

Daniela Valente,  
Gianmarco Fusco,  
Giuseppe Pierri,  
*Istituto Superiore delle  
Comunicazioni e delle  
Tecnologie  
dell'Informazione*

## Coesistenza tra segnali IoT a banda stretta e segnali del broadcasting televisivo terrestre nelle bande VHF e UHF

***Coexistence between narrowband IoT and digital video broadcasting in VHF and UHF bands***

**Sommario:** L'oggetto del presente lavoro è rappresentato dallo studio delle eventuali situazioni interferenziali, su impianti TV riceventi il segnale del digitale terrestre, provocate da un ipotetico downlink di traffico IoT (Internet of Things) proveniente da stazione radio-base.

La sperimentazione ha avuto il fine di proporre e testare la coesistenza, nella banda di frequenze destinata alla radiodiffusione televisiva, tra segnali a banda stretta per applicazioni di Internet delle cose (NB-IoT) e segnali radiotelevisivi. Le prove effettuate hanno avuto lo scopo principale di individuare il livello minimo di segnale indesiderato che provoca il primo evento di quadrettamento del segnale televisivo.

Tale studio si colloca tra le attività di ricerca volte a rispondere alle sfide trasmissive che la prossima generazione (5G) di sistemi di radio-comunicazione pone e che prevede per il prossimo futuro un enorme aumento di connessioni IoT di tipo wireless [1].

In particolare, con il presente lavoro si vuole rispondere alle esigenze di un certo tipo di traffico dati in espansione, ponendosi nella inevitabile prospettiva di ottimizzazione dell'uso dello spettro radio e nella reale previsione di futura cessione di frequenze del segnale televisivo digitale (DVB-T/T2 – Terrestrial Digital Video Broadcasting) al radiomobile [2], [3]. Gli scenari simulati potranno essere di interesse per i competenti organi di regolamentazione e standardizzazione nella determinazione del ruolo dello spettro UHF (Ultra High Frequency) e VHF (Very High Frequency) nelle comunicazioni di quinta-generazione (5G).

A tale proposito il gruppo RSPG (Radio Spectrum Policy Group) della commissione Europea, competente in materia di politica dello spettro radio, si è già espresso affermando che la quinta-generazione di sistemi radiomobili avrà bisogno di utilizzare anche le bande armonizzate al di sotto di 1 GHz (inclusa la banda a 700 MHz) per fornire copertura 5G sui territori nazionali e per fornire copertura indoor [4].

**Abstract:** The objective of the present work is the investigation of potential interference effects, on tv digital receiving systems, due to the downlink transmission of IoT (Internet of Things) radio-base stations.

Specifically, the aim is to propose and test the coexistence between narrowband signals for Internet of Things (NB-IoT) applications and

*broadcasting signals in the frequency bands allocated to the broadcasting service.*

*The objective of the field-testing is to measure the minimum level of the unwanted signal that causes degradation in the reception quality of the television signal according to given picture degradation conditions.*

*Our work is motivated by the challenges posed by next-generation cellular networks (5G – fifth generation) in identifying spectrum to cope with the increasing traffic demand of wireless IoT connections [1].*

*In particular, our perspective is to propose a solution for some type of IoT traffic while considering the efficiency of spectrum usage and the future assignment of some DVB-T/T2 (Terrestrial Digital Video Broadcasting) frequency portions to radio mobile systems [2], [3].*

*Simulated scenarios can also be utilized by regulation and standardization forums for studying the future role of UHF (Ultra High Frequency) and VHF (Very High Frequency) in the evolution of mobile communications toward fifth-generation (5G).*

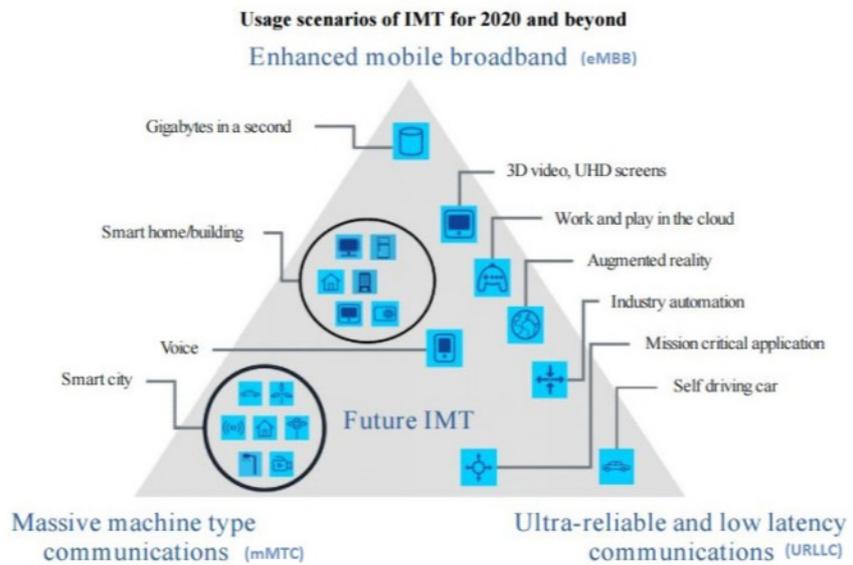
*In this regard, the RSPG (Radio Spectrum Policy Group) group of the European Commission, responsible for radio spectrum policy, is of the opinion that 5G mobile radio systems will also need to use the harmonized bands below 1 GHz (including the 700 MHz band) to provide 5G coverage nationwide and to provide indoor coverage [4].*

