

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29

**CGA per la Regione Sicilia – Verificazione impianto MUOS - Sentenza non definitiva del
03.09.2015 N. 00581/2015REG.PROV.COLL. N. 00379/2015 REG.RIC.**

“Relazione Verificazione Impianto MUOS”

Collegio Verificazione Impianto MUOS

Presidente: Prof. Maria Sabrina Sarto
Membro: Ing. Pietro Barbagallo
Membro: Prof. Gabriele Falciaesecca
Membro: Dott. Carlo Grandi
Membro: Ing. Paolo Giuseppe Ravazzani

28 gennaio 2016



1 **SOMMARIO**

2

3	1	Premessa.....	3
4	2	Primo quesito	6
5	2.1	Caratteristiche di progetto e condizioni di effettivo funzionamento dell'impianto	7
6	2.2	Predizioni del campo elettromagnetico irradiato.....	8
7	2.2.1	Antenne MUOS paraboliche.....	8
8	2.2.2	Antenne MUOS UHF.....	20
9	2.3	Misure di campo elettromagnetico	24
10	3	Secondo quesito	27
11	3.1	Esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici.....	27
12	3.2	Apparecchiature elettromedicali e dispositivi medici impiantabili attivi.....	33
13	3.2.1	Antenne MUOS paraboliche.....	35
14	3.2.2	Antenne MUOS UHF.....	35
15	3.3	Tutela ambientale delle aree SIC.....	36
16	3.4	Prevenzione antisismica	37
17	4	Terzo quesito.....	38
18	4.1	Interazione del campo elettromagnetico con strutture aeroportuali limitrofe	39
19	4.2	Interazione del campo elettromagnetico con aeromobili	41
20	4.3	Interazione del campo elettromagnetico con dispositivi elettro-esplosivi	45
21	5	Conclusioni	47
22	6	Elenco Allegati.....	50

23

24

25

26

2 l.g.  M

1 **I PREMessa**

2 A seguito del ricorso proposto dal Ministero della Difesa avverso alla sentenza del TAR, il CGA
3 per la Regione Siciliana (CGARS) con sentenza non definitiva del 3.09.2015 ha disposto una nuova
4 verificazione che viene affidata a cinque componenti indicati rispettivamente dal Consiglio
5 Universitario Nazionale (CUN), dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), dal Ministero dei
6 Trasporti e delle Infrastrutture, dal Ministero della sanità, dal Ministero dell'Ambiente. Il Presidente
7 del Collegio di Verificazione (nel seguito denominato "Collegio") così composto è il componente
8 indicato dal CUN.

9 La verificazione dovrà svolgersi in contraddittorio e avrà ad oggetto i seguenti quesiti, formulati
10 sulla base di quelli in primo grado declinati dal TAR:

11 *"Accerti il collegio dei verificatori,*

12 *1) quale sia l'effettiva consistenza e quali siano gli effetti, anche sulla salute umana, delle emissioni*
13 *elettromagnetiche generate dall'impianto Muos, quando funzionante, considerato sia isolatamente*
14 *sia in cumulo con gli impianti di radiotrasmissione già esistenti e ricadenti all'interno del territorio*
15 *siciliano potenzialmente suscettibile di essere investito dalle emissioni prodotte dal suddetto*
16 *impianto;*

17 *2) se tali emissioni siano conformi, o no, alla normativa (sovranaazionale, nazionale e regionale) in*
18 *materia di tutela dalle esposizioni elettromagnetiche, di tutela ambientale delle aree SIC e di*
19 *prevenzione antisismica;*

20 *3) se le emissioni elettromagnetiche dell'impianto Muos possano mettere in pericolo, tenendo conto*
21 *anche della possibilità di un errore di puntamento delle antenne, la sicurezza del traffico aereo*
22 *civile."*

23 Il Collegio ha effettuato tre riunioni intervallate da periodi di lavoro programmato e contatti
24 telematici. La prima riunione si è tenuta il giorno **1.12.2015 alle ore 11 a Roma** presso locali della
25 Facoltà di Ingegneria della Sapienza Università di Roma (verbale riportato nell'Allegato 1). La
26 seconda riunione si è tenuta il giorno **22.12.2015 a Bologna** presso locali della Scuola di Ingegneria
27 e Architettura della Università di Bologna (verbale riportato nell'Allegato 2). La terza riunione si è
28 tenuta i giorni **18.01.2016 e 19.01.2016 a Roma** presso locali della Facoltà di Ingegneria della
29 Sapienza Università di Roma (verbale riportato nell'Allegato 3).

 3  

1 La strategia di verificazione definita dal Collegio nella prima riunione prevedeva lo svolgimento di
2 analisi sia di tipo teorico (modellistica e predizione mediante simulazione dei livelli di campo
3 elettromagnetico irradiato dall'impianto MUOS) sia di tipo sperimentale (misurazione dell'intensità
4 dei campi irradiati dall'impianto nelle effettive condizioni di funzionamento alla massima potenza
5 prevista). Infatti, lo studio approfondito della documentazione allegata al fascicolo aveva da subito
6 messo in evidenza quanto segue:

7 *i)* Sono state svolte negli anni ampie campagne di misurazioni dei campi elettromagnetici
8 irradiati dai sistemi di comunicazione installati presso la base NRTF. Tali misurazioni sono
9 state largamente criticate ed in alcuni casi contestate, a causa della non precisa definizione
10 delle condizioni effettive di funzionamento dell'impianto stesso durante le misurazioni,
11 ovvero per la scelta dei punti e delle metodologie di misura.

12 *ii)* Le predizioni di campo elettromagnetico irradiato dall'impianto sono state effettuate
13 utilizzando esclusivamente modelli fortemente approssimati, che seppur validi ed affidabili,
14 tuttavia hanno consentito di prevedere i valori massimi di campo irradiato dalle parabole
15 MUOS solo nei punti posizionati nello spazio lungo l'asse di radiazione del fascio. Negli
16 allegati alla documentazione disponibile non sono descritti modelli di calcolo che
17 consentano la predizione del campo elettromagnetico a terra e nello spazio anche fuori dal
18 fascio delle antenne paraboliche. Gli effetti di irraggiamento diretto del feeder dell'antenna
19 verso il terreno e di diffrazione, che in prossimità delle antenne stesse possono essere
20 rilevanti e dominanti rispetto ai contributi di campo irradiato dal fascio, non sono stati mai
21 presi in considerazione.

22 *iii)* Alcuni dati radioelettrici caratterizzanti l'impianto MUOS risultavano incerti e non
23 chiaramente definiti, con forte indecisione in merito al valore della potenza massima che le
24 antenne paraboliche e le antenne UHF dell'impianto MUOS possono effettivamente
25 irradiare nelle condizioni di alimentazione alle massime potenza previste.

