

## **Metodologie e strumenti previsionali per l'uso efficiente e condiviso dello spettro**

### ***Methodologies and tools for the efficient and shared use of the spectrum***

C. Carciofi ♦, M. Faccioli ♦, M. Folli ♦, V. Petrini ♦, S. Valbonesi ♦

♦ Fondazione Ugo Bordoni

#### **Sommario**

La condivisione e la coesistenza di servizi diversi nelle stesse bande è un fattore chiave per un uso efficiente dello spettro per gli attuali sistemi 5G e 6G di prossima generazione. L'uso condiviso dello spettro è uno strumento per facilitare l'adozione di sistemi 5G e 6G per applicazioni verticali, compreso il supporto di reti geografiche locali. Per affrontare le problematiche derivanti dalla condivisione dello spettro da parte di diversi servizi e tecnologie, devono essere considerati molti aspetti, tra cui la definizione di criteri per un uso equo, le condizioni tecniche per garantire la qualità del servizio dei sistemi esistenti e di quelli nuovi entranti nonché gli strumenti di supporto per l'identificazione e la verifica delle condizioni di coesistenza in diversi scenari operativi. L'articolo descrive uno strumento software proprietario sviluppato da FUB per le analisi di coesistenza utilizzato sia per studi scientifici che in supporto ad attività tecniche e normative a livello nazionale e internazionale che consente di analizzare diverse bande di frequenza (es. 700 MHz, 2.3-2.4 GHz, 3.4 -3.8 GHz, 26 GHz) e di valutare le condizioni di condivisione tra i sistemi 4G e 5G e diversi servizi incumbent (es. Servizio Fisso - FS, Servizio Fisso Satellite - FSS). L'articolo presenta l'applicazione del tool FUB in diversi ambienti (indoor e outdoor) al fine di identificare le condizioni di coesistenza per diversi scenari di copertura 5G, tenendo conto dei vincoli di protezione dovuti ai servizi incumbent e delle possibili tecniche di mitigazione delle interferenze, tra cui l'utilizzo di antenne 5G AAS.

## **Abstract**

Sharing and coexistence of different services in the same bands is a key enabler for efficient use of spectrum for current 5G and next generation 6G systems. The shared use of spectrum should facilitate the adoption of 5G and 6G systems for vertical applications including the support of local geographical networks. In order to tackle the huge problems arising from spectrum sharing by different services and technologies and for a number of different applications, many aspects have to be considered, ranging from the definition of criteria for equitable use, to technical conditions relevant for preserving quality of service among stakeholders and eventually the supporting tools for the analysis of the different options and case studies. As an applied model to real-world experiences, the paper describes the FUB support to the Italian administration in order to perform coexistence studies, based on a proprietary software sharing tool which considers different frequency bands (e.g. 700 MHz, 2.3-2.4 GHz, 3.4-3.8 GHz, 26 GHz) and identifies sharing conditions between 4G and 5G systems and different incumbent users (e.g. Fixed Service - FS, Fixed Satellite Service - FSS). The paper presents the application of the sharing tool developed by FUB in different scenarios for both research and regulatory support. Spectrum sharing in different bands and environments (indoor and outdoor) is addressed to identify coexistence conditions for different 5G networks coverage scenarios taking into account sharing constraints due to incumbent users and possible interference mitigation techniques deriving from the usage of 5G beamforming antenna systems.

## **1 - Introduzione**

In Europa sono state identificate un certo numero di bande pioniere per fornire servizi 5G. Queste bande offrono un mix di spettro al di sotto dei 6 GHz e nella regione delle onde millimetriche (mm-wave) al fine di fornire un'ampia gamma di servizi 5G.

Per ottenere una maggiore flessibilità e migliorare l'efficienza d'uso dello spettro nelle reti 5G, sono in fase di studio diverse modalità e approcci per l'uso condiviso e dinamico dello spettro.

Secondo quanto indicato dal Radio Spectrum Policy Group (RSPG) nella recente opinion su spectrum sharing viene suggerito alle Amministrazioni di favorire lo sviluppo di soluzioni implementative innovative per l'uso condiviso dello spettro.

Le nuove metodologie di condivisione più innovative e dinamiche dovranno essere previste non solo per un uso più efficiente dello spettro da parte dei sistemi 5G ma anche per garantire la coesistenza con i servizi incumbent favorendo l'utilizzo delle frequenze da parte di nuovi soggetti entranti quali in particolare il settore dei verticali.