## **1. Introduzione**

La quinta generazione di reti radiomobili (5G) ha il fondamentale obiettivo di fornire una connettività diffusa e flessibile che permetta alle persone, le applicazioni, gli oggetti di uso quotidiano, i sistemi di trasporto ed altri attuatori di servizi, di comunicare tra di loro con l'obiettivo generale di migliorare la qualità della vita dell'utente.

L'ampia gamma di requisiti (quali: elevati data-rate (>Gb/s), comunicazioni a bassa latenza (~ms), applicazioni a basso consumo di potenza, terminali a ridotta complessità) e di scenari applicativi (Enhanced mobile broadband, Ultra-reliable and low-latency communications, Massive machine-type communications – vedi Figura 1) attesi per IMT-2020/5G, richiederà sia nuove interfacce radio che l'impiego di nuove bande di frequenza (tra cui le onde millimetriche), nonché l'interoperabilità tra tecnologia presente (IMT-Advanced/4G) e futura (IMT-2020/5G) [5], [6].

Figura 1. Scenari applicativi, immagine tratta da "Recommendation ITU-R M.2083-0 (09/2015)"



In particolare, il presente studio fa riferimento a scenari applicativi di tipo machine-type communications, quali: smart metering, telematica, intelligent transport systems, mobile health, personal monitoring, elettronica di consumo, etc. In questo contesto, si parla di paradigma IoT che include comunicazioni tra sensori, oggetti dotati di intelligenza, interrogazione di server di dati, ovvero comunicazioni di tipo-macchina. Ad esse ci si riferisce come ad una modalità di trasmissione dell'informazione che non richiede necessariamente l'interazione umana e che è caratterizzata da un traffico dati discontinuo e a basso rate. Tipicamente, i dispositivi coinvolti hanno bassa mobilità e sono caratterizzati da ridotte capacità computazionali e di memoria ed hanno un limitato budget energetico. Per rispondere a questo tipo di traffico, esistono soluzioni tecnologiche basate su reti locali in grado di interconnettere dispositivi MTC (machine-type communications) presenti su una stessa area locale, tuttavia tali soluzioni non riescono ad offrire una copertura ubiqua o a garantire un controllo altamente affidabile della rete [7]. Sono anche presenti sul mercato soluzioni proprietarie in grado di soddisfare alcuni dei requisiti ma devono affrontare la sfida di raggiungere la scala globale (LoRa, SigFox e Weighthless) [8], [9]. Pertanto, la soluzione più naturale sembra essere quella offerta dalle esistenti reti cellulari che garantiscono una copertura mondiale e vantaggi legati ad efficienza, robustezza e sicurezza. Inoltre, queste ultime hanno la potenzialità di implementare opzioni specifiche per il traffico MTC, ma nonostante ciò potrebbero avere difficoltà a fronteggiare la prevista crescita di tali servizi. Recentemente il 3GPP (Release 13) ha introdotto due nuovi standard cellulari per l'IoT a banda stretta: il più promettente è basato sull'LTE ed è denominato NB-IoT (narrowband IoT) con canali da 200 kHz e capacità fino a 250 kbit/s, mentre l'altro è basato sul GSM ed è denominato EC-GSM (Extended Coverage GSM). Il dispiegamento della tecnologia NB-IoT avviene tramite l'impiego di stazioni 4G/LTE e quindi la copertura dipende

dall'area di fornitura dell'esistente rete cellulare. NB-IoT è licenziata (usa le bande dell'LTE) ed ha vantaggi in termini di QoS (Quality of Service), latenza, affidabilità e copertura.