26 L'accertamento e la verifica dei punti sopra menzionati, tenuto anche conto delle richieste dei periti
27 intervenuti in contraddittorio, suggerivano l'opportunità di richiedere al CGARS un'ampia proroga
28 dei termini previsti per la conclusione della verificazione (90 giorni). Tale proroga veniva concessa,
29 limitata però a 40 giorni. Il Collegio di Verificazione procedeva pertanto alla definizione di un
30 cronoprogramma che prevedeva lo svolgimento in parallelo (per potere rientrare nei tempi previsti







1 dalla proroga concessa) di simulazioni di campo elettromagnetico irradiato, finalizzate a fare
2 chiarezza in merito agli effettivi meccanismi di irraggiamento di campo elettromagnetico da parte
3 delle antenne MUOS, e di misurazioni, volte principalmente a rispondere all'esigenza di verificare,
4 tra la mole di dati sperimentali già disponibili relativamente a misurazioni svolte *in loco*, quali poter
5 considerare affidabili e pertinenti ai fini della valutazione della consistenza dei campi
6 effettivamente irradiati dall'impianto MUOS.

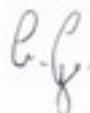
7 Nel cronoprogramma definito dal Collegio nella riunione no. 2 del 22 dicembre 2015, si prevedeva
8 la conclusione delle simulazioni preliminari di campo elettromagnetico irradiato dall'impianto entro
9 la data dell'11 gennaio, lo svolgimento di misure cooperative di campo elettromagnetico *in loco* nei
10 giorni 13 e 14 gennaio considerando anche i risultati delle simulazioni, la convocazione per i giorni
11 18 e 19 gennaio della riunione conclusiva del Collegio, in presenza dei periti di parte.

12 Il Collegio ha svolto le simulazioni e predizioni di campo elettromagnetico irradiato sviluppando di
13 modelli e codici di calcolo autonomi, in grado di predire nel dettaglio la distribuzione del campo
14 elettromagnetico irradiato nello spazio e a terra, considerando anche gli effetti della radiazione
15 diretta del feeder a terra e della diffrazione dai bordi dei riflettori.

16 La sessione di misura prevista nei giorni 13 e 14 gennaio 2016 presso l'impianto MUOS è stata
17 inizialmente rinviata per motivi contingenti (si veda la comunicazione al CGARS del 12.01.2016 in
18 allegato 4) e successivamente annullata perché ritenuta non essenziale. Infatti, i risultati delle
19 simulazioni e delle predizioni di campo elettromagnetico nell'area interna ed esterna alla base di
20 Niscemi, condotte dal Collegio fino alla data del 13 e 14 gennaio 2016, tenendo conto anche
21 dell'orografia del terreno e delle condizioni effettive di funzionamento dell'impianto stesso alla
22 massima potenza dichiarata, facevano prevedere con ampi margini di cautela che alle frequenze di
23 trasmissione del sistema MUOS i livelli di campi in aree esterne alla base ed in particolare nei
24 quadranti est-nord-ovest rispetto all'impianto MUOS stessa fossero lontani dai riferimenti di legge
25 (ove presenti).

26 Pertanto il Collegio, nella riunione no. 3 del 18 e 19 gennaio 2016, procedeva all'analisi e alla
27 discussione in contraddittorio dei risultati delle simulazioni svolte dal Collegio stesso con i codici di
28 calcolo sviluppati autonomamente e senza ricorrere alla consulenza di terzi e concordava fosse
29 possibile ottemperare ai limiti temporali imposti dal decreto no. 97-15 del CGARS del 17 dicembre







1 2015, sulla base dei dati disponibili, ritenendo non necessario intraprendere una nuova campagna di
2 misure.

3 L'obiettivo di questa relazione di verificazione è quello di rispondere ai quesiti posti dalla sentenza
4 non definitiva CGARS del 3 settembre 2015, sulla base degli elementi e della metodologia sopra
5 descritti. Tutte le conclusioni della presente relazione sono state svolte utilizzando i dati di
6 funzionamento dell'impianto (massima potenza di esercizio, direzioni e tipologia delle antenne,
7 ecc.), così come trasmessi e sottoscritti dall'Ambasciata degli Stati Uniti a Roma (allegati 5 e 6).
8 Non sono pertanto direttamente applicabili senza ulteriori approfondimenti a differenti condizione
9 di funzionamento dell'impianto stesso.

10 2 PRIMO QUESITO

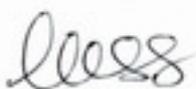
11 *"Accerti il collegio dei verificatori,*

12 *1) Quale sia l'effettiva consistenza e quali siano gli effetti, anche sulla salute umana, delle*
13 *emissioni elettromagnetiche generate dall'impianto MUOS, quando funzionante,*
14 *considerato sia isolatamente sia in cumulo con gli impianti di radiotrasmissione già*
15 *esistenti e ricadenti all'interno del territorio siciliano potenzialmente suscettibile di essere*
16 *investito dalle emissioni prodotte dal suddetto impianto."*

17 Circa "l'effettiva consistenza" delle emissioni elettromagnetiche, il Collegio concorda che il
18 termine "effettiva" sia indicativo del fatto che si richiede la valutazione di tali emissioni nelle
19 condizioni di effettivo funzionamento dell'impianto alle massime prestazioni dichiarate.

20 A tale proposito, rilevata la notevole ambiguità sui dati di effettivo funzionamento dell'impianto
21 riscontrata nella documentazione allegata al fascicolo, il Collegio ha ritenuto opportuno richiedere
22 al Ministero della Difesa italiano la comunicazione dei dati radioelettrici completi dell'impianto.
23 Tali dati, controfirmati dal responsabile autorizzato dell'Ambasciata degli Stati Uniti d'America
24 (nel seguito indicata come "Ambasciata USA") a Roma (*Headquarters United States European*
25 *Command, Office of Defence Collaboration, U.S. Embassy Rome*), sono stati trasmessi al Collegio
26 in data 15 e 22 gennaio 2016, completi dei chiarimenti ed approfondimenti richiesti dal Collegio
27 stesso (allegati 5 e 6).

28 La valutazione dell'effettiva consistenza delle emissioni elettromagnetiche dell'impianto MUOS è
29 stata condotta, in linea generale, mediante il confronto tra i valori di campo elettromagnetico







1 prodotti dall'impianto e i corrispondenti valori normativi e legislativi, laddove disponibili. Casi
2 particolari sono discussi all'interno della relazione.

3 **2.1 Caratteristiche di progetto e condizioni di effettivo funzionamento dell'impianto**

4 L'Impianto MUOS (acronimo per *Mobile User Objective System*) è situato in prossimità dell'abitato
5 di Niscemi in Sicilia, all'interno della centrale di telecomunicazione della Marina Militare USA, la
6 *Naval Radio Transmitter Facility* (NRTF). I dettagli tecnici degli impianti di radiotrasmissione
7 presenti nella base e le specifiche sulle condizioni di effettivo funzionamento a massimo regime
8 dell'impianto, sui quali è basata la presente relazione, sono stati trasmessi al Collegio di
9 Verificazione in forma ufficiale dall'Ambasciata USA, sottoscritti in merito alla loro veridicità e
10 corrispondenza alla realtà dal responsabile autorizzato dell'Ambasciata stessa (allegati 5 e 6).

11 Pur rimandando per i dettagli ai contenuti degli allegati 5 e 6, nel seguito si forniscono chiarimenti
12 in merito ad alcune caratteristiche tecniche dell'impianto MUOS che fino ad oggi sono state
13 argomento di dibattito e incertezza.

