetto di fading spaziale lento con un'ampiezza massima di 2,3 dB. Quindi, nella banda VHF, non è presente un effetto significativo di peggioramento del livello di qualità richiesto per trasmissioni commerciali a grande diffusione dovuto parco eolico.

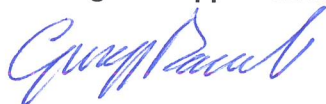
b) **Caso UHF:** la diffusione è dovuta soprattutto alle pale delle turbine, la cui sezione radar risulta 10–20 dB più alta di quella della torre dell'aerogeneratore. Il campo diffuso a UHF è, in rapporto a quello diretto del ripetitore, più piccolo di quello diffuso a VHF. Quindi, nella banda UHF, il parco eolico non produce un effetto apprezzabile sul servizio di broadcast fornito dal ripetitore RaiWay di Tanca Nova.

I risultati dello studio per il ponte radio VV.FF hanno evidenziato che non ci sono interazioni significative con l'impianto eolico in progetto.

Cagliari, 30.09.2020

I professionisti

**Prof. Ing. Giuseppe Mazzarella**



**Prof. Ing. Emilio Ghiani**