In questo contesto, la presente campagna di misure ha avuto l'obiettivo di testare l'impiego delle frequenze al di sotto dei 700 MHz per la trasmissione di segnali di tipo IoT a banda stretta, e rispondere alle esigenze di una tipologia di traffico IoT. La banda del broadcasting televisivo terrestre in Italia, 470-790 MHz e 174-230 MHz, è ideale per fornire servizi trasmissivi di alta qualità date le caratteristiche propagative delle bande UHF e VHF. La banda sopra i 700 MHz è già in parte destinata a passare dal broadcasting televisivo al radiomobile nei prossimi anni (~2022) [10], [11]. Inoltre esistono studi, soluzioni e normative (ETSI EN 301 598 [12]) sull'impiego di tecnologie che utilizzano i white spaces televisivi per l'erogazione di servizi di comunicazione, *grazie a procedure e meccanismi di cognitive radio (CR) per ascoltare quando il canale radio è libero, o tramite interrogazioni di database che hanno capacità di geolocalizzazione e sono in grado di comunicare i parametri trasmissivi ai terminali.*

La sperimentazione ha previsto l'utilizzo delle bande di guardia (circa 400 kHz per canale) tra canali adiacenti del servizio televisivo digitale per le suddette trasmissioni a banda stretta (200 kHz), di tipo IoT. L'eventuale successo di questo tipo di trasmissione è determinato dalla capacità di coesistenza con l'erogazione del servizio televisivo digitale che è primario in tali bande. La degradazione di quest'ultimo viene valutata in termini di "quadrettamento" dell'immagine su schermo tv. I canali televisivi testati sono nella banda UHF, con frequenza centrale 666 MHz e nella banda VHF, con frequenza centrale 198.5 MHz.

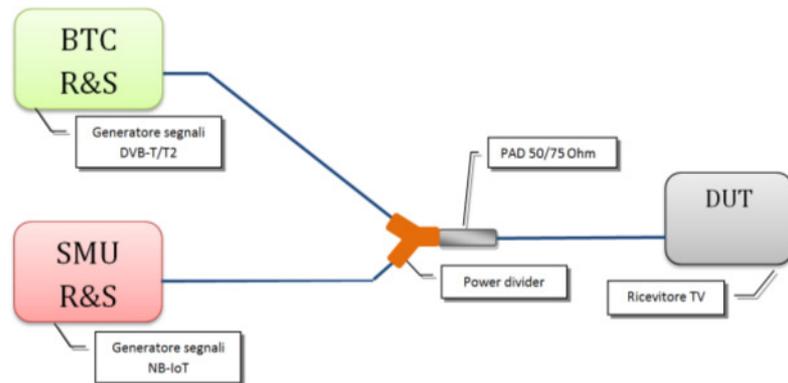
Il documento è così articolato: nella sezione 2 viene descritta la metodologia adottata, il banco di simulazione ed i segnali generati per effettuare le misure; nella sezione 3 vengono illustrati gli scenari simulati e le misure acquisite successivamente analizzate, nella sezione 4, in termini di distanze tra stazioni trasmettenti ed antenne televisive riceventi; infine, le conclusioni vengono tratte nella sezione 5.

## 2. Metodologia e banco di misure

Il laboratorio di radiodiffusione sonora e televisiva dell'Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione ha predisposto un banco di simulazione ed ha effettuato prove nello scenario in cui le interferenze sono causate dal downlink proveniente da una stazione radio-base IoT direttamente sull'antenna TV ricevente.

Il banco, schematizzato in Figura 2, è costituito da due generatori, uno genera il segnale televisivo DVB-T/T2 mentre l'altro genera il segnale IoT. I due segnali vengono poi sommati attraverso un power divider ed inviati, a seguito del passaggio attraverso un matching-pad 50/75 ohm, al televisore in esame.

Figura 2. Schema del banco di misure

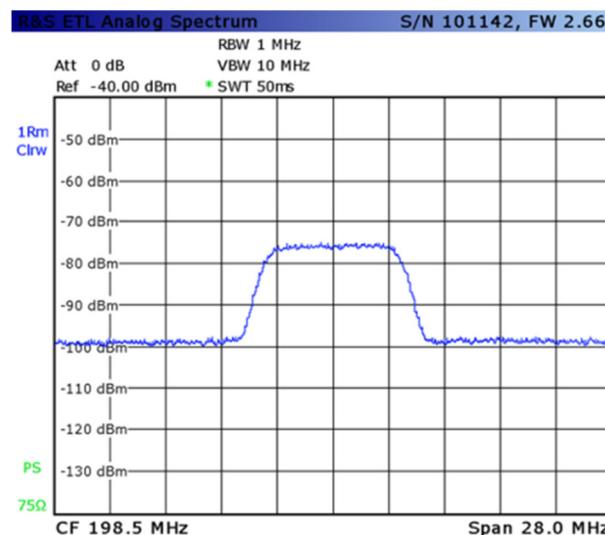


Il segnale di tipo IoT è generato, via software, come forma d'onda arbitraria in banda base che è l'input per il generatore SMU200A della Rohde&Schwarz (R&S). Quest'ultimo ha il compito di collocare il segnale di 200 kHz di banda alla frequenza di interesse. Nello specifico, il segnale IoT viene inserito nella banda di guardia del canale televisivo che si vuole testare. Tale segnale IoT in uscita dal generatore è inviato come segnale interferente all'ingresso RF del televisore (DUT – Device Under Test), tramite cavo (in modalità condotta), miscelato con il segnale utile del quale si studia il degradamento.