14 1) La potenza massima di trasmissione (*Nominal Transmit Power (max output power)*) di
15 ciascuna antenna parabolica operante a 30-31 GHz (banda ka) è di 200 W. Si specifica che
16 tale potenza è quella disponibile all'uscita del "dispositivo combinatore" che alimenta
17 direttamente il *feeder* dell'antenna parabolica. Le perdite di trasmissione attraverso il *feeder*
18 ammontano a 1.3 dB, pertanto l'effettiva potenza irradiata dal *feeder*, nelle condizioni
19 massime previste di alimentazione di potenza, è pari a 148 W.

20 2) Il valore massimo di potenza di 1600 W, che più volte si trova citato in maniera spesso
21 incongruente e contraddittoria in diversi documenti allegati al fascicolo, è attribuibile al
22 valore di dimensionamento del *feeder* dell'antenna parabolica Cassegrain (indicato in 2000
23 W a pagina 26 dell'allegato 5). Il *feeder* ha la funzione di produrre un campo
24 elettromagnetico ben focalizzato che colpisce il subriflettore. Il subriflettore riflette il
25 segnale sulla parabola che ha la funzione di focalizzare il campo, producendo il fascio
26 collimato che raggiunge il satellite. Tale valore di potenza non può pertanto rappresentare,
27 in condizioni effettive di funzionamento, il valore massimo di potenza che l'antenna può
28 irradiare, in quanto è definito come il valore al di sopra del quale il *feeder* può subire
29 danneggiamento a causa dell'elevato valore di campo.



7



- 1 3) L'elevazione dell'antenna MUOS LANT può variare tra 32.2° e 41.2°. L'elevazione
2 dell'antenna MUOS IO può variare tra 11.2° e 18.2°.
- 3 4) La potenza massima di trasmissione (Nominal Transmit Power of the Solid State Power
4 Amplifier (Max output power)) di ciascuna antenna UHF è di 200 W. Si specifica che tale
5 potenza è quella disponibile in uscita all'amplificare che alimenta ciascuna antenna UHF. Le
6 perdite di linea, legate alla trasmissione del segnale in potenza dall'uscita dell'amplificare
7 all'antenna vera e propria sono pari a 3.2 dB. Pertanto l'effettiva potenza in ingresso
8 all'elemento irradiante nelle condizioni di massima potenza in uscita dall'amplificatore è di
9 96 W.
- 10 5) Le antenne paraboliche MUOS sono dotate di sistema automatico di spegnimento che
11 interviene qualora, per qualsiasi motivo accidentale, l'angolo di elevazione del fascio
12 irradiato dalle antenne scenda al di sotto di 6°.

13 Tutte le predizioni di campo elettromagnetico e le conseguenti analisi sono condotte nel caso limite
14 peggiorativo di considerare ideali i sistemi trasmettenti, ovvero di trascurare le perdite di potenza
15 degli stessi.

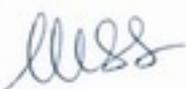
16 2.2 Predizioni del campo elettromagnetico irradiato

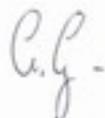
17 2.2.1 Antenne MUOS paraboliche

18 Le caratteristiche del campo elettromagnetico irradiato dalle antenne MUOS sono descritte in linea
19 generale nella relazione di verificazione di D'Amore:

20 *"Il modello schematico di radiazione dell'antenna parabolica è rappresentato in fig.1. Si*
21 *distinguono tre zone: "near field, near-to mid-field (Fresnel zone), far field". Nella zona di campo*
22 *vicino il fascio elettromagnetico presenta forma cilindrica con diametro D coincidente con quello*
23 *dell'antenna. Alla distanza di Rayleigh $D^2/2\lambda$ dal centro antenna il fascio acquista forma conica in*
24 *direzione del campo lontano che inizia convenzionalmente alla distanza di Fraunhofer $2D^2/\lambda$.*

25 *Per l'antenna parabolica del MUOS, avente diametro $D=18.4$ m, alla frequenza di 31 GHz, cioè*
26 *$\lambda = 0.967$ cm, risulta $(D^2/2\lambda) = 17506$ m e $(2D^2/\lambda) = 70023$ m.*







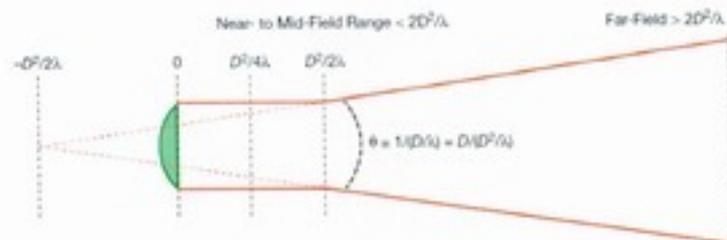


Fig.1. Modello schematico di radiazione dell'antenna parabolica [1] (rif. Relazione di integrazione verificazione D'Amore).

Le caratteristiche del campo nella zona di campo vicino, fino alla così detta "distanza caratteristica"

$D_c = D_R/2 = \frac{1}{2}D^2/(2\lambda) = D^2/(4\lambda)$, che per la frequenza di 31 GHz risulta pari a circa 8.75 km e

per la frequenza di 30 GHz è di circa 8.46 km, sono descritte nella relazione D'Amore sulla base di

quanto riportato in letteratura [1]. Lo studio di D'Amore si limita però a verificare i valori massimi

prevedibili sulla base del modello riportato in [1] lungo l'asse del fascio e fino alla distanza

caratteristica sopra menzionata, descrivendo in modo qualitativo le caratteristiche fortemente

oscillanti del campo stesso (ovvero della densità di potenza ad esso associata) fino alla distanza D_c .

Al fine pertanto di ottenere una stima più accurata rispetto a quanto presentato nella vasta

documentazione allegata al fascicolo, il Collegio ha sviluppato, in modalità completamente

autonoma e senza ricorrere a consulenze di esterni, modelli e codici di calcolo del campo vicino

irradiato dall'antenna parabolica, anche fuori asse, sia all'interno che all'esterno del fascio, che,

seppur basati su una formulazione scalare anziché vettoriale, fornissero una predizione

approssimata per eccesso dei valori di densità di potenza e di intensità di campo elettrico, tale da

poter essere considerata valida per lo scopo della presente verificazione. Ciò, come è descritto nel

seguito, ha consentito al Collegio di potere prevedere i valori di campo elettrico e di densità di

potenza associati all'emissione elettromagnetica dell'antenna parabolica MUOS, fino al terreno e

anche nello spazio circostante la base di Niscemi, proprio allo scopo di valutarne l'effettiva

consistenza.

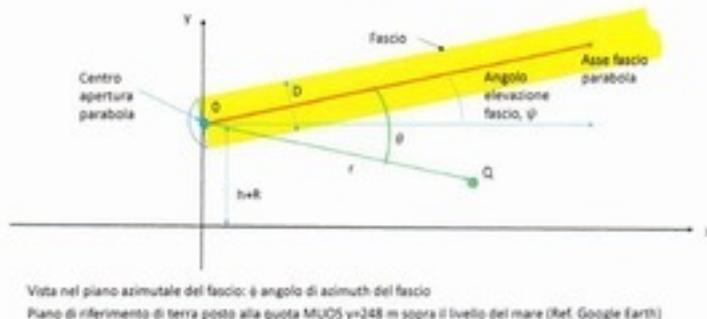
R.G.

lucss

M

1 **2.2.1.1 Calcolo del campo elettromagnetico irradiato dall'antenna parabolica a 30 GHz**

2 Si consideri lo schema di figura 1 che rappresenta l'antenna parabolica MUOS posta sopra il piano
 3 di riferimento (x, z) posto alla quota $y=248$ m rispetto al livello del mare (riferimento Google Earth)
 4 alla quale si trova l'installazione all'interno della base di Niscemi.



