La Comunicazione - Note, Recensioni e Notizie n. 70
Anno 2025

Analisi delle opportunità di condivisione della banda di frequenza 27.5-29.5 GHz tra sistemi terrestri e sistemi satellitari

Analysis of the spectrum sharing opportunities of the frequency band 27.5-29.5 GHz between terrestrial and satellite systems

Valeria Petrini ♦, Claudia Carciofi ♦, Manuel Faccioli ♦, Andrea Garzia♦

♦ Fondazione Ugo Bordoni

Sommario

A livello mondiale, l'evoluzione delle reti wireless coinvolge in modo sinergico sia i sistemi terrestri tradizionali che le nuove reti non terrestri e l'interoperabilità e l'eventuale integrazione tra le diverse tipologie di rete rappresenta un elemento chiave per l'erogazione dei servizi previsti dai futuri sistemi di comunicazione basati sulla tecnologia 6G. Con la crescente domanda di spettro la condivisione e la coesistenza delle risorse frequenziali inter-sistema, e tra diverse applicazioni di radiocomunicazione, sta diventando una condizione sempre più diffusa. In questo articolo viene analizzata la condivisione delle risorse frequenziali nella banda 27.5-29.5 GHz tra i sistemi terrestri del servizio fisso (FS) e del sistema fisso satellitare (FSS). In particolare, nel lavoro presentato viene illustrata la metodologia per la valutazione delle condizioni di coesistenza tra i sistemi FS e FSS e vengono derivati i requisiti tecnici per la condivisione dello spettro nella banda 27.5-29.5 GHz tra il servizio fisso terrestre operante tramite collegamenti punto-multipunto e le stazioni di terra del servizio fisso satellitare. La metodologia che viene utilizzata nell'analisi per valutare le condizioni di coesistenza è generale e può essere facilmente estesa e utilizzata per lo studio di altri scenari di condivisione dello spettro, sia tra reti terrestri che tra reti terrestri e non terrestri.

Abstract

Globally, the evolution of wireless networks synergistically involves both traditional terrestrial systems and new non-terrestrial networks. The interoperability and possible integration between different types of networks represents a key element for the provision of services foreseen by future communication systems based on 6G technology. With the increasing

demand for spectrum, the inter-system sharing of frequency resources and between different radiocommunication applications is becoming an increasingly widespread condition.

This article analyzes the sharing of frequency resources in the 27.5–29.5 GHz band between terrestrial systems of the Fixed Service (FS) and the Fixed Satellite Service (FSS).

Specifically, the presented work illustrates the methodology for evaluating the coexistence conditions between FS and FSS systems. Technical conditions are derived for spectrum sharing in the 27.5–29.5 GHz band between the terrestrial Fixed Service, operating via point-to-multipoint links, and the earth stations of the Fixed Satellite Service. The methodology used in the analysis to evaluate the coexistence conditions is general and can be easily extended and used for the study of other spectrum sharing scenarios, both between terrestrial networks and between terrestrial and non-terrestrial networks.

Keyword

Spectrum sharing, terrestrial, satellite, sharing conditions.

1 - Introduzione

Per soddisfare i requisiti in termini di copertura, capacità ed esperienza d'utente delle differenti applicazioni 6G emergenti e dei nuovi casi d'uso e scenari di utilizzo, l'interoperabilità tra reti terrestri e non terrestri rappresenta un elemento sempre più importante. L'evoluzione congiunta e l'interoperabilità tra le reti terrestri IMT e non IMT (inclusi i sistemi RLAN e broadcast) e le reti non terrestri, inclusi i sistemi di comunicazione satellitare, gli HIBS (stazioni di piattaforma ad alta quota come stazioni base IMT) e i sistemi aerei senza pilota (UAS), sono considerati elementi chiave per fornire i servizi previsti dalle future reti 6G.

Anche l'RSPG report sulla visione strategica per la futura tecnologia 6G [1], in cui identifica le esigenze di spettro per facilitare il lancio iniziale e l'operatività delle reti/servizi 6G a partire dal 2030, riconosce che il 6G dovrebbe basarsi sull'evoluzione congiunta e sull'interoperabilità

delle reti terrestri e non terrestri per sfruttare le caratteristiche più vantaggiose dei sistemi non terrestri, in particolare satellitari e dei sistemi terrestri.

Nel panorama delle reti non terrestri, le comunicazioni satellitari stanno vivendo una rapida evoluzione, spinta sia dal progresso tecnologico sia dal numero crescente di reti satellitari che dalla fornitura di nuovi servizi anche attraverso nuovi paradigmi di comunicazione.

La componente satellitare del 6G si baserà su un'ampia varietà di soluzioni satellitari, operanti non solo nelle costellazioni in Orbita Terrestre Bassa (LEO), ma anche in Orbita Terrestre Media (MEO) e in Orbita Terrestre Geostazionaria (GEO), sia come piattaforme autonome che in modalità combinate.

L'agenda della Conferenza Mondiale delle Radiocomunicazioni 2027 (WRC-27) ha identificato 19 punti da trattare per la WRC-27, 16 dei quali riguardano i servizi satellitari che includono servizi come il Fisso-Satellite (FSS), Mobile-Satellite (MSS) e servizi scientifici spaziali.