Il segnale televisivo (in Figura 3), invece, viene generato dal generatore di segnale broadcast BTC (Broadcast Test Center) della (R&S). Per le misure nella banda UHF, attraverso il generatore SMU200A, il segnale IoT di 200 kHz di banda (in Figura 4) viene centrato alla frequenza di 662 MHz (in Figura 4), nella banda di guardia sinistra del canale televisivo 45 centrato alla frequenza di 666 MHz (larghezza di banda 8 MHz). Per le misure nella banda VHF, invece, il segnale IoT è stato centrato alla frequenza di 195 MHz, nella banda di guardia sinistra del canale televisivo 8 che è centrato alla frequenza di 198,5 MHz (larghezza di banda 7 MHz), come mostrato in Figura 5.

Il passo successivo è stato quello di individuare la potenza del segnale IoT che produce il "quadrettamento" del segnale tv, il cui effetto sull'immagine a schermo è esemplificato in Figura 6.

Figura 3. Spettro segnale televisivo



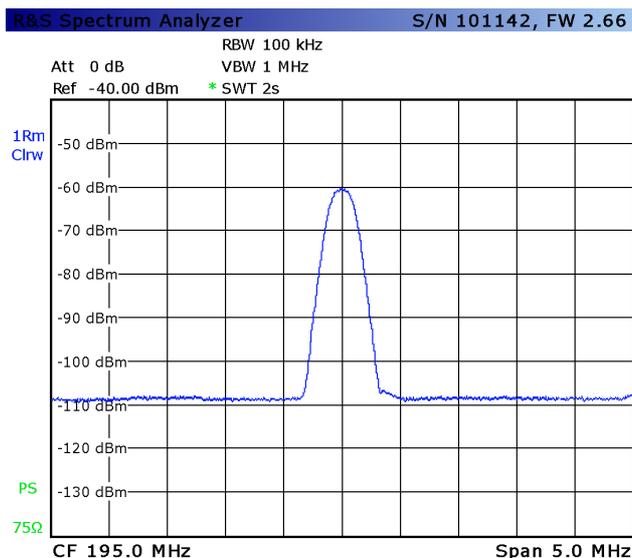


Figura 4. Spettro segnale IoT

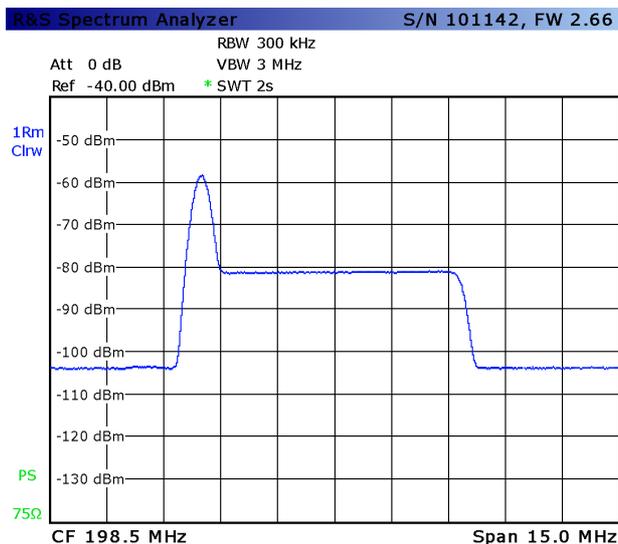


Figura 5. Spettro aggregato, segnale televisivo e segnale IoT

Le prove effettuate hanno avuto lo scopo principale di determinare il valore minimo di segnale interferente (IoT), misurato all'ingresso del dispositivo sotto prova [2] e valutato in corrispondenza della soglia di degradamento dell'immagine su schermo. La soglia è determinata con un metodo definito dalla funzione *onset of picture degradation* della norma EN 303 340 che consiste nell'individuare il livello minimo di segnale indesiderato che provoca il primo evento di quadrettamento - in un prefissato periodo d'osservazione (~15 s.) - dato un livello fisso di segnale desiderato.

Figura 6. *Degradazione segnale televisivo (esempio di quadrettamento è indicato in rosso)*



## 2.1 Il segnale IoT

Il segnale NB-IoT, generato con il simulatore WinIQSim2 della R&S e dato in input al generatore SMU200A, è un segnale di downlink (DL) di tipo LTE FDD OFDMA (Frequency Division Duplex, Orthogonal Frequency Division Multiple Access) con occupazione di banda pari a 200 kHz (come mostrato in Figura 7) e modulazione QPSK (Quadrature Phase Shift Keying). E' ottimizzato per traffico dati a basso-rate (e non voce) e per mobilità limitata; secondo indicazioni da manuale, in DL si ha un data-rate di picco pari a 226,7 kbit/s ed un flusso medio di circa 30 kbit/s [13], [14]. La banda effettivamente occupata è pari a 195 kHz e la dimensione della FFT è 128. Il resource block (RB) prevede in downlink un'occupazione spettrale di 12 sottoportanti distanziate di 15 kHz ed il prefisso ciclico è di tipo normale. Il filtro in trasmissione è predefinito ed è quello previsto dallo standard Eutra/LTE. Il segnale generato prevede che ci sia un unico utente di tipo NB1 attivo. La trasmissione è in formato N1 e prevede che il canale NPDCCH (narrowband physical downlink control channel) trasporti l'informazione di allocazione dei dati ed il numero di volte che essi sono ripetuti nel NPDSCH (narrowband physical downlink shared channel).