5
 6 **Figura 2 Rappresentazione schematica dell'antenna parabolica MUOS e sistemi di**
 7 **riferimento cartesiano e polare.**
 8

9 Applicando il modello descritto in [1] è possibile determinare le espressioni del modulo del campo
 10 elettrico in ogni punto dello spazio sopra rappresentato in funzione del valore medio che assume il
 11 campo elettrico sull'apertura della parabola (E_0), del modulo raggio vettore r che individua la
 12 posizione del punto di osservazione Q rispetto al centro O della parabola, dell'angolo di elevazione
 13 del raggio vettore r rispetto all'asse del fascio della parabola. La posizione dell'asse del fascio è
 14 individuata mediante l'angolo di azimuth ϕ nel piano (x, z) e l'angolo di elevazione ψ definito
 15 rispetto alla proiezione dell'asse del fascio nel piano (x, z) .

16 L'algoritmo di calcolo implementato dal Collegio nel codice di calcolo sviluppato (denominato
 17 FASCIO_1) si basa sulla formulazione scalare, anziché vettoriale, del campo elettromagnetico
 18 irradiato. Ciò deriva principalmente dalle ipotesi di simmetria cilindrica del problema e dal ritenere,
 19 in via del tutto cautelativa, il campo costante su tutti i punti dell'apertura. L'effetto del terreno sulla
 20 distribuzione di campo è ritenuto trascurabile in quanto alla frequenza di 30-31 GHz la lunghezza
 21 d'onda di circa 1 cm è confrontabile con la rugosità del terreno, che quindi ha un effetto diffusivo
 22 sul campo elettromagnetico. L'algoritmo consiste dei seguenti passi:

- 23 i) Calcolo della direttività dell'antenna $G_D(r, \theta)$ in coordinate polari utilizzando le formule di
 24 pag. 4 del riferimento [1]; nello specifico:

10

g-g. less m

- a. Formula (14) di [1] per posizioni del punto Q all'interno del fascio;
- b. Formula (15) di [1] per posizioni del punto Q all'esterno del fascio;
- c. Formula (17) di [1] per posizioni del punto Q lungo l'asse del fascio,

ii) Calcolo del guadagno G dell'antenna in coordinate polari in funzione della direttività calcolata al punto i):

$$G(r, \theta) = \eta G_D(r, \theta)$$

dove η rappresenta l'efficienza dell'antenna parabolica.

iii) Calcolo del campo elettrico $E(r, \theta)$ in coordinate polari in funzione del guadagno G utilizzando la relazione di pag. 3 di [1]:

$$E(r, \theta) = \frac{E_0 \sqrt{G(r, \theta)}}{2} \frac{R^2}{r^2}$$

dove $R = D/2$ è il raggio dell'antenna parabolica ed E_0 è il valore medio che assume il campo sull'apertura detto anche nel seguito calore di campo elettrico sull'apertura.

Il valore dell'efficienza dell'antenna parabolica, η , come specificato nella relazione D'Amore "tiene conto delle perdite di antenna. Il fattore di perdita dipende da "reflection (mismatch) efficiency, conduction efficiency, dielectriect efficiency", è di difficile valutazione analitica o sperimentale [30], ed assume valori generalmente compresi tra 0.5 e 0.75 (citato nella norma CEI 211-10 [9]); il valore di 0.71 corrispondente a -1.5 dB è considerato in [3]. Nella relazione dell'ISS si calcola $\eta=0.39$."

Sulla base degli approfondimenti condotti dal Collegio in merito all'effettiva entità del parametro η è possibile concludere che il valore di 0.75 rappresenta una stima sicuramente cautelativa. Nella letteratura scientifica, si riportano valori misurati di η per antenne paraboliche tipicamente compresi tra 0.35 e 0.55, con valori fino a 0.75 per antenne di elevate prestazioni. E' possibile tuttavia trovare il riferimento a valori di η fino 0.85 stimati nel progetto di antenne paraboliche ad elevatissima efficienza. Il valore unitario è puramente teorico. Pertanto nel seguito, al fine di analizzare il caso peggiore che possa verificarsi, tutte le analisi sono svolte considerando un valore di efficienza η pari a 0.85. Qualsiasi considerazione numerica in merito ai risultati ottenuti in termini di densità di potenza associata al campo elettromagnetico irradiato dal fascio può essere riportata al valore desiderato di efficienza η^* moltiplicando per il fattore $\eta^*/0.85$. Qualsiasi considerazione numerica in merito ai risultati ottenuti in termini di modulo di campo elettromagnetico irradiato dal fascio può

P.g.

ISS

1 essere riportata al valore desiderato di efficienza η^* moltiplicando per il fattore $\sqrt{\eta^*/0.85} =$
 2 $\sqrt{\eta^*}/0.92$.

3 Il campo elettrico sull'apertura E_0 può essere calcolato, come riportato in [1], nell'ipotesi che esso
 4 sia uniforme in tutti i punti dell'apertura stessa. Tale ipotesi è da ritenersi cautelativa ai fini delle
 5 presenti valutazioni, in quanto si fonda sull'approssimazione di trascurare il decadimento che, nei
 6 sistemi reali, viene tipicamente imposto per progetto al campo in prossimità del bordo della
 7 parabola per la riduzione della diffrazione e quindi dei lobi secondari di radiazione. Sulla base della
 8 predetta ipotesi, il campo E_0 si ottiene come:

$$9 \quad E_0 = \sqrt{(120 \pi p_0)}$$

10 essendo p_0 la densità di potenza sull'apertura della parabola, che nell'ipotesi di uniforme
 11 distribuzione del campo sull'apertura stessa è data dal rapporto tra la potenza P disponibile
 12 sull'apertura dell'antenna e la superficie della stessa apertura $A = \pi R^2$. Si ottiene pertanto, in linea
 13 con quanto riportato nella relazione D'Amore e anche in altre precedenti (relazione ISS):

$$14 \quad E_0 = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{120 \pi}{\pi} P} = 10.954 \frac{\sqrt{P}}{R}$$

15 Assumendo per la potenza P sull'apertura, sempre a scopo cautelativo, il valore della potenza
 16 massima disponibile alla porta di uscita del combinatore di potenza che alimenta il feeder (pari a
 17 200 W secondo quanto certificato dall'Ambasciata USA), e quindi nell'ipotesi ideale di trascurare
 18 le dichiarate perdite lungo la guida d'onda di 1.3 dB, si ottiene per il campo sull'apertura il valore
 19 $E_0 = 16.84 \text{ V/m}$, che coincide con quanto stimato nella verificazione D'Amore per la potenza di
 20 200 W. Pertanto nel seguito tutte le analisi sono svolte considerando per il campo sull'apertura il
 21 valore cautelativo $E_0 = 16.84 \text{ V/m}$. Qualsiasi considerazione numerica in merito ai risultati
 22 ottenibili in termini di ampiezza del campo elettrico nel fascio e fuori del fascio in corrispondenza a
 23 un qualsiasi diverso valore di potenza P^* disponibile sull'apertura dell'antenna si può derivare dai
 24 risultati mostrati nel seguito moltiplicando per il fattore $\sqrt{P^*/200}$, mentre il per la stima dei valori
 25 di densità di potenza il fattore moltiplicativo è $P^*/200$.