I servizi forniti dalle comunicazioni Direct-to-Device (D2D) stanno conquistando sempre più l'interesse internazionale. Le comunicazioni D2D sono pensate per estendere la connettività mobile alle aree remote o scarsamente servite, consentendo agli smartphone di connettersi direttamente ai satelliti, nelle bande di frequenza MSS o MFCN. Il punto 1.13 dell'agenda della WRC-27 [2] prevede di considerare studi su possibili nuove allocazioni al servizio mobile-satellite per la connettività diretta tra stazioni spaziali e apparecchiature utente IMT per integrare la copertura della rete IMT terrestre considerando le bande IMT fino a 2.7 GHz.

A novembre 2025, la Commissione Europea ha conferito alla CEPT il mandato che riguarda lo svolgimento degli studi di fattibilità operativa, coesistenza e compatibilità considerando l'uso delle bande di frequenza armonizzate a livello UE per sistemi IMT, per sistemi satellitari che forniscano connettività D2D-IMT, garantendo la protezione degli usi esistenti.

Anche a livello nazionale sono state svolte azioni per promuovere e regolare lo sviluppo delle reti satellitari sul territorio nazionale. Lo scorso giugno è stato infatti approvato il disegno di legge concernente le "Disposizioni in materia di economia dello spazio", definendo un nuovo e organico quadro regolamentare per l'accesso e lo svolgimento delle attività spaziali

prevedendo anche iniziative per l'uso efficiente dello spettro radioelettrico per comunicazioni via satellite.

La delibera 426/21/CONS [3] nell'ambito del parere al Ministero dello Sviluppo Economico (MISE), sulle condizioni regolamentari per l'autorizzazione della proroga della durata dei diritti d'uso per le reti FS WLL (Wireless Local Loop) nella banda 27.5-29.5 GHz (la cosiddetta banda 28 GHz), definisce le procedure di coordinamento tra le stazioni di terra satellitari FSS e le stazioni del servizio fisso FS. La banda 28 GHz fa parte della banda Ka (18-40 GHz): l'espansione dei sistemi satellitari sia GSO che NGSO in questa gamma di frequenze sia in Europa che a livello nazionale sta rendendo sempre più concreta la coesistenza delle reti terrestri e non terrestri in questa banda di frequenza e quindi sempre più importante lo studio e la valutazione delle condizioni tecniche per la condivisione dello spettro su base di non interferenza tra sistemi terrestri e non terrestri operanti nella banda.

In questo articolo, viene analizzata la coesistenza tra reti terrestri e non terrestri nella banda a 28 GHz.

2 – Condivisione dello spettro nella banda di frequenza 28 GHz

La banda a 28 GHz è assegnata su base co-primaria, come definito nell'articolo 5 del Regolamento Radio dell'Unione Internazionale delle Telecomunicazioni (ITU) [9] al servizio fisso (FS), al servizio fisso via satellite Terra-spazio (FSS E-s) e al servizio mobile (MS). In Europa, il quadro armonizzato per l'uso della banda di frequenza a 28 GHz considera solo le stazioni terrestri FS e FSS E-s non coordinate (ovvero la direzione di uplink), come stabilito nella Decisione ECC (05)01 [4]. Inoltre, la Tabella di Allocazione Europea (ECA), il Report ERC 025 [5], ha identificato la banda di frequenza a 28 GHz per i servizi co-primari FS e FSS E-s. L'ECA non prevede alcuna allocazione al servizio mobile, pertanto in Europa non è disponibile per la telefonia mobile o il 5G.

La Decisione ECC (05)01 fornisce un quadro normativo per l'utilizzo della banda di frequenza a 28 GHz attraverso la designazione di sotto-intervalli di frequenza specifici per le stazioni terrestri FS e FSS non coordinate. Nonostante la segmentazione di banda definita, la Decisione

ECC (05)01 sottolinea che "le stazioni terrestri FSS coordinate possono comunque utilizzare l'intera banda 27.5-29.5 GHz, seguendo procedure di coordinamento consolidate".

In questo contesto, abbiamo condotto un'indagine per valutare le condizioni tecniche di coesistenza tra stazioni terrestri FS e FSS coordinate (NGSO) in grado di operare su base co-canale nella banda di frequenza 27.5-29.5 GHz. In particolare, in Italia il servizio FSS opera tramite la tecnologia WLL con collegamenti Punto-Punto (P-P) e Punto-Multi-Punto (P-MP). Questo scenario di coesistenza è di notevole interesse perché la connettività spaziale diventerà sempre più importante, con un numero sempre crescente di operatori satellitari che offrono una gamma di servizi nello spettro dei 28 GHz utilizzando sia gateway di stazioni terrestri NGSO che gateway GSO.

Per garantire l'assenza di interferenza, è necessario studiare quali siano le condizioni di coesistenza che garantiscono la protezione reciproca di entrambi i sistemi. In questo lavoro è stata applicata una metodologia sviluppata per valutare le condizioni di coesistenza che garantiscono il soddisfacimento dei requisiti di protezione dei sistemi FS sia Punto-Punto (P-P) che Punto-Multi-Punto (P-MP).

In [6], sono stati identificati gli scenari di coesistenza tra le stazioni di terra FSS e i links FS operanti nella banda 27.5–29.5 GHz e sono state valutate le condizioni di coesistenza tra il sistema FSS E-S e il sistema FS WLL P-P. In [7], la metodologia già sviluppata per lo studio di coesistenza tra sistemi FSS E-S (GSO) e sistemi FS WLL P-P è stata estesa e adattata allo scenario di coesistenza tra i sistemi FSS E-S (GSO) e i sistemi FS WLL P-MP. In questo articolo, la stessa metodologia è stata applicata alla valutazione della coesistenza tra i sistemi FSS E-S (NGSO) e i sistemi FS P-MP.