La sperimentazione descritta nella sezione 2 ha previsto che il segnale IoT venisse inserito nella banda di guardia (vedi Figura 11) del canale televisivo che si vuole testare [15]. Idealmente, per non creare nessuna interferenza al segnale televisivo, bisognerebbe riservare al segnale IoT una porzione di spettro di circa 400 kHz per contenere anche i "lobi laterali" che però hanno un livello di potenza che è a -20 dB rispetto al picco del segnale stesso.

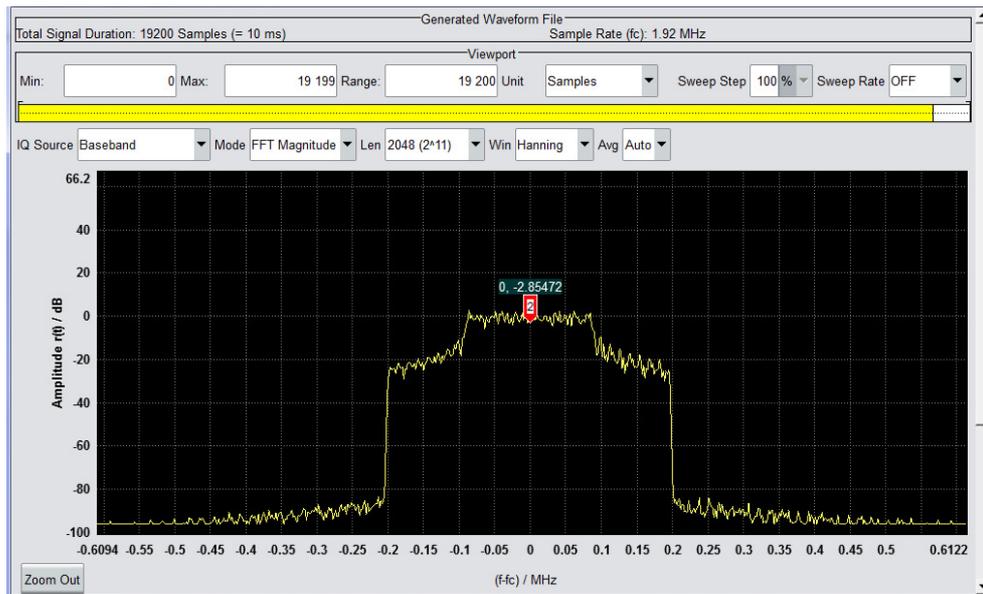


Figura 7. Spettro segnale OFDM 200 kHz, dall'interfaccia del simulatore WinIQSim2 della R&S