26 A partire dal modello di campo irradiato dal fascio sopra descritto, il Collegio ha inoltre sviluppato
 27 un secondo codice di calcolo (denominato FASCIO_2) mirato alla valutazione della distribuzione
 28 dell'ampiezza di campo elettrico in piani ortogonali al terreno e al piano di incidenza, posti a

1 diversa distanza dal fascio stesso: ciò al fine di valutare con esattezza la quota alla quale si
2 posiziona l'asse del fascio in punti sul territorio nella zona circostante la base di Niscemi, a distanze
3 crescenti dalle antenne stesse così come rilevabili da *Google Earth*. Con tale strumento è stato
4 possibile individuare, al variare dell'angolo di elevazione del fascio, eventuali zone nelle quali sono
5 attesi i valori più elevati di campo elettromagnetico in quota e a quale quota, considerando le
6 antenne paraboliche MUOS che agiscono isolatamente.

7 Un terzo codice di calcolo (FASCIO_3) è stato successivamente sviluppato per calcolare le
8 ampiezze del campo elettrico nei piani (x,z) paralleli al terreno, posizionati a specifica quota y
9 rispetto al livello del mare (quota teorica assunta per $y=0$ con riferimento alla quale la piattaforma
10 che ospita le antenne MUOS si trova a 248 m). Tale codice è stato utilizzato in combinazione con lo
11 strumento di geolocalizzazione *Google Earth* al fine di poter correttamente tenere conto
12 dell'orografia del terreno nei calcoli di campo elettromagnetico irradiato dalle antenne MUOS.
13 Infatti la piattaforma sulla quale sono installate le antenne MUOS si trova, come sopra menzionato,
14 a quota di 248 m sul livello del mare e il territorio circostante presenta sia zone di depressione e di
15 avvallamento sia zone di sopraelevazione, rendendo in tal modo necessario implementare uno
16 strumento di calcolo che consenta di calcolare il campo elettromagnetico a qualsiasi quota.

17 Il calcolo dell'effetto combinato delle due parabole, in termini di densità di potenza e di campo
18 elettrico, ha richiesto infine l'implementazione di un ulteriore codice di calcolo (FASCIO_4), che
19 basandosi sulla metodologia sviluppata per il FASCIO_3, consentisse di simulare due antenne
20 paraboliche MUOS contemporaneamente attive che irradiano in modo iso-frequenziale e sincrono
21 (condizione di caso peggiore), posizionate nel piano (x,z) a quota $y=248$ m nelle posizioni
22 determinate attraverso lo strumento di geolocalizzazione *Google Earth*, con le rispettive parabole
23 orientate secondo gli specificati angoli di elevazione ed azimuth. Il codice procede anzitutto al
24 calcolo dei campi e densità di potenza irradiate da ciascuna antenna nel piano (x,z) a quota y
25 specificata ed effettua successivamente la sovrapposizione dei campi elettromagnetici così valutati.
26 In linea fortemente cautelativa, il calcolo dell'ampiezza del campo elettromagnetico risultante dalla
27 sovrapposizione viene effettuato sommando i moduli dei campi elettrici irradiati nello stesso punto
28 di coordinate (x,y,z) da ciascuna parabola. E' evidente che tale assunzione è fortemente conservativa
29 in quanto si basa sull'ipotesi limite che le due antenne producano campi elettromagnetici in fase in
30 ogni punto dello spazio. Per quanto attiene invece alla densità di potenza totale, il calcolo è

P.f.



1 effettuato sommando le densità di potenza calcolate per ciascuna antenna nello stesso punto di
2 coordinate spaziali (x,y,z).

3 Si rileva che nella documentazione allegata al fascicolo non si trova traccia di predizioni di campo
4 elettromagnetico irradiato dalle antenne paraboliche MUOS in regione di campo vicino, in tutti i
5 punti dello spazio.

6 **Riferimenti:** [1] V.Jamnejad, «A study of near to far fields of JPL deep space network (DNS)
7 antennas for RFI analysis», IEEEAC 2004, paper #1546; [2] C. A. Balanis, *Advanced Engineering*
8 *Electromagnetics*, John Wiley and Sons, 2012; [3] C. A. Balanis, *Antenna Theory and Design*, John
9 Wiley and Sons, 1997.

10 **2.2.1.2 Calcolo del campo irradiato a terra direttamente dal feeder e contributi della diffrazione** 11 **dai bordi del subriflettore**

12 Il modello di predizione del campo elettromagnetico irradiato dall'antenna parabolica Cassegrain
13 modellizzata come un'apertura circolare sulla quale è presente una distribuzione uniforme di campo
14 elettrico di valore E_0 , rappresenta un ottimo strumento di predizione del campo elettromagnetico
15 vicino laddove gli effetti indesiderati associati alla radiazione diretta del fascio e alla diffrazione dal
16 bordo del subriflettore e della parabola siano trascurabili. Un accurato studio delle caratteristiche
17 geometriche e radioelettriche della parabola MUOS, secondo gli schemi e le informazioni fornite al
18 Collegio e certificate dall'Ambasciata USA (allegati 5 e 6), ha portato alla conclusione che tali
19 effetti "indesiderati", nell'ottica di una predizione cautelativa del campo elettromagnetico irradiato,
20 debbano essere tenuti in considerazione in questa analisi predittiva. Il Collegio ha altresì rilevato
21 che in nessun documento allegato al fascicolo sia mai stato condotto un tale studio.

22 La predizione del campo irradiato direttamente dal *feeder* è stata effettuata applicando il metodo
23 dell'ottica geometrica e *ray racing*. Deve essere considerato infatti che il subriflettore si trova nel
24 campo lontano del *feeder* (condizione sulla quale si basa il principio di funzionamento dell'antenna
25 parabolica Cassegrain), in quanto la lunghezza d'onda in aria del campo elettromagnetico irradiato
26 dal *feeder* a 30 GHz è di 1 cm e quindi molto inferiore alla dimensione dell'apertura attraverso la
27 quale il *feeder* stesso irradia direttamente verso terra (di fatto la superficie definita tra bordo
28 circolare del paraboloide, di raggio pari a 9.2 m, e il bordo del subriflettore, di raggio pari a circa 1
29 m).