In questo articolo sono presentati gli approcci per l'uso condiviso dello spettro e gli strumenti metodologici per gestire l'uso efficiente delle frequenze evitando problematiche interferenziali in diversi scenari di coesistenza.

Saranno prese in considerazione, oltre alle bande pioniere già attribuite al 5G (700 MHz, 3.4-3.8 GHz, 26 GHz) anche nuove porzioni di spettro a 6 GHz (5925–7125 MHz) candidate alla attribuzione IMT alla prossima World Radiocommunication Conference WRC-23.

L'utilizzo della banda 6 GHz e di altre bande in cui già operano altri servizi è vincolato alla protezione degli incumbent dalle eventuali interferenze causate dai servizi 5G; occorre quindi implementare modelli di condivisione dello spettro che garantiscano lo sviluppo del 5G con livelli di qualità adeguati e la coesistenza con i servizi incumbent.

Nell'articolo sono presentati i risultati di analisi di copertura di sistemi 5G e di coesistenza con i servizi fissi FS nella banda 6 GHz ottenuti attraverso uno strumento simulativo ad hoc sviluppato da FUB.

## **2 - Approcci per l'uso condiviso dello spettro**

A livello Europeo tra i piani strategici ECC per il periodo 2020-2025 è stata inclusa la condivisione dello spettro, ove tecnicamente fattibile, al fine di facilitarne un uso più efficiente e promuovere l'innovazione.

Per ottenere una maggiore flessibilità e migliorare l'efficienza d'uso dello spettro nelle reti 5G, sono in fase di studio e sperimentazione diverse modalità e approcci per l'uso condiviso

e dinamico dello spettro, in particolare per le nuove bande non ancora aggiudicate per il 5G in Italia.

Secondo quanto indicato da RSPG nella recente Opinion su spectrum sharing, viene suggerito alle Amministrazioni degli Stati membri dell'Unione europea di favorire lo sviluppo di soluzioni implementative più innovative e dinamiche per l'uso condiviso dello spettro, rispetto a quelle attuali che risultano prevalentemente di tipo statico e conservativo. Tali metodologie di spectrum sharing possono essere rese possibili attraverso diversi possibili approcci regolamentari (quali il principio "use-it-or-share-it", lo spectrum pooling, il Licensed Shared Access) e possono essere realizzate attraverso diverse soluzioni tecniche implementative, come quelle basate, ad esempio, su specifiche funzionalità dei dispositivi ("dynamic frequency selection" or "authorisation from a database") oppure attraverso lo slicing della rete 5G (pur non essendo di per sé una tecnologia di spectrum sharing può essere utilizzato a questo scopo, ad esempio nell'approccio "neutral host") e la realizzazione di accordi di roaming.

Le nuove metodologie di condivisione più innovative e dinamiche dovranno essere previste non solo per un uso più efficiente dello spettro da parte dei sistemi 5G, ma anche per garantire la coesistenza con i servizi incumbent, favorendo l'utilizzo delle frequenze da parte di nuovi soggetti entranti quali, in particolare, quelli appartenenti ai diversi settori verticali coinvolti nei servizi 5G.

La Decisione UE 2019/78 [1] prevede l'assegnazione della banda 26 GHz al 5G con approcci basati sia sui diritti d'uso individuali che sull'autorizzazione generale, o su regimi misti che in ogni caso possono richiedere condizioni tecniche aggiuntive per consentire la convivenza tra 5G e servizi incumbent.

Approcci di condivisione dello spettro 5G nella banda 26 GHz sono in fase di sperimentazione in alcuni paesi europei, tra cui l'Italia.

Solo per citare alcuni esempi: in Francia il governo nazionale e il regolatore Arcep hanno pubblicato un invito congiunto a terzi per la sperimentazione della piattaforma 5G sulla banda 26 GHz; nel Regno Unito viene promosso l'accesso condiviso allo spettro tramite licenze locali

per supportare l'innovazione e sviluppare soluzioni che soddisfino le esigenze di connettività wireless specifiche.