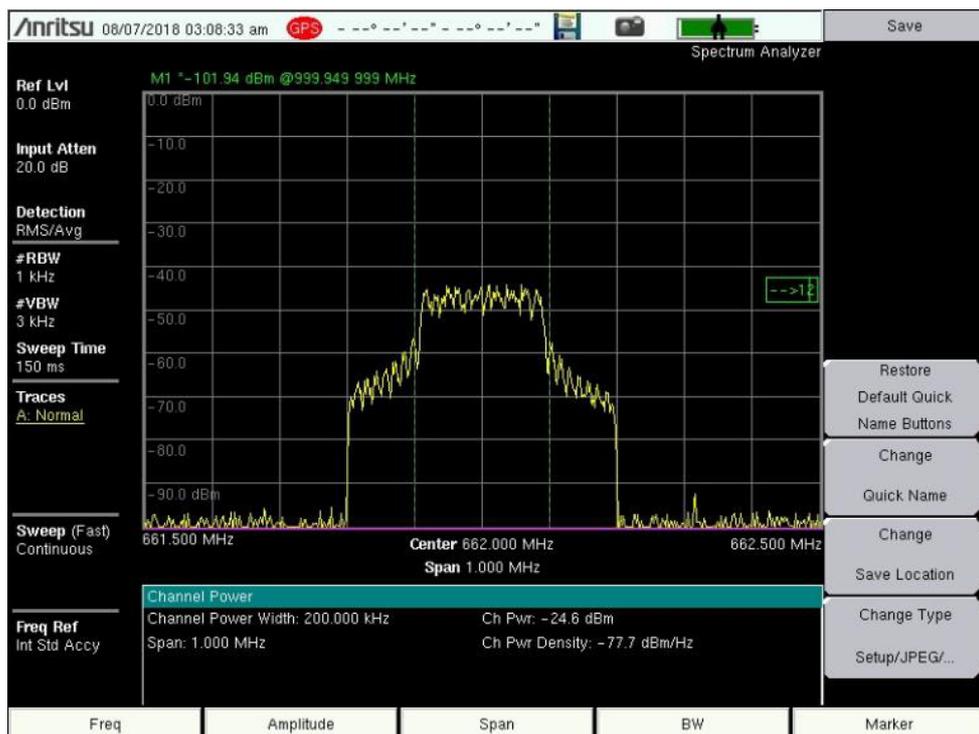


Figura 8. Spettro segnale IoT centrato a 662 MHz

## 2.2 Il segnale televisivo

Le impostazioni dei parametri dei segnali DVB-T/T2 utilizzate ai fini della sperimentazione sono state ricavate dalla norma ETSI EN 303 340 [16]. Il segnale televisivo di banda base usato è un transport stream in standard definition con data-rate pari a 5 Mbit/s e livello di potenza all'ingresso del ricevitore televisivo pari a -63/-70 dBm.

Gli standard DVB-T/T2 prevedono un'occupazione nominale di banda del segnale televisivo pari a 7 MHz nella gamma VHF e pari a 8 MHz alle frequenze UHF. Per i segnali DVB-T sono stati scelti: una dimensione di FFT (Fast Fourier Transform) di 8k, uno schema di modulazione 64 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) – mostrato in Figura 9 - ed un intervallo di guardia ( $I_g$ ) pari a 1/4. Invece, per i segnali DVB-T2 generati è stato previsto: una dimensione di FFT di 32k, una modalità (carrier mode) *estesa* e *non estesa*, uno schema di modulazione 256 QAM ruotato – mostrato in Figura 10 - ed un intervallo di guardia ( $I_g$ ) pari a 1/16.

Sia per i segnali DVB-T che per quelli DVB-T2, sono state considerate due opzioni di code-rate: 2/3 e 3/4.

Figura 9. Schema modulazione 64QAM, per segnale DVB-T a 7 MHz

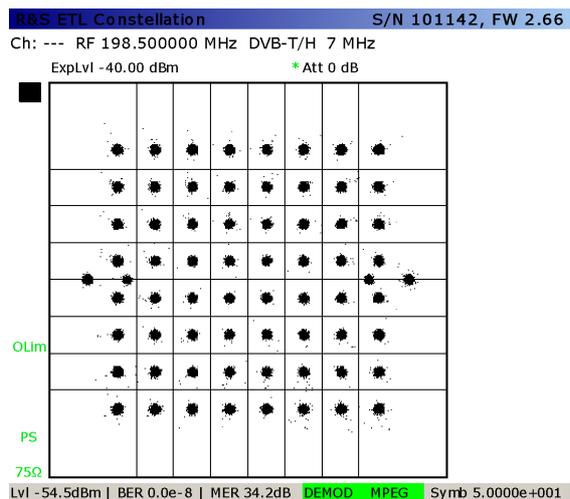
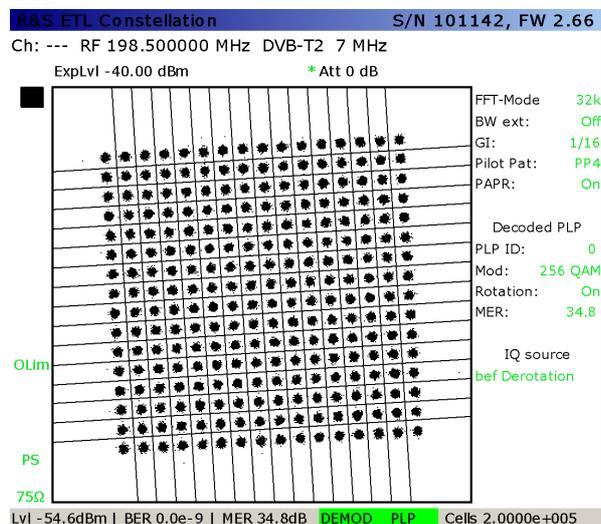