C.f.

llss ph

1 L'algoritmo di calcolo per la predizione del campo irradiato direttamente dal *feeder* è stato
2 implementato dal Collegio nel codice di calcolo sviluppato autonomamente e senza ricorrere
3 all'ausilio di terzi, denominato FEEDER_1. Si consideri lo schema di figura 3 che rappresenta
4 l'area individuata dal fascio di radiazione diretta prodotto dal *feeder* che investe il terreno, nelle due
5 diverse configurazioni nelle quali si possono venire a trovare le due antenne MUOS IO e MUOS
6 LANT. L'algoritmo si basa sui seguenti passi:

- 7 i) Calcolo degli angoli β_{min} e β_{max} tra l'asse del fascio e i raggi vettori che dalla bocca del
8 feeder intercettano rispettivamente il bordo del subriflettore e della parabola (come mostrato
9 in figura 3).
- 10 ii) Definizione della regione a terra illuminata direttamente dal fascio, come mostrato
11 schematicamente in figura 3 (area gialla): nel caso in cui l'angolo di elevazione
12 ψ dell'antenna sia maggiore di β_{min} , tale area si estende in via teorica fino all'infinito.
- 13 iii) Determinazione della curva di guadagno del *feeder* nel punto di osservazione Q posto in
14 (x,y,z) e corrispondente ad un angolo di radiazione del *feeder* β definito nell'intervallo
15 angolare $\beta_{min} \leq \beta \leq \beta_{max}$. Tale curva è determinata considerando il diagramma di
16 radiazione del *feeder* fornito dall'Ambasciata USA per la frequenza di modalità di
17 funzionamento in ricezione dell'antenna MUOS (pari a 20.2 GHz) ed ipotizzando in via del
18 tutto cautelativa che il guadagno massimo nella direzione di massima radiazione sia pari a
19 circa 36 dB, ovvero sia pari al guadagno dichiarato per frequenza di 20.2 GHz incrementato
20 di 10 dB per tenere conto della migliore efficienza del *feeder* a frequenza maggiore.
- 21 iv) Calcolo della densità di potenza nel punto di osservazione Q posto in (x,y,z) mediante
22 l'espressione:

$$23 \quad p(x, y, z) = \frac{P}{4\pi} \frac{G(\beta(x, y, z))}{r^2}$$

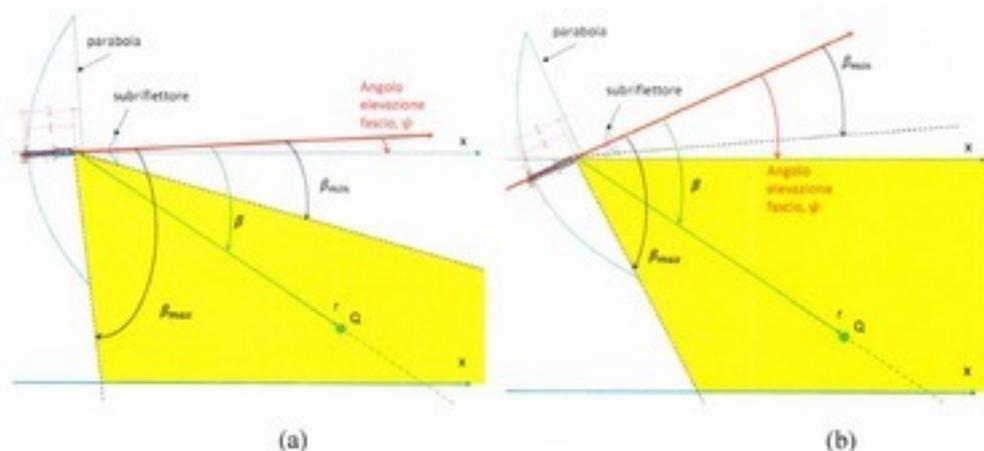
- 24 v) Calcolo dell'ampiezza del campo irradiato direttamente dal *feeder* nel punto Q posto in
25 (x,y,z) mediante l'espressione:

$$26 \quad E(x, y, z) = k_{diff} \sqrt{[120 \pi p(x, y, z)]}$$

27 dove il coefficiente $k_{diff} \geq 1$ può essere inserito in via cautelativa come fattore correttivo
28 per tenere conto di eventuali altri contributi al campo dovuti alla diffrazione principalmente
29 dai bordi del subriflettore. Si noti che, nel caso di antenne ad elevata efficienza di

1 radiazione, tali contributi vengono usualmente minimizzati in fase progettuale. Nel seguito
 2 l'analisi è condotta secondo un approccio estremamente cautelativo, considerando valori per
 3 k_{diff} variabili tra 2 e 3, il che corrisponde ad assumere che i campi diffratti dai bordi del
 4 paraboloide e del subriflettore siano pari in intensità ed in fase in ogni punto dello spazio
 5 con quelli associati alla radiazione diretta del *feeder*.

6 Un secondo codice di calcolo (FEEDER_2) è stato quindi sviluppato, in analogia al codice
 7 FASCIO_4 al fine di determinare l'effetto combinato delle due antenne MUOS in termini di
 8 campo irradiato direttamente dal *feeder* verso il terreno. Tale codice applica il modello
 9 descritto ed opera una sovrapposizione dei campi risultanti, nell'ipotesi estremamente
 10 cautelativa che tutti i contributi calcolati siano in fase in ogni punto dello spazio analizzato.
 11

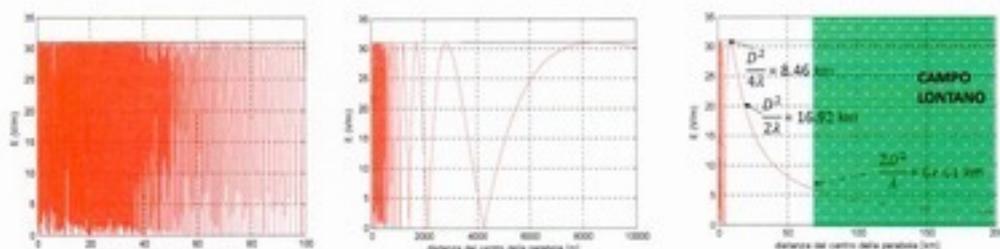


12
 13
 14 **Figura 3. Schema rappresentativo del contributo di irradiazione diretta del *feeder*: (a) MUOS**
 15 **IO con angolo di elevazione compreso tra 11.2° e 18.2°; (b) MUOS LANT con angolo di**
 16 **elevazione compreso tra 32.2° e 41.2°.**

17
 18 **2.2.1.3 Analisi e discussione dei risultati**

19 I codici di calcolo sviluppati sono stati applicati utilizzando per la modellizzazione delle antenne i
 20 dati radiometrici riportati nell'allegato 5, assumendo l'impianto funzionante alla massima potenza
 21 dichiarata, e nell'ipotesi ampiamente cautelativa (condizioni di funzionamento di idealità) di
 22 ipotizzare nulle le perdite di potenza associate al sistema stesso. Ciò allo scopo di garantire ampi
 23 margini di confidenza nel giungere a conclusioni quantitative in merito alla valutazione