3- Scenario di coesistenza, metodologia e parametri di simulazione

3.1 Scenario di coesistenza e metodologia

Lo scenario di coesistenza che verrà analizzato in questo lavoro è mostrato in Figura 1 e prevede la valutazione delle condizioni di coesistenza tra i sistemi FSS E-S (NGSO) che

rappresenta il sistema interferente e i sistemi FS P-MP che rappresenta il sistema vittima per il quale deve essere garantita la protezione.

Le stazioni di terra del servizio FSS E-S (NGSO) si suppone operino, per le valutazioni del segnale interferente, con il diagramma verticale puntato con il massimo guadagno verso l'elevazione minima e che questo diagramma venga riprodotto per ogni angolo di azimut.

I sistemi WLL P-MP permettono la connessione di una stazione centrale (CS) a diverse stazioni terminali (TS), consentendo così di fornire servizi wireless a banda larga. Nell'analisi di coesistenza tra la stazione di terra FSS e il collegamento P-MP, deve essere garantita la protezione sia della CS che della TS. Le condizioni di coesistenza finali tengono conto dei risultati congiunti delle due analisi, considerando che la protezione della TS deve essere valutata su tutte le posizioni (pixel) dell'area di copertura del servizio FS in cui si ipotizza la presenza di un ricevitore P-MP che punta verso la CS servente. Nelle analisi svolte è stata ipotizzata:

1. una distanza tra la CS e la stazione di terra FSS di 3 km
2. un'area di copertura del link P-MP di raggio 4.5 km segmentata in pixel 100 m x 100 m.

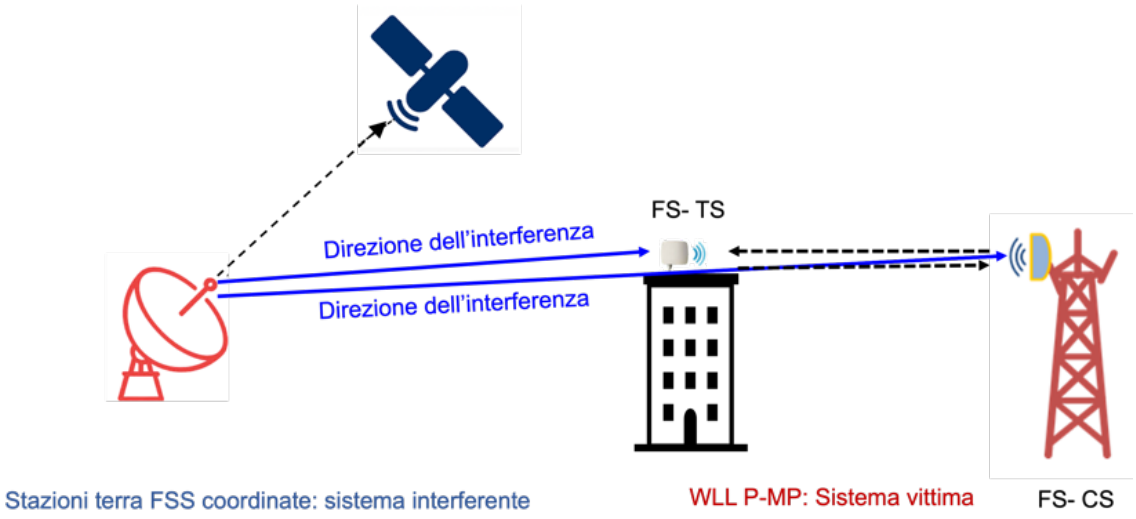

Figura 1 *Scenario di coesistenza: FSS E-S sistema interferente e FS P-MP sistema vittima*

La metodologia adottata per valutare l'interferenza sui collegamenti P-MP FS dovuta alle stazioni terrestri FSS si basa sull'approccio Minimum Coupling Loss (MCL) [8-9], tenendo conto del criterio di protezione per i sistemi FS a lungo termine basato sul rapporto I/N (rapporto interferenza/rumore). Il rapporto I/N in dB viene valutato con la seguente formula:

$$I/N\ (\Delta f, d, \vartheta_1, \vartheta_2) = P_t + A_{tt}(\Delta f) + G_t(\vartheta_1) + G_r(\vartheta_2) - PL(d) - N$$

Nella formula, P_t rappresenta la potenza trasmessa (dBm) dall'interferente che nello scenario analizzato è rappresentato dalla stazione terrestre FSS E-S; Δf è la separazione di frequenza (in MHz) tra la frequenza portante dell'interferente e quella del sistema vittima; $A_{tt}(\Delta f)$ è l'attenuazione dovuta alla separazione frequenziale dell'interferente e dell'interferito che deve essere calcolata in base alla larghezza di banda dei sistemi; $G_t(\vartheta_1)$ e $G_r(\vartheta_2)$ sono, rispettivamente, i guadagni (dBi) dell'antenna interferente FSS all'angolo ϑ_1 e dell'antenna FS WLL CS/TS vittima all'angolo ϑ_2 tra il sito del sistema interferente e il sito del sistema vittima; PL(d) è l'attenuazione della perdita di percorso (dB) dovuta alla propagazione lungo la distanza d (km); N è il livello di rumore (dBm) del ricevitore vittima. In questo articolo è stata studiata l'identificazione delle condizioni tecniche per garantire la coesistenza tra i sistemi FSS E-S (NGSO) e FS WLL P-MP, analizzando lo scenario di coesistenza co-canale (ovvero, $A_{tt}(\Delta f) = 0$ dB).