In Italia i diritti d'uso nella banda 26.5–27.5 GHz sono stati assegnati a 5 operatori che si sono aggiudicati 200 MHz ciascuno. La Delibera AGCOM n. 231/18/CONS [2] prevede che i blocchi di frequenza possano essere condivisi tra gli operatori ed utilizzati dinamicamente in aree in cui non sono utilizzati dai titolari del diritto d'uso (*"club use"*). Questo approccio consente di usufruire di blocchi di frequenza di dimensione fino ad 1 GHz, apportando benefici alle prestazioni del sistema 5G anche in situazioni ad alta densità. L'implementazione del *"club use"* richiede l'identificazione di scenari applicativi e la valutazione delle condizioni di coesistenza per garantire l'uso dinamico dello spettro evitando le interferenze.

### **3 - Scenari di coesistenza**

Al fine di rendere possibile l'uso condiviso dello spettro risulta fondamentale lo studio e la verifica della coesistenza tra sistemi 5G e i sistemi incumbent già presenti nelle diverse bande di frequenza. Occorre identificare le condizioni di coesistenza che garantiscono allo stesso tempo lo sviluppo del 5G e la protezione dei diversi servizi incumbent sia in banda che nelle bande adiacenti. Si riporta nel seguito una descrizione degli scenari di coesistenza sia nelle bande pioniere 5G che nelle bande di possibile futura attribuzione al 5G.

I sistemi incumbent presenti nella banda 3400-3800 MHz sono principalmente i Servizi Fissi FS e i Servizi Satellitari Fissi FSS.

La valutazione della coesistenza tra IMT-2020 e Servizi Fissi e (riferimento Figura 1 (a)) e Fissi Satellitari (riferimento Figura 1 (b)) prevede il calcolo delle condizioni (es. distanze di separazione geografiche) tra i due sistemi interferente (BTS) e vittima (FS) che garantiscono la protezione dell'incumbent sia per lo scenario co-canale che in canale adiacente.

Il criterio di protezione sia per l'incumbent FS che FSS si basa sul rapporto tra segnale interferente e rumore (I/N) che non deve superare una certa soglia ([3],[4]). Il livello di interferenza viene calcolato valutando la quantità di interferenza generata dal sistema IMT

che rientra nel ricevitore vittima. Dalla valutazione numerica potranno essere identificate distanze di separazione spaziali/frequenziali a garantire il rispetto del prefissato valore di I/N.

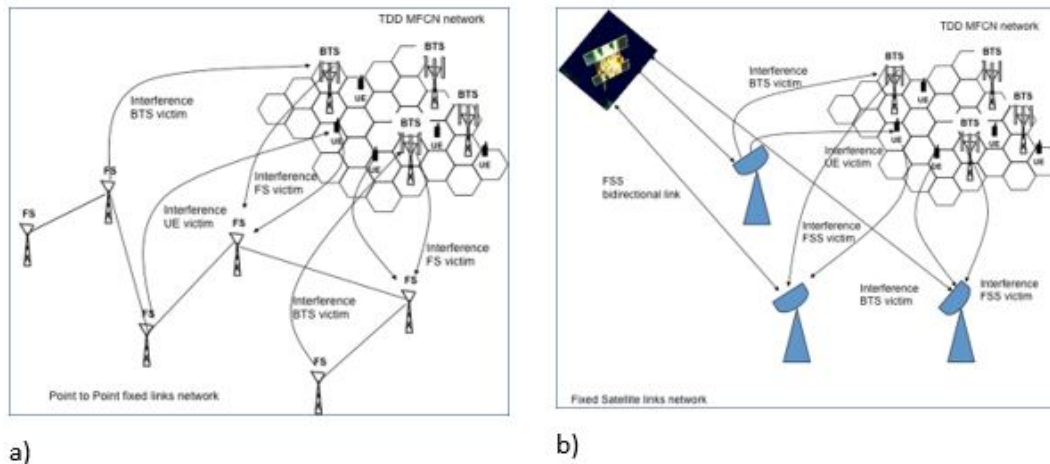


Figura 1 - Scenario di coesistenza tra MFCN e servizio fisso FS (a)/ FSS (b)

Anche nella banda 26 GHz sono presenti i sistemi incumbent fissi FS e i servizi satellitari FSS. Le metodologie per le valutazioni di coesistenza sono le stesse già descritte per la banda 3400-3800 MHz [5],[6].