Figura 10. Schema modulazione 256QAM (ruotata), per segnale DVB-T2 a 7 MHz



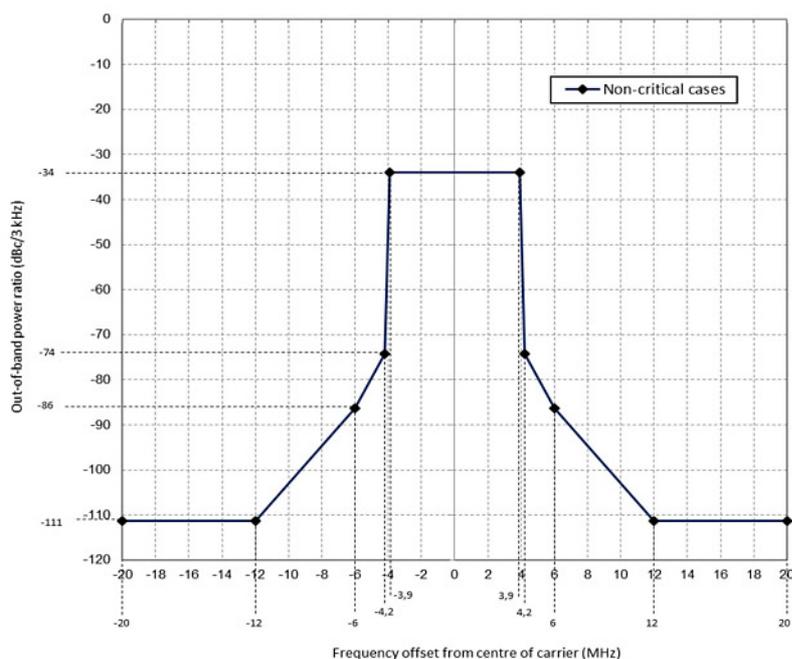


Figura 11. Occupazione di banda effettiva; emissioni fuori banda per trasmettitore DVB-T di classe H0 con canali da 8 MHz, maschera tratta da "ETSI EN 302 296 V2.0.2 (2016-10)"

### 3. Misure: grafici potenza interferente vs. potenza utile al variare dello standard, del code-rate e dei DUT

I DUT (device under test) usati nella campagna di misure sono due televisori (TV1 e TV2) in dotazione del laboratorio. Nello specifico, il confronto è avvenuto tra televisori di diversa generazione. Entrambi sono compatibili con lo standard DVB-T/T2, ma il TV2 è di generazione più recente ed è dichiarato conforme alla norma ETSI EN 303 340 a differenza del TV1 in quanto fabbricato prima della pubblicazione della norma stessa. Come anticipato, il segnale televisivo giunge all'ingresso del ricevitore sotto test con due possibili livelli di potenza, -63 dBm e -70 dBm, avvicinandosi a quanto previsto dalla norma ETSI EN 303 340 in termini di soglia di sensibilità del ricevitore televisivo. È, inoltre, importante notare che le misure effettuate prendono in considerazione scenari applicativi con impianti televisivi non dotati di amplificatore di testa.

I segnali televisivi, impiegati nella campagna di misure, sono sia di tipo DVB-T (Figura 12, Figura 13) che DVB-T2 (Figura 14 – Figura 17) in entrambe le gamme di frequenze considerate. Ai fini dell'analisi dell'interferenza per il setup descritto nel paragrafo 2, è importante considerare gli aspetti evidenziati nel seguito. Il segnale DVB-T/T2 ha una banda nominale pari a 7 MHz nella gamma VHF (canale 8 a 198.5 MHz) e pari a 8 MHz in quella UHF (canale 45 a 666 MHz). L'occupazione effettiva di banda del segnale DVB-T è pari a 6.66 MHz nella banda VHF (Figura 12) e 7.61 MHz nella banda UHF (Figura 13). Per il segnale DVB-T2, c'è l'ulteriore differenza tra occupazione *non estesa* ed *estesa*. Nel caso di DVB-T2 *non esteso* (*n.e.*), la banda effettivamente occupata è identica a quella del caso di trasmissione in tecnica DVB-T (Figura, Figura). Per quanto riguarda il DVB-T2 *esteso* (*e.*), la banda effettiva è di

6.796 MHz (~6.8 MHz) nel VHF (Figura) mentre è pari a 7.767 MHz (~7.77 MHz) nell'UHF (Figura ). Ovviamente, è possibile prevedere che quando c'è una maggiore spaziatura tra canali televisivi adiacenti, dovuta ad una minore occupazione della banda nominale, l'interferente IoT con banda *totale* di circa 400 kHz (considerati anche i lobi laterali) ha un impatto inferiore sul degradamento del segnale televisivo. A conferma di ciò, si osservino le buone prestazioni del TV2 nel canale 45, con segnale DVB-T (Figura) e con segnale DVB-T2 *n.e.* (Figura), e spaziatura tra canali adiacenti pari a 390 kHz in entrambi i casi.