3.2 Parametri di simulazione

Le caratteristiche tecniche del trasmettitore FSS, del ricevitore FS CS e TS utilizzati nelle simulazioni sono riportate rispettivamente nella Tabella 1, nella Tabella 2 e nella Tabella 3.

Tabella 1. Parametri di simulazione del sistema FSS E-S

Caratteristiche dalla stazione FSS E-S nella banda 27.5-29.5 GHz	
Guadagno antenna	52.44 dB
Altezza antenna	2 m
Diametro dell'antenna	1.8 m
Elevazione dell'antenna	10°-20°-30°-40°
Larghezza di banda	320 MHz
Potenza trasmessa	7.2 dBW

Tabella 2. Parametri di simulazione del sistema FS CS

Caratteristiche dalla stazione FS CS nella banda 27.5-29.5 GHz	
Guadagno antenna	27 dB
Altezza antenna	15 m
Elevazione dell'antenna	0°-2.5°
Azimut dell'antenna	0°-5°-10°-15°-180°
Larghezza di banda	28 MHz
Figura di rumore	6.5 dB
I/N max	-10 dB [10]

Tabella 3. Parametri di simulazione del sistema FS TS

Caratteristiche dalla stazione FS TS nella banda 27.5-29.5 GHz	
Guadagno antenna	42 dB
Altezza antenna	15 m
Larghezza di banda	28 MHz
Figura di rumore	6.5 dB
I/N max	-10 dB [10]

Il diagramma di antenna della stazione di terra trasmittente FSS segue la Raccomandazione ITU-R S.465-6 [11] ed è mostrato in Figura 2.

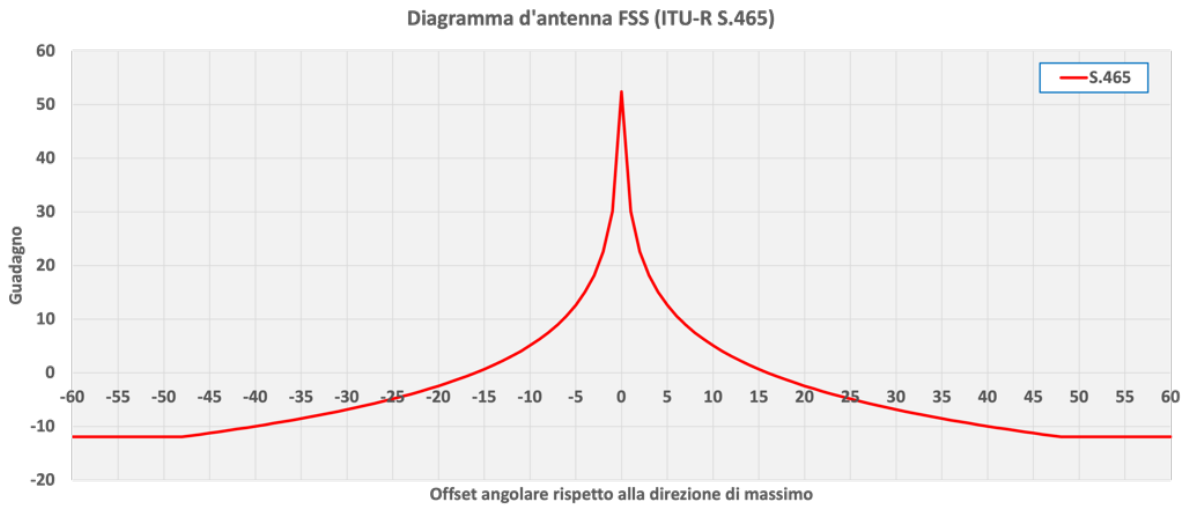

***Figura 2**– Diagramma d'antenna della stazione di terra FSS trasmittente*

La Figura 3 mostra il diagramma di antenna del FS TS ricevente che segue la Raccomandazione ITU-R F.699-8 [12] e la Figura 4 mostra il diagramma di antenna del FS CS ricevente che segue la Raccomandazione ITU-R F.1336-5 [13].