Infine, per quanto riguarda la banda futura 6425-7025 MHz e 7025-7125 MHz, nel novembre 2020, l'ECC ha avviato un questionario sugli usi attuali e futuri. Dalle risposte fornite dalle varie Amministrazioni ed organizzazioni è emerso che i collegamenti fissi vengono utilizzati per una varietà di applicazioni tra le quali: backhaul di rete mobile, reti di servizi pubblici, backhaul di trasmissione e usi governativi. Le bande 6425-6725 MHz, 6725-7025 MHz, 7025-7075 MHz e 7075-7125 MHz sono utilizzate anche per i servizi satellitari da alcuni paesi della CEPT.

#### 4 – Modello di valutazione di coesistenza e copertura

Il modello di valutazione implementato dalla Fondazione Bordini [5] prevede sia analisi di copertura che di coesistenza tra servizi incumbent e sistemi IMT-2020 in diversi scenari che tengono in considerazione anche i nuovi approcci d'uso dello spettro basati su licenze di tipo locale e reti private [7]. Di seguito si presentano le modalità di analisi che sono state utilizzate ed i risultati ottenuti.

#### 4.1 – Analisi di copertura

In Tabella 1 sono riportati i parametri delle diverse tipologie di copertura per le stazioni base 5G operanti alla frequenza di 6 GHz. Lo studio di seguito riportato si riferisce a scenari futuri 5G che prevedono l'uso di AAS anche in indoor secondo i parametri definiti nel documento 3GPP 38.921 [8]. I diagrammi delle antenne AAS sono stati generati utilizzando il modello ITU-R 2101 [9]. Il primo passo per la valutazione della copertura consiste nella identificazione del valore del rapporto segnale/rumore che garantisce la qualità del servizio desiderata in termini di data rate e BER. Per la determinazione del valore del rapporto S/N tramite il toolbox 5G è stato considerato il canale n 96 [10] che è definito per la porzione di spettro 5925 MHz – 7125 MHz utilizzata sia per l'uplink che per il downlink con duplexing di tipo TDD.

**Tabella 1.** Parametri copertura BTS 6 GHz per scenario

	<b>Macro suburban</b>	<b>Macro Urban</b>	<b>Micro Urban</b>	<b>Small cell indoor</b>
Pt	40 dBm/100MHz	40 dBm/100 MHz	31 dBm/100 MHz	18 dBm/100 MHz
Element gain	6.4 dBi	5.5 dBi	5.5 dBi	5.5 dBi
EIRP	67.47 dBm	66.57 dBm	54.56 dBm	35.54 dBm
ht	20 m	18 m	6 m	3 m
Tilt	6	10	0	0

Le ipotesi iniziali prevedono l'utilizzo di un canale a 100 MHz a cui corrispondono 273 Resource Blocks [10], la data rate da garantire è stata assunta pari a 100 Mbps mentre la massima BER è stata fissata a  $10^{-2}$ . È stato assunto un subcarrier spacing di 30 kHz [10] ed una modulazione 16 QAM [11]. Non è stata considerata la mobilità degli utenti. Le antenne sono state configurate come 16x8 (singolo layer) per i casi Urban e Rural e 4x4 per gli scenari indoor [8]. Per i valori di delay spread si è fatto riferimento al Report 3GPP 38.901 [12]. Per tutte le simulazioni il canale di riferimento scelto è il CDL nel profilo B. In Tabella 2 sono mostrati i

valori del parametro SNR da applicare per ottenere la capacità e la qualità desiderata indicate sopra.

**Tabella 2.** Risultati SNR banda 6 GHz per vari scenari

Ambiente	Valore Delay Spread	SNR @ (BER=1E <sup>-2</sup> ) [dB]	SNR @ 100 Mbps [dB]
INDOOR	30 ns	-0.9	-0.1
URBAN MACRO	363 ns	-7.5	-7.1
RURAL	37 ns	-8.3	-7.6

Il link budget per gli scenari Urban Macro, Rural Macro e Indoor è stato calcolato dai valori SNR ottenuti. La perdita di percorso massima è definita come in Equazione 1:

**Equazione 1.** Perdita di cammino

$$PL_{MAX} = (P_t + G_t - L_t) - L_{sh} - M_{int} - M_{imp} + G_r - P_{min}$$

dove  $P_t$ ,  $G_t$  e  $L_t$  sono rispettivamente la potenza, il guadagno e la perdita di trasmissione della BTS,  $L_{sh}$ ,  $M_{int}$ ,  $M_{imp}$  sono rispettivamente i margini di *shadowing*, interferenza e implementazione,  $G_r$  è il guadagno del ricevitore UE e  $P_{min}$  è la sensibilità del ricevitore.