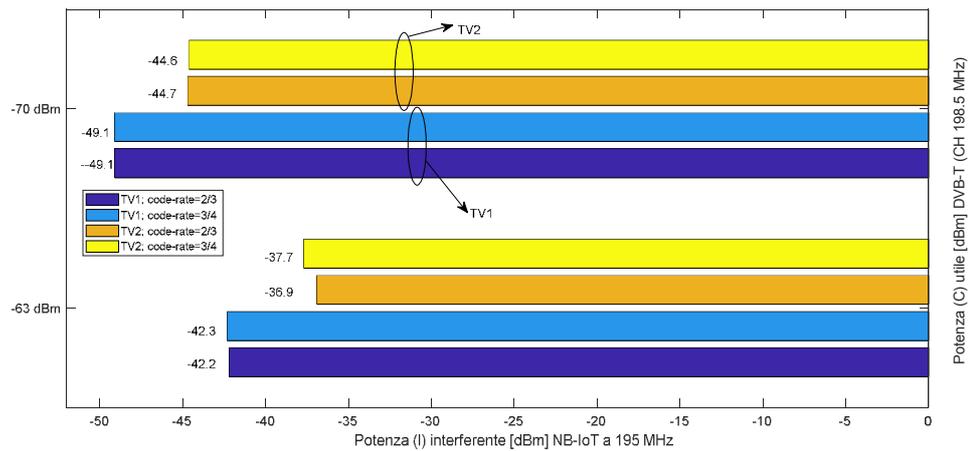


Figura 12. DVB-T - Livello di potenza interferente IoT (I), all'ingresso dei DUT TV1 e TV2, che genera il fenomeno del quadrettamento a parità di potenza utile C=-63 dBm e C=-70 dBm e al variare del code-rate, per il canale 8 (198.5 MHz).

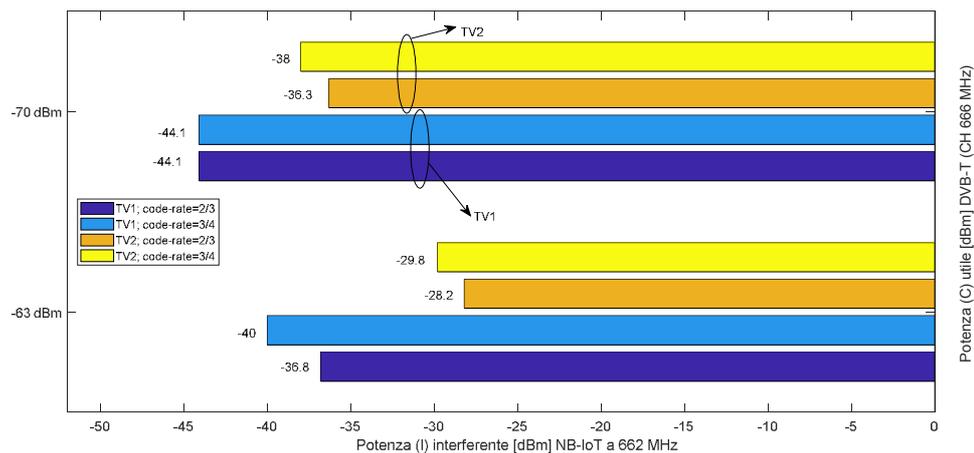


Figura 13. DVB-T - Livello di potenza interferente IoT (I), all'ingresso dei DUT TV1 e TV2, che genera il fenomeno del quadrettamento a parità di potenza utile C=-63 dBm e C=-70 dBm e al variare del code-rate, per il canale 45 (666 MHz).

L'andamento delle prestazioni in termini di potenza interferente (I) varia anche a seconda delle impostazioni di code-rate. Nello specifico, con code-rate 2/3 il segnale televisivo è sempre più robusto all'interferenza rispetto al caso di code-rate 3/4, a parità di altri parametri.

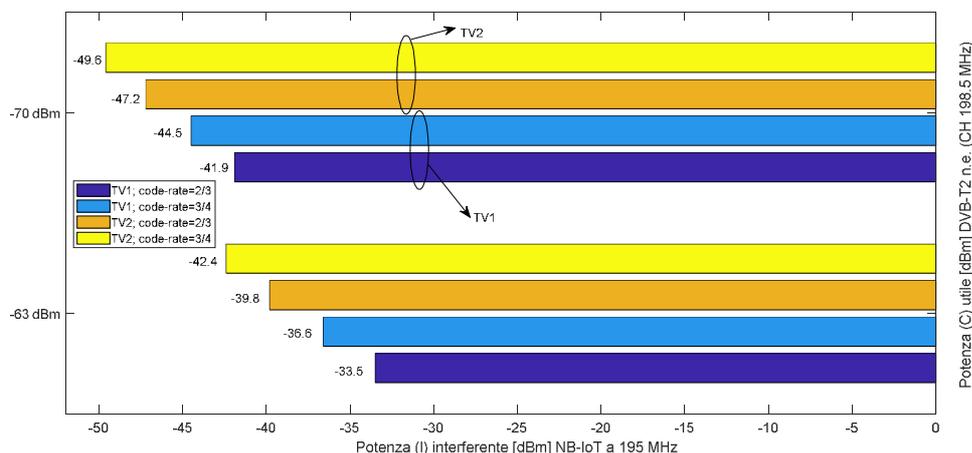


Figura 14. DVB-T2 non esteso - Livello di potenza interferente IoT (I), all'ingresso dei DUT TV1 e TV2, che genera il fenomeno del quadrettamento a parità di potenza utile C=-63 dBm e C=-70 dBm e al variare del code-rate, per il canale 8 (198.5 MHz).