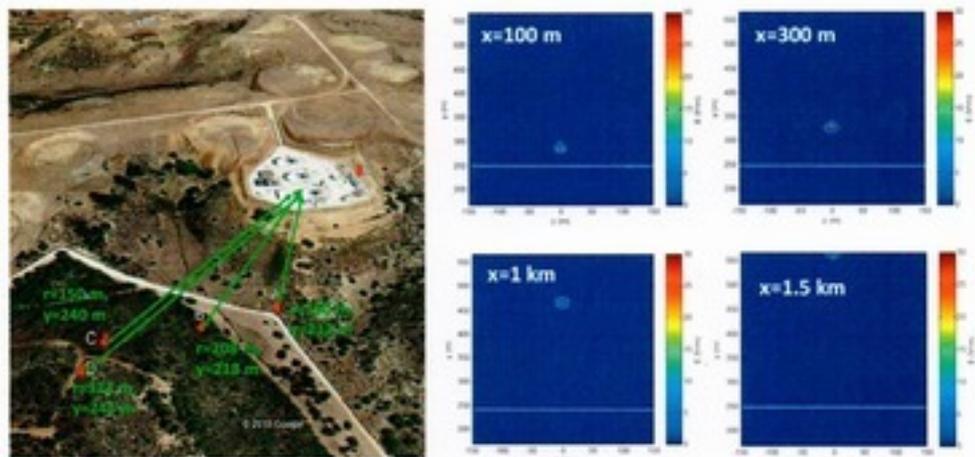
1 dell'effettiva consistenza delle emissioni di campo elettromagnetico prodotte dall'impianto nelle
 2 condizioni peggiori e alla massima potenza dichiarata di alimentazione.
 3 I calcoli del campo sono stati effettuati in posizioni ritenute significative dal Collegio, sulla base
 4 dell'analisi accurata dell'orografia dell'area circostante la base e della conoscenza delle
 5 caratteristiche radioelettriche delle antenne, considerando sull'apertura dell'antenna la potenza
 6 massima dichiarata nelle effettive condizioni di funzionamento, ovvero $P = 200 W$, l'efficienza di
 7 radiazione $\eta = 0.85$. Il valore massimo risultante del campo sull'asse è pari a $30.5 V/m$. Le figure
 8 4(a)-(c) mostrano gli andamenti del campo nelle diverse regioni di campo vicino e lontano. Il
 9 campo lontano (zona in verde nella figura 4(c)) si trova rileva a partire da oltre 67 Km dal centro
 10 della parabola: in tale regione il campo assume valori nello spazio decrescenti con la distanza dal
 11 centro della parabola e sempre inferiori a $6 V/m$ lungo i punti dell'asse del fascio. Il valore massimo
 12 di campo di $30.5 V/m$ si trova invece nella regione di campo vicino, entro la distanza di Rayleigh,
 13 fino ad una distanza di $8.46 km$ nello spazio lungo l'asse della parabola emittente. Il campo risulta
 14 fortemente oscillante nella regione di campo vicino, con una distanza media tra valori di massimo e
 15 di minimo del campo che si riduce al diminuire della distanza dalla centro della parabola. Questa
 16 analisi, tenuto conto anche che la lunghezza d'onda del campo a $30-31 GHz$ è pari a $1 cm$,
 17 suggerisce che misure selettive a banda stretta effettuate nella zona di campo vicino mediante l'uso
 18 di antenna e ricevitore, fino a distanze dai paraboloidi dell'ordine delle centinaia di metri,
 19 fornirebbero valori mediati del campo nella posizione di misura considerata.



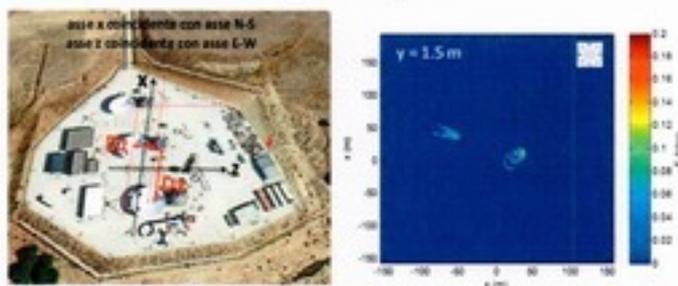
20
 21
 22 **Figura 4. (a): Andamento del campo lungo l'asse del fascio nella regione di estrema vicinanza**
 23 **alla parabola (b), nella zona di campo vicino (b) e nella zona di campo di campo lontano (zona**
 24 **in verde) (c).**

25
 less 17 C.f. PR

1 Successivamente si è proceduto al calcolo delle distribuzioni spaziali di campo nei piani (y,z) a
2 diverse distanze dalla parabola emittente e nel piano (x,z) considerando l'effetto combinato delle
3 due parabole. Si evince che alla quota di $y=1.5$ m sopra il livello del basamento dell'impianto
4 MUOS (248 m) la regione di spazio nella quale si osservano valori di campo elettrico superiori alla
5 frazione di V/m è limitata all'area della piattaforma di installazione delle antenne (circa 50 m x 50
6 m) e comunque completamente interna alla base di Niscemi (figure 5 e 6).



7
8 **Figura 5.** Mappe (y,z) del campo irradiato dall'antenna MUOS IO per angolo di elevazione
9 11.2° a diverse distanze x . A titolo esemplificativo si riporta sul territorio la posizione di punti
10 significativi, tutti posti a distanze dall'antenna MUOS comprese tra 100 m e 400 m e a quote
11 prossime a quella della piattaforma che ospita l'impianto.



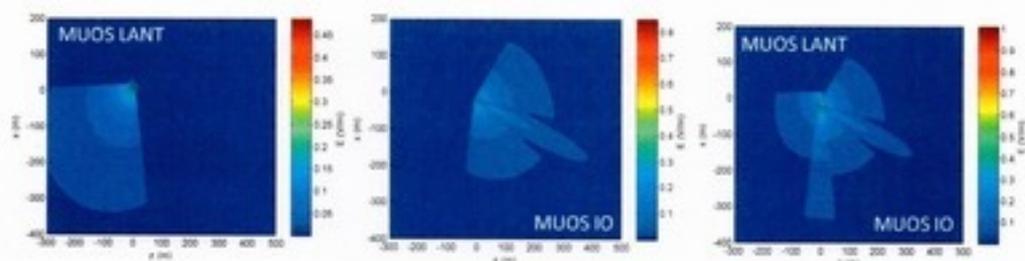
12
13 **Figura 6.** Mappa nel piano (x,z) a quota $y=1.5$ m sopra il livello del basamento dell'impianto
14 MUOS (248 m), nell'ipotesi di azione contemporanea delle antenne MUOS IO (elevazione
15 minima 11.2° e azimuth massimo di 112.7°) e MUOS LANT (elevazione minima di 32.2° e
16 azimuth minimo di 220°).

18 *[Handwritten signatures]*

1

2 Infine, è stato effettuato il calcolo del campo elettromagnetico prodotto dalla radiazione diretta del
3 *feeder* verso il terreno, tenendo anche conto degli effetti della diffrazione dal bordo del subriflettore
4 mediante l'applicazione di coefficienti correttivi definiti anch'essi nell'ottica cautelativa di
5 analizzare il caso peggiore.

6 Dall'analisi svolta risulta che nell'ipotesi di angolo di elevazione minimo (pari a 11.2° ,
7 caratteristico dell'antenna MUOS IO) a distanze tra i 100 m e i 400 m si possono predire valori di
8 campo compresi tra 0.02 V/m e 0.1 V/m. Al crescere dell'angolo di elevazione si osserva un
9 abbassamento del picco del campo nella strettissima vicinanza della parabola (entro i 50 m), ma un
10 incremento del valore del campo nell'intervallo tra circa 100 m e 400 m, fino a raggiungere valori
11 massimi di circa 0.15 - 0.2 V/m per angolo di elevazione di 32.2° , caratteristico dell'antenna MUOS
12 LANT. A titolo esemplificativo si riporta in figura 7 la mappa del campo nel piano (x,z) a $y=1.5$ m
13 sopra il livello del basamento dell'impianto MUOS, nella stessa configurazione di alimentazione
14 delle antenne mostrata in figura 6.