I valori massimi di perdita di cammino calcolati sono simili negli scenari Urban Macro e Rural (156 dB) mentre per lo scenario indoor sono pari a 109 dB. Le distanze massime di copertura equivalenti per scenari urbani, rurali e indoor sono state calcolate utilizzando il modello di propagazione ITU-R P. 2412 [13] in configurazione NLOS e sono rispettivamente pari a 2800 m, 3075 m e 97 m.

#### 4.2 - Analisi di coesistenza

Le analisi di coesistenza a 6 GHz prevedono lo studio della compatibilità tra stazioni radiobase 5G e il servizio incumbent fisso FS per vari scenari. Il metodo di calcolo adottato, Minimum Coupling Loss MCL, si basa sul calcolo dell'I/N (Interference to Noise ratio) risultante che viene confrontato con la soglia al ricevitore vittima FS (pari a -10 dB). Il termine I/N si ottiene dalla formula sottostante (Equazione 2):



**Equazione 2.** Calcolo del rapporto I/N (Interference to Noise ratio)

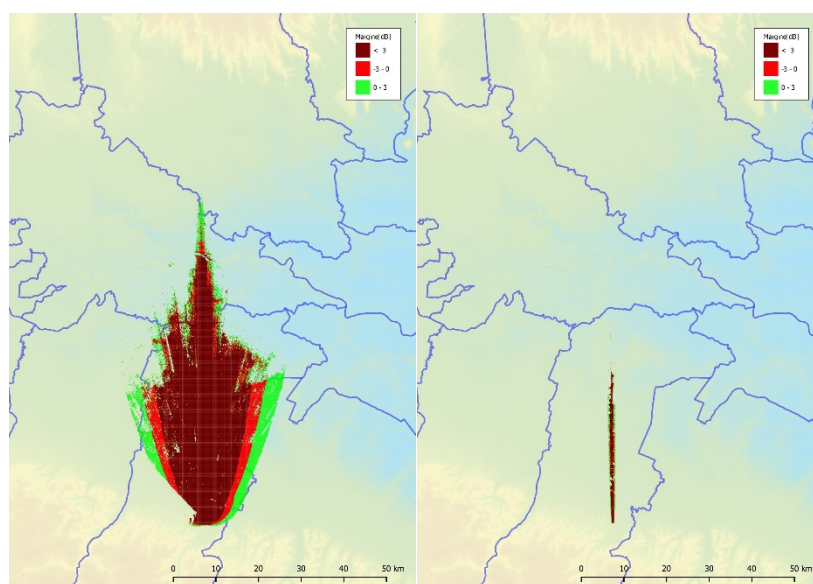
$$I/N(d, \vartheta_1, \vartheta_2) = P_t + G_t(\vartheta_1) + G_r(\vartheta_2) - \text{Att}(d) - N$$

dove  $P_t$  è la potenza trasmessa (dBm) dell'interferente,  $G_t(\vartheta_1)$  il guadagno (dBi) dell'antenna interferente all'angolo  $\vartheta_1$  sotto il quale il sistema interferente vede il sito del sistema vittima,  $G_r(\vartheta_2)$  il guadagno (dBi) dell'antenna del sistema vittima all'angolo  $\vartheta_2$  sotto il quale il sistema vittima vede il sito del sistema interferente,  $\text{Att}(d)$  l'attenuazione (dB) dovuta alla propagazione lungo il percorso di lunghezza  $d$  (km) ed  $N$  il livello di rumore (dBm) del ricevitore vittima. I parametri tecnici del sistema incumbent FS utilizzati per i calcoli di coesistenza sono tratti da [5]. L'analisi condotta prevede il caso co-canale e la valutazione delle interferenze tramite i seguenti modelli di propagazione: ITU-R P.452 [14] con altimetria ed eventualmente anche aggiunta del clutter tramite il modello ITU-R 2108 [15], modello di propagazione statistico ITU-R 2412 [13] LOS e NLOS per ambienti urbani, suburbani, rurali e indoor. Per lo scenario indoor è stato considerato anche il modello di propagazione ITU-R P.2109 [16] che consente di valutare l'attenuazione supplementare dovuta all'attraversamento di un muro da parte del segnale radio che varia tra 32 dB e 14 dB a seconda della tipologia di materiale del muro; nel caso di coesistenza con BTS indoor si è utilizzato il valore di 14 dB, più cautelativo dal punto di vista delle interferenze.