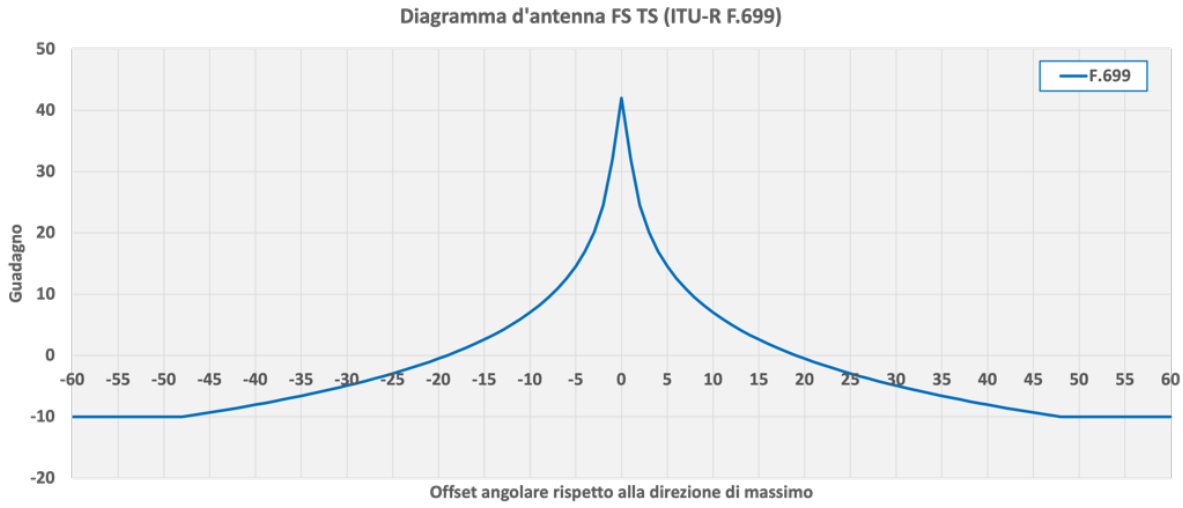

***Figura 3**– Diagramma d'antenna della stazione FS TS ricevente*

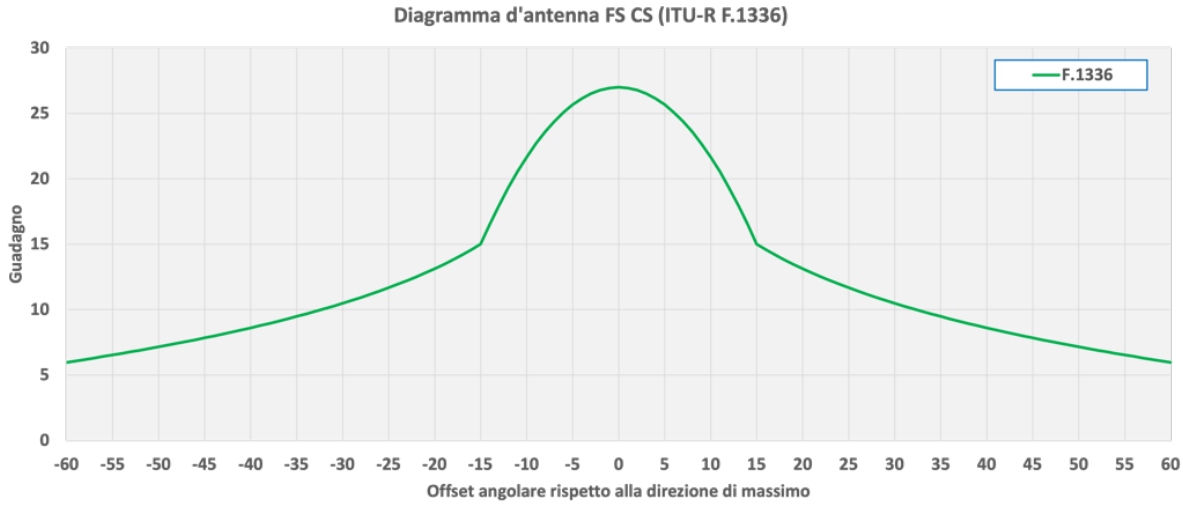

***Figura 4**– Diagramma d'antenna della stazione FS CS ricevente*

Il modello di propagazione utilizzato nelle simulazioni si basa sulla Raccomandazione ITU-R P.452-17 [14] al 20% del tempo (ovvero, l'interferenza è caratterizzata come la potenza di interferenza superata del 20% del tempo all'ingresso del ricevitore vittima) che rappresenta la percentuale di tempo per la protezione del sistema FS definita in [10]. Tale raccomandazione è utilizzata anche per la valutazione dell'effetto del *clutter* ambientale che viene caratterizzato tramite un modello definito in [14]. Nell'analisi svolta, la stazione di terra FSS e il link P-MP sono stati considerati installati in un ambiente reale, in cui la stazione FSS è installata in ambiente rurale e la CS del servizio FS in ambiente urbano denso. Questo modello

di propagazione è comunemente utilizzato a livello internazionale per studi di coesistenza (ad esempio, [9, 15, 16]). Per ciascun ricevitore CS e TS, viene valutato il rapporto I/N e il valore ottenuto viene confrontato con la soglia di protezione (I/N max). Questa metodologia è solitamente utilizzata a livello ITU e CEPT per la valutazione delle condizioni tecniche di coesistenza tra sistemi diversi. Per effettuare le analisi di simulazione, questa metodologia è stata implementata nel tool per le valutazioni di coesistenza proprietario della Fondazione Ugo Bordoni (FUB) che viene utilizzato in molti progetti, sia a livello nazionale che internazionale, commissionati alla FUB dall'Amministrazione italiana, in particolare dal Ministero delle Imprese e del Made in Italy (MIMIT).

4 – Risultati dell'analisi di coesistenza

I risultati delle analisi presentati in questa sezione valutano l'impatto della trasmissione FSS sui ricevitori FS (CS e TS). I risultati degli studi sono presentati come segue:

A. Valutazione dell'impatto interferenziale del sistema FSS sulla CS al variare dell'offset dell'azimut tra la CS e la stazione di terra FSS (0°-5°-10°-15°-180°), dell'elevazione della CS (0° e 2.5°) e della stazione di terra FSS.
B. Valutazione dell'impatto interferenziale del sistema FSS sulle TS al variare dell'elevazione della stazione di terra FSS.