15

16 **Figura 7. Calcolo del campo irradiato per effetto dell'illuminazione diretta del feeder e**
17 **diffrazione dalle antenne MUOS LANT e MUOS IO attivate separatamente o**
18 **contemporaneamente.**

19

20 In sintesi, in merito all'effettiva consistenza delle emissioni di campo elettromagnetico prodotte
21 dalle antenne paraboliche dell'impianto MUOS, nell'ipotesi più cautelativa di trascurare le perdite
22 di potenza dell'impianto, si conclude quanto segue:

23 i) A distanza dalle antenne paraboliche compresa tra circa 100 m fino a circa 500 m è possibile
24 prevedere valori di campo elettromagnetico a 1.5 m da terra che al massimo possono
25 raggiungere in via cautelativa alcune frazioni di V/m (0.2 – 0.3 V/m);

- 1 ii) A distanza dalle antenne paraboliche superiore a circa 500 m è possibile prevedere valori di
2 campo elettromagnetico a 1.5 m da terra confrontabili con i valori del rumore di fondo
3 ambientale (dell'ordine di grandezza di 0.01-0.03 V/m a queste frequenze);
- 4 iii) Il valore massimo di campo elettromagnetico nello spazio si rileva lungo l'asse del fascio. Il
5 valore massimo prevedibile, stimato in via del tutto cautelativa, è pari a 30.5 V/m, fino ad
6 una distanza di circa 8.5 km a 30 GHz e a circa 8.7 km a 31 GHz dal centro della parabola e
7 lungo l'asse della stessa. Tale valore poi decresce con andamento inversamente
8 proporzionale alla distanza. Si noti che, in corrispondenza del minimo angolo di elevazione
9 di effettivo funzionamento delle parabole (11.2°), l'asse del fascio si localizza ad una quota
10 maggiore di 40 m rispetto alla quota della piattaforma sulla quale sono installate le antenne
11 per una distanza dal basamento dell'antenna di 155 m nella direzione di propagazione del
12 fascio.
- 13 iv) Il fascio prodotto dall'antenna parabolica ha forma approssimativamente cilindrica fino alla
14 distanza di circa 8.5 km dalla parabola a 30 GHz (e circa 8.7 a 31 GHz), con diametro
15 approssimativamente pari circa al diametro della parabola. Al di fuori di tale regione, il
16 campo decade molto rapidamente passando da valori prossimi a 30.5 V/m a valori inferiori a
17 1 V/m spostandosi in direzione radiale ortogonalmente all'asse del fascio di soli 3-4 m.

18 2.2.2 Antenne MUOS UHF

19 La predizione del campo irradiato dalle antenne MUOS UHF operanti nella banda di frequenze 240-
20 315 MHz sia in modalità ricevente che trasmittente, non riveste particolare criticità. Le antenne
21 UHF infatti, come già mostrato nelle precedenti relazioni allegate al fascicolo, sono caratterizzate
22 da dimensioni estese rispetto alla lunghezza d'onda, che nella banda di frequenza di utilizzo di tali
23 antenne è compresa tra 95 cm e 1.25 m. La distanza di Rayleigh ($D_R = D^2/2\lambda$) delle antenne UHF
24 e la distanza di Fraunhofer ($D_F = 2D^2/\lambda$), nella banda di frequenza di funzionamento delle antenne
25 240-315 MHz, sono rispettivamente contenute negli intervalli 6.4 - 8.4 m e 25.6 - 33.6 m. Ciò
26 suggerisce che la trattazione per l'analisi del campo elettromagnetico irradiato da tali antenne
27 all'esterno della base di Niscemi, ma anche in zone adiacenti alla piattaforma sulla quale l'impianto
28 MUOS è installato, si possa basare sull'applicazione del modello noto di campo lontano. Sulla base
29 dei dati comunicati al Collegio e sottoscritti dall'Ambasciata USA come descrittivi delle effettive
30 condizioni di funzionamento alla massima potenza, il Collegio ha ritenuto opportuno effettuare le

1 stime di campo considerando la condizione limite di assenza di perdite in linea, nell'ottica di
 2 analizzare il caso peggiore, e quindi ha assunto come valore di potenza massima irradiata dalle
 3 antenne il valore di 200 W. Nell'ipotesi di campo lontano risulta che, nella generica direzione di
 4 irraggiamento individuata dal raggio vettore r e dall'angolo θ formato tra l'asse del fascio
 5 principale e il raggio vettore r , assumendo il guadagno direttivo pari a $G(\theta)$, la densità di potenza è
 6 esprimibile come:

$$7 \quad p(r) = \frac{P}{4\pi} \frac{10^{[G(\theta)/10]}}{r^2}$$

8 e quindi l'intensità corrispondente del campo elettrico risulta:

$$9 \quad E(r, \theta) = \sqrt{120 \pi p(r)} = 10^{[G(\theta)/20]} \frac{\sqrt{30 P}}{r}$$

10 Il guadagno $G(\theta)$ è ottenuto sulla base dei dati radioelettrici delle antenne UHF e definito
 11 nell'ottica del caso peggiore nella seguente forma approssimata: 16 dB per $0 \leq \theta \leq 15^\circ$;
 12 andamento lineare decrescente tra 13 dB e 2.7 dB (corrispondente al guadagno massimo dei lobi
 13 secondari) per $15^\circ < \theta \leq 50^\circ$; 2.7 dB per $50^\circ \leq \theta$.

14 Nella direzione di massima radiazione ovvero lungo l'asse del fascio principale, per $\theta = 0$, il
 15 guadagno assume il valore massimo dichiarato di 16 dB; l'intensità del campo lontano risulta:

$$16 \quad E(r, 0) = \sqrt{120 \pi p(r)} = \frac{34.56\sqrt{P}}{r}$$

17 Considerando la potenza massima in trasmissione di 200 W, per ciascuna antenna si ottiene:

$$18 \quad E_{200}(r, 0) = \sqrt{120 \pi p(r)} = \frac{488.63}{r}$$

19 Nel caso si ipotizzi l'azione combinata e contemporanea delle due antenne, attive alla stessa
 20 frequenza e in modalità sincrona, è possibile ottenere una stima dell'ampiezza massima del campo
 21 sull'asse mediante la relazione: $E_{400}(r, 0) = \sqrt{2} E_{200}(r, 0)$.

22 Il calcolo del campo ad 1.5 m sopra la superficie del terreno è effettuato considerando anche
 23 l'effetto della riflessione del terreno che determina un incremento dell'intensità del campo: pertanto
 24 l'espressione del campo $E(r, \theta)$ è moltiplicata per un fattore $k_{rfl} \geq 1$ che è funzione delle
 25 coordinate del punto di osservazione e tiene conto della polarizzazione circolare dell'onda. Tale
 26 effetto della riflessione del terreno tende a divenire trascurabile all'aumentare della distanza
 27 dall'antenna, già per distanze superiori ad alcune centinaia di metri.

less

Ag-

M