L'area di simulazione consiste in un cerchio di raggio 100 km in contesto misto con rilievi e pianure nel quale è stato collocato l'incumbent FS: sono stati considerati diversi puntamenti del sistema FS per permettere di valutare gli effetti della propagazione in scenari reali, con e senza rilievi e/o ostruzioni. Il sito FS è il ricevitore vittima dei livelli di interferenza generati da ipotetiche BTS 5G AAS collocate in diversi pixel, di dimensione 100x100m, in cui è stata suddivisa l'area geografica di simulazione. Le simulazioni di coesistenza sono state effettuate considerando due scenari geografici, senza e con rilievi. Nel primo scenario per le quattro tipologie di BTS 5G il puntamento è stato impostato a 180° (direzione sud) mentre per sito FS è stato orientato a 0° (verso nord, caso peggiore di link diretto 5G-FS); nel secondo scenario

per le quattro tipologie di BTS 5G il puntamento è stato impostato a 0° (direzione nord) mentre il sito FS è stato orientato a 180° (verso sud, caso peggiore di link diretto 5G-FS).

Nella figura 2 si mostrano, per il primo scenario geografico di tipo pianeggiante, le aree di possibile interferenza all'interno delle quali BTS micro (immagine a sinistra) o small cells indoor (immagine a destra) generano livelli di I/N superiori al limite di -10 dB in corrispondenza della posizione del sistema FS. La zona rossa e quella interna più scura corrispondono a margini negativi (in dB) rispetto al livello di protezione dell'incumbent: in queste zone le BTS dovrebbero ridurre la potenza emessa di valori compresi nell'intervallo da -3 a 0dB (zona rossa) oppure con livelli di riduzione superiori a -3dB (zona scura) per garantire la protezione dell'incumbent FS.



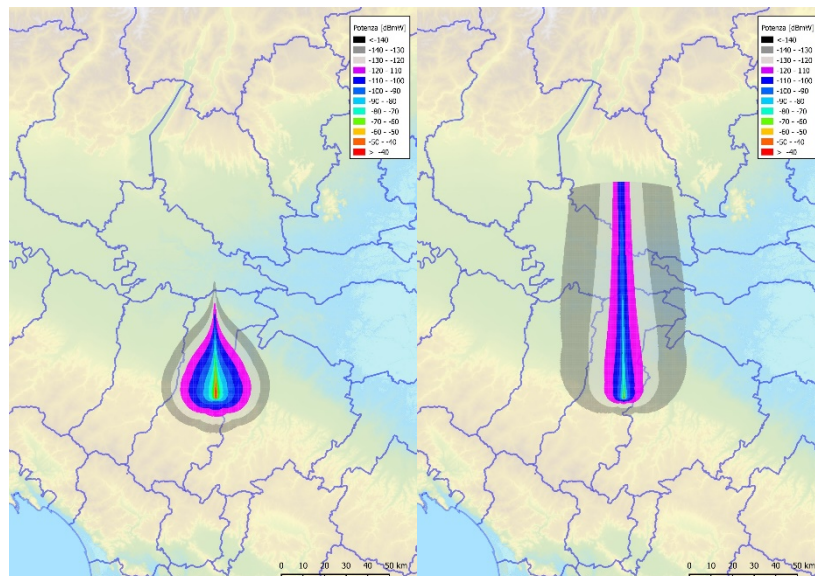
**Figura 2** - Urban Micro (sinistra) e Small Cell Indoor (destra) modello ITU-R P.452+P.2108 con attenuazione BPL secondo il modello ITU-R P.2109 per edificio tradizionale (14dB)

L'area verde indicata in Figura 2 rappresenta invece la zona in cui il criterio di protezione è rispettato e i valori di potenza delle BTS 5G possono essere aumentati nel range da 0 a 3dB. Oltre alla zona verde le limitazioni sulla potenza delle BTS per garantire la coesistenza sono