4.1 Analisi dell'impatto interferenziale sulla CS al variare dell'offset dell'azimut tra CS e stazione di terra FSS e dell'elevazione della CS

Nella Tabella 4 e nella Tabella 5 viene mostrato l'impatto interferenziale della stazione di terra FSS in termini di I/N sulla CS del sistema FS al variare dell'offset dell'azimut tra CS e la stazione di terra FSS e considerando un'elevazione per la stazione di terra FSS di 10°, 20°, 30° e 40° e un valore dell'elevazione della CS rispettivamente di 0° e di 2.5°.

Tabella 4. I/N valutato alla CS al variare dell'offset dell'azimut tra CS e stazione di terra FSS e dell'elevazione della stazione di terra FSS considerando un'elevazione della CS = 0°

I/N [dB]	Offset azimut CS-FSS				
	0°	5°	10°	15°	180°
Elevazione FSS = 10°	-26.9	-28.2	-32.1	-38.4	-59.1
Elevazione FSS = 20°	-35.5	-36.8	-40.7	-46.9	-67.7
Elevazione FSS = 30°	-40.3	-41.5	-45.5	-51.7	-72.5
Elevazione FSS = 40°	-43.5	-44.8	-48.7	-55	-75.7

Tabella 5. I/N valutato alla CS al variare dell'offset dell'azimut tra CS e stazione di terra FSS e dell'elevazione della stazione di terra FSS considerando un'elevazione della CS = 2.5°

I/N [dB]	Offset azimut CS-FSS				
	0°	5°	10°	15°	180°
Elevazione FSS = 10°	-30.4	-31.6	-35.6	-39.2	-59
Elevazione FSS = 20°	-38.9	-40.3	-44.2	-47.8	-67.6
Elevazione FSS = 30°	-43.7	-45	-48.9	-52.5	-72.4
Elevazione FSS = 30°	-47	-48.3	-52.2	-55.8	-75.7

Come si può vedere dalle tabelle, l'impatto interferenziale sulle CS dovuto alla stazione interferente FSS è molto inferiore al valore di I/N di protezione per il servizio FS (I/N = -10 dB) in tutte le configurazioni considerate.

4.2 Analisi dell'impatto interferenziale sulle TS al variare dell'elevazione della stazione di terra FSS

La Figura 5 e la Figura 6 mostrano l'impatto interferenziale sulle TS distribuite all'interno dell'area di copertura della CS al variare dell'elevazione della stazione FSS considerando un offset dell'azimut tra CS e stazione di terra FSS pari a 0°. Nella Figura 5 e nella Figura 6, il cerchio rosso indica dove si trova la stazione di terra FSS e la freccia blu dove è installata la CS.

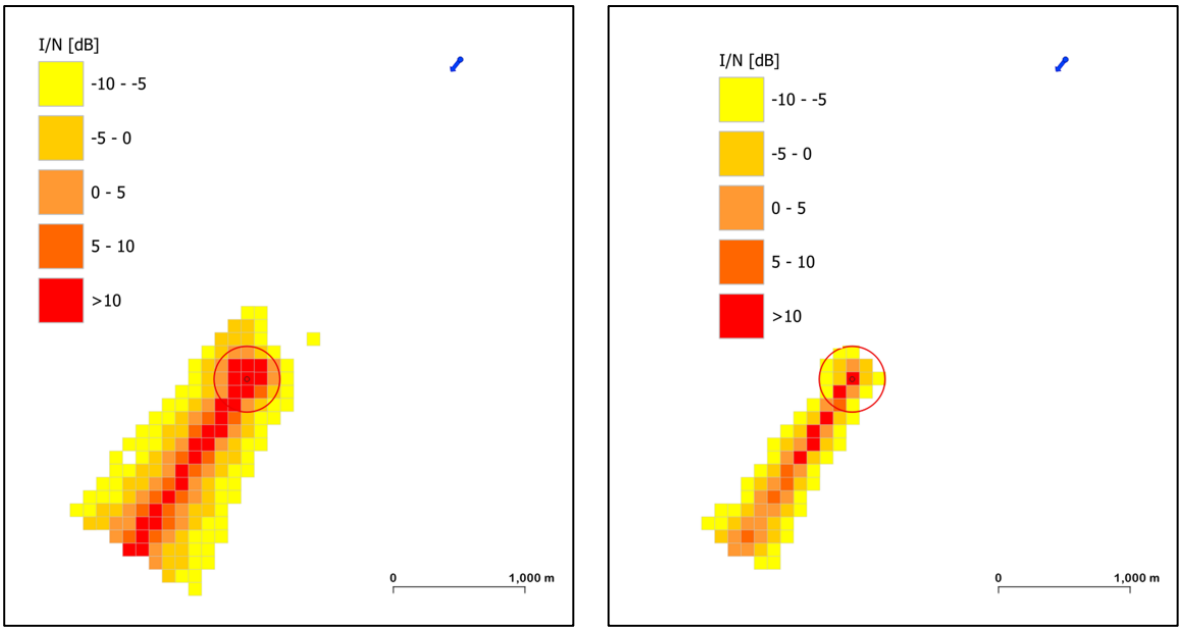

Figura 5 *Impatto interferenziale dovuto alla stazione di terra FSS sulle TS distribuite sull'area di copertura della CS considerando elevazione FSS = 10° (immagine a sinistra) ed elevazione FSS = 20° (immagine a destra)*