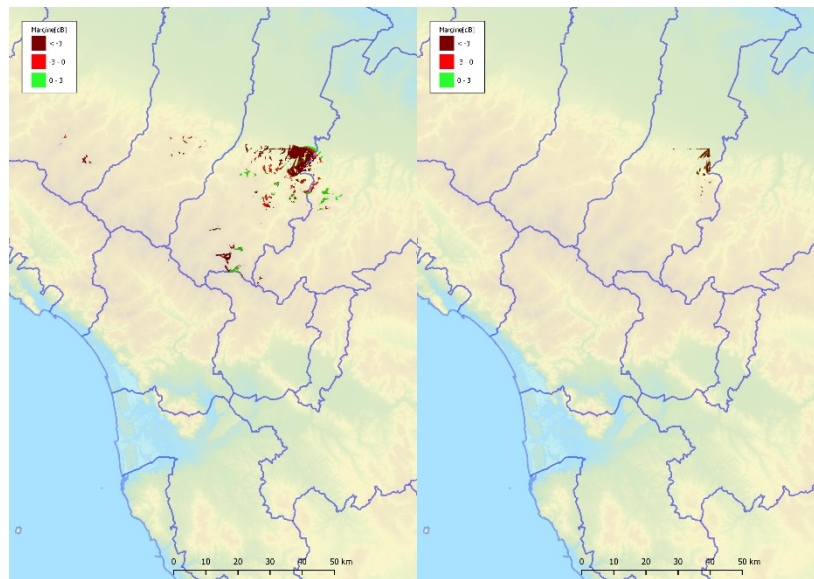
sempre meno stringenti e le potenze possono essere aumentate con valori anche superiori a 3dB (corrispondente al doppio della potenza).

Si nota come a causa della attenuazione aggiuntiva dovuta ai muri (BPL) le zone di possibile interferenza si riducono notevolmente nel caso di scenario di copertura small cell indoor.

In Figura 3 si mostrano i livelli di potenza interferente che arrivano all'incumbent da stazioni base poste nei diversi pixel delle aree di interferenza individuate. É stato considerato lo scenario Urban Macro utilizzando il modello di propagazione ITU-R P.2412 LoS (immagine a sinistra) e NLoS (immagine a destra). Si nota che tali zone si estendono a maggiore distanza nel caso NLoS rispetto al caso del modello ITU-R P.2412 LoS anche se ci si dovrebbe aspettare il contrario. Nella pratica il modello ITU-R P.2412 LoS [13] a grande distanza fornisce un'attenuazione maggiore di quella del modello ITU-R P.2412 NLoS [13] in quanto il primo modello LoS considera un aumento del path loss con la distanza con un fattore 4 dopo brevi distanze. Da ciò si evince che il modello ITU-R P.2412 [13] LoS va utilizzato prevalentemente a breve distanza dalla stazione base dove le condizioni LoS sono soddisfatte.



**Figura 3** - Livello di potenza interferente che arriva all'incumbent secondo il modello ITU-R M.2412 LoS (**sinistra**) ed NLoS in scenario UMa (**destra**)



**Figura 4** - Urban Micro modello ITU-R P.452+P.2108 (**sinistra**), small cell indoor con attenuazione BPL secondo il modello ITU-R P.2109 per edificio tradizionale (**destra**)

Le analisi effettuate considerando anche l'orografia del territorio (Figura 4) mostrano una notevole riduzione delle zone di possibile interferenza sia per effetto dell'altimetria del territorio, di cui si tiene conto attraverso l'uso del modello di propagazione ITU-R P.452 [14], sia per la riduzione dei livelli di interferenza generati dalle stazioni base 5G negli scenari microcellulari e indoor.

## 5 - Conclusioni

L'uso più efficiente dello spettro necessario per favorire lo sviluppo di nuovi servizi e applicazioni 5G anche per settori verticali trarrà beneficio dalla implementazione di metodologie flessibili per l'uso condiviso dello spettro sia nelle bande pioniere già assegnate al 5G (700 MHz, 3400-3800 MHz, 26 GHz) che in nuove bande di frequenza, quali la banda 6 GHz, la banda 40 GHz e la banda 66-71 GHz.