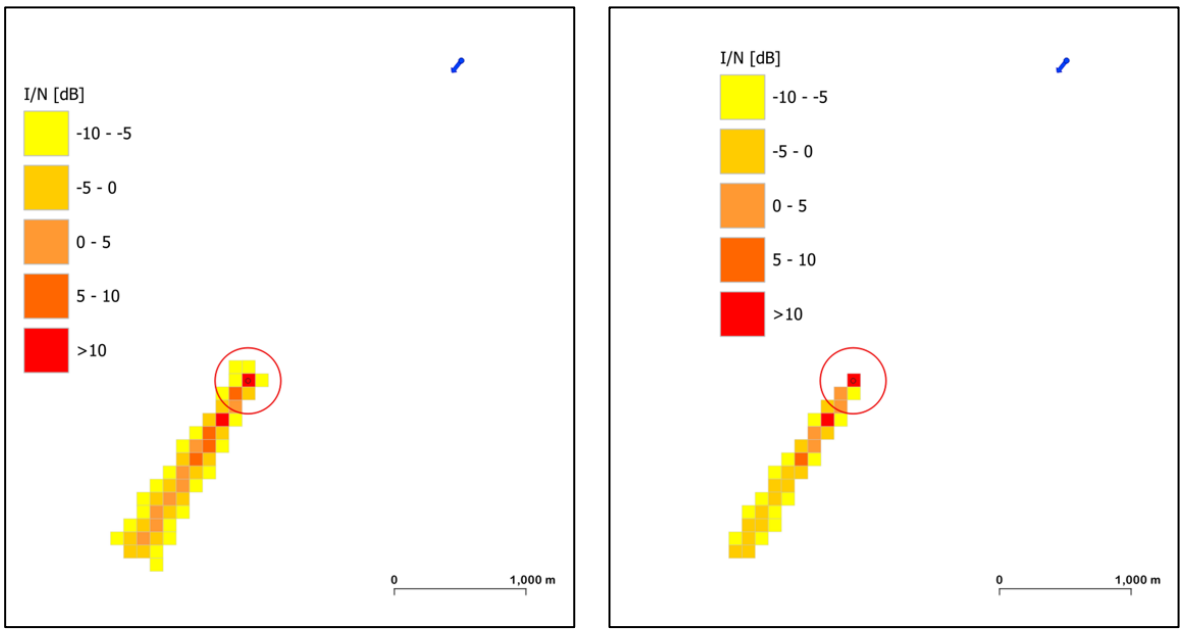

Figura 6 *Impatto interferenziale dovuto alla stazione di terra FSS sulle TS distribuite sull'area di copertura della CS considerando elevazione FSS = 30° (immagine a sinistra) ed elevazione FSS = 40° (immagine a destra)*

Nella Tabella 6 viene mostrata la percentuale di TS interferiti per un settore FS al variare dell'elevazione della stazione di terra FSS e dell'offset dell'azimut tra CS e stazione di terra FSS e considerando l'elevazione della CS pari a 0°.

Tabella 6. I/N valutato alla CS e percentuale di TS interferiti per un settore FS al variare dell'elevazione FSS e dell'offset dell'azimut tra CS e stazione di terra FSS.

Offset azimut CS-FSS	Elevazione FSS	I/N CS	% TS interferiti
0°	10°	-26.9 dB	**65.2 %**
5°	10°	-28.2 dB	**50.2 %**
10°	10°	-32.1 dB	**27.8 %**
15°	10°	-38.4 dB	**4.9 %**
180°	10°	-59.1 dB	**12.7 %**
0°	20°	-35.5 dB	**30.7 %**

Offset azimut CS-FSS	Elevazione FSS	I/N CS	% TS interferiti
5°	20°	-36.8 dB	**26.6 %**
10°	20°	-40.7 dB	**5.6 %**
15°	20°	-46.9 dB	**0 %**
180°	20°	-67.7 dB	**0 %**
0°	30°	-40.3 dB	**19.5 %**
5°	30°	-41.5 dB	**19.5 %**
10°	30°	-45.5 dB	**0.4 %**
15°	30°	-51.7 dB	**0 %**
180°	30°	-72.5 dB	**0 %**
0°	40°	-43.5 dB	**12.7 %**
5°	40°	-44.8 dB	**12.7 %**
10°	40°	-48.7 dB	**0 %**
15°	40°	-55 dB	**0 %**
180°	40°	-75.7 dB	**0 %**

Come mostrato nella Tabella 6, la percentuale di TS interferite nell'area di copertura di un settore FS diminuisce aumentando l'elevazione della stazione di terra FSS e aumentando l'offset dell'azimut tra stazione di terra FSS e CS FS. Nel caso di elevazione della stazione di terra FSS pari a 10° e offset pari a 180°, il numero di TS interferiti aumenta rispetto agli offset compresi tra 0° e 15° in quanto in questa configurazione l'elevazione della stazione FSS è molto bassa e le TS presentano il puntamento diretto verso la stazione FSS.