La condivisione dello spettro può essere realizzata qualora sia possibile garantire la coesistenza dei servizi nella stessa banda o nelle bande adiacenti in assenza di interferenza. È quindi opportuno sviluppare strumenti che consentano la valutazione delle condizioni di

coesistenza garantendo lo sviluppo dei nuovi sistemi entranti e la protezione di quelli già esistenti (incumbent).

Lo strumento proprietario messo a punto dalla Fondazione Ugo Bordoni permette le valutazioni di coesistenza in diversi scenari e bande di frequenza ed è basato su modelli di propagazione definiti in ambito internazionale.

In tale contributo è stata mostrata l'applicazione del tool di coesistenza FUB nello scenario a 6 GHz che prevede possibili futuri sistemi 5G e servizi incumbent FS già presenti in tale banda. I risultati delle analisi numeriche effettuate nello scenario co-canale hanno mostrato che le condizioni di coesistenza risultano fortemente variabili a seconda della tipologia di copertura 5G (es. macrocelle, microcelle) e dell'ambiente di propagazione (rurale, urbano). Le zone di possibile interferenza tra i due sistemi 5G e FS si riducono notevolmente nel caso di scenari di copertura microcellulari, small cell indoor e in ambienti dove è rilevante l'ostruzione introdotta dall'altimetria del territorio.

## **6 - Bibliografia**

**[1]** - Decisione di esecuzione (UE) 2019/784 della Commissione, del 14 maggio 2019, relativa all'armonizzazione della banda di frequenze 24,25-27,5 GHz per i sistemi terrestri in grado di fornire servizi di comunicazione elettronica a banda larga senza fili nell'Unione, 2019.

**[2]** - Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni, Delibera n. 231/18/CONS: "Procedure per l'assegnazione e regole per l'utilizzo delle frequenze disponibili nelle bande 694-790 MHz, 3600-3800 MHz e 26.5-27.5 GHz per sistemi terrestri di comunicazioni elettroniche al fine di favorire la transizione verso la tecnologia 5G, ai sensi della legge 27 dicembre 2017, n. 205", 8 maggio 2018", 2018.

**[3]** - ITU, "Recommendation ITU-R S.1432 - Apportionment of the allowable error performance degradations to fixed-satellite service (FSS) hypothetical reference digital paths arising from time invariant interference or systems operating below 30 GHz", 2000.

**[4]** - ITU, "Recommendation ITU-R F.758-6 - 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”,  
September 2015, 2015.

**[5]** - Carciofi, C., Faccioli, M., Grazioso, P., Petrini, V., “Analysis of 5G outdoor and indoor coexistence scenarios for spectrum sharing with Active Antenna System”, *The 28<sup>th</sup> International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks - SoftCOM 2020* – 2020.

**[6]** - ECC – “ECC Report 303 - Guidance to administrations for Coexistence between 5G and Fixed Links in the 26 GHz band ("Toolbox")", 2019

**[7]** - Carciofi, C., Faccioli, M., Folli, M., Petrini, V., Valbonesi, S., “Private Wireless Networks for Automotive: spectrum analysis in 5G frequency bands”, *AEIT Automotive 2021*, 2021.

**[8]** - 3GPP, “Technical Report 38.921 - Study on International Mobile Telecommunications (IMT) parameters for 6.425 - 7.025 GHz, 7.025 - 7.125 GHz and 10.0 - 10.5 GHz”, 2020.

**[9]** - ITU, “Recommendation ITU-R M.2101-0 (02/2017) - Modelling and simulation of IMT networks and systems for use in sharing and compatibility studies “, 2017.

**[10]** - 3GPP, “Technical Report 38.104 – NR; Base Station (BS) radio transmission and reception”, 2018.

**[11]** - 3GPP, “Technical Report 38.214 – NR; Physical layer procedures for data”, 2018.

**[12]** - 3GPP, “Technical Report 38.901 – Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz”, 2017.

**[13]** - ITU, “Report ITU-R M.2412-0 - Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-2020 (10/2017)”, 2017.

**[14]** - ITU, “Recommendation ITU-R P.452 – Prediction procedure for the evaluation of interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.1 GHz“, ver. 16, 2015.

**[15]** - ITU – “Recommendation ITU-R 2108 – Prediction of clutter loss”, 2017.

**[16]** - ITU – “Recommendation ITU-R P.2109 – Prediction of building entry loss”, 2019.