5 – Conclusioni

Questo articolo analizza la coesistenza tra i sistemi FSS NGSO E-S e i sistemi FS P-MP operanti nella banda 27.5-29.5 GHz. Per valutare la coesistenza tra una stazione di terra FSS e un collegamento FS P-MP il criterio di protezione deve essere soddisfatto sia al ricevitore CS che ai TS operanti nell'area di servizio della CS FS. Sono stati mostrati alcuni esempi dei risultati ottenuti con il tool di condivisione FUB, considerando l'effetto della trasmissione del sistema FSS sui ricevitori CS e TS del servizio fisso.

L'analisi dell'impatto interferenziale legato alla variazione delle configurazioni dei sistemi FSS ed FS consente di comprendere quanto il ricevitore FS sia sensibile alle variazioni dei parametri di configurazione del servizio fisso satellitare al fine, eventualmente, di ottimizzare i parametri di deployment per facilitare la coesistenza tra i due sistemi.

I risultati mostrano che per le configurazioni considerate non emergono problemi di coesistenza con la CS. A seconda delle configurazioni considerate di elevazione della stazione FSS ed offset tra la stazione FSS e la stazione FS, il numero di TS interferiti diminuisce aumentando l'elevazione della stazione di terra FSS e aumentando l'offset dell'azimut tra stazione di terra FSS e CS FS. Nel caso di elevazione della stazione di terra FSS pari a 10° e offset pari a 180°, il numero di TS interferiti aumenta rispetto agli offset compresi tra 0° e 15° in quanto in questa configurazione l'elevazione della stazione FSS è molto bassa e le TS presentano il puntamento diretto verso la stazione FSS. Ciò è dovuto, inoltre, al diagramma di antenna delle TS che risulta essere molto direttivo. L'analisi condotta mira a fornire indicazioni generali utili agli operatori e alle amministrazioni per coordinare lo sviluppo delle reti. Situazioni simili in termini di parametri dei sistemi ma riferite a differenti scenari possono portare a risultati anche molto diversi in funzione dell'orografia presente.

9 - Bibliografia

[1] RSPG Report, "6G Strategic vision", February 2025

[2] https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rcpm/Pages/wrc-27-studies.aspx

[3] Delibera 426/21/CONS, "Parere al Ministero dello sviluppo economico sulle condizioni regolamentari per l'autorizzazione della proroga della durata dei diritti d'uso esistenti per reti radio a larga banda WLL nella banda 27.5-29.5 GHz e valutazione delle istanze presentate"

[4] ECC Decision(05)01, "The use of the band 27.5-29.5 GHz by the Fixed Service and uncoordinated Earth stations of the Fixed-Satellite Service (Earth-to-space)", March 2013

[5] ERC report 025, "THE EUROPEAN TABLE OF FREQUENCY ALLOCATIONS AND APPLICATIONS IN THE FREQUENCY RANGE 8.3 kHz to 3000 GHz (ECA TABLE)", November 2025

[6] Petrini, V.; Carciofi, C.; Faccioli, M.; Neri, A. Coexistence Analysis Between Terrestrial and Non Terrestrial Networks in the 27.5–29.5 GHz Frequency Band; European Wireless : 2023 (https://ieeexplore.ieee.org/document/10461443)

[7] Petrini, V.; Carciofi, C.; Faccioli, "Spectrum Sharing Opportunities for 6G Terrestrial and Non-Terrestrial Networks", Engineering proceedings, 2025

[8] ERC Report 101, "A comparison of the Minimum Coupling Loss method, Enhanced Minimum Coupling Loss and the Monte-Carlo simulation", May 1999. (https://docdb.cept.org/download/2205)

[9] ECC Report 304, "Advanced technologies for fixed GSO FSS Earth Stations in the 27.5-29.5 GHz band", October 2019. (https://docdb.cept.org/download/1401)

[10] Recommendation ITU-R F.758-7 (11/2019). System Parameters and Considerations in the Development of Criteria for Sharing or Compatibility Between Digital Fixed Wireless Systems in the Fixed Service and Systems in Other Services and Other Sources of Interference; ITU Publications: Geneva, Switzerland, 2019.

[11] Recommendation ITU-R S.465-6 (01/2010). Reference Radiation Pattern for Earth Station Antennas in the Fixed-Satellite Service for Use in Coordination and Interference Assessment in the Frequency Range from 2 to 31 GHz; ITU Publications: Geneva, Switzerland, 2010.

[12] Recommendation ITU-R F.699-8 (01/2018). In Reference Radiation Patterns for Fixed Wireless System Antennas for Use in Coordination Studies and Interference Assessment in the Frequency Range from 100 MHz to 86 GHz; ITU Publications: Geneva, Switzerland, 2018.

[13] Recommendation ITU-R F.1336-5 (01/2019). Reference Radiation Patterns of Omnidirectional, Sectoral and Other Antennas for the Fixed and Mobile Services for Use in Sharing Studies in the Frequency Range from 400 MHz to About 70 GHz; ITU Publications: Geneva, Switzerland, 2019.

[14] Recommendation ITU-R P.452-17 (07/2015). Prediction Procedure for the Evaluation of Interference Between Stations on the Surface of the Earth at Frequencies Above About 0.1 GHz; ITU Publications: Geneva, Switzerland, 2015.

[15] ECC Report 271, “Compatibility and sharing studies related to NGSO satellite systems operating in the FSS bands 10.7-12.75 GHz (space-to-Earth) and 14-14.5 GHz (Earth-to-space)”, approved January 2018, amended April 2021.

[16] ECC Report 303 “Guidance to administrations for Coexistence between 5G and Fixed Links in the 26 GHz band (“Toolbox”)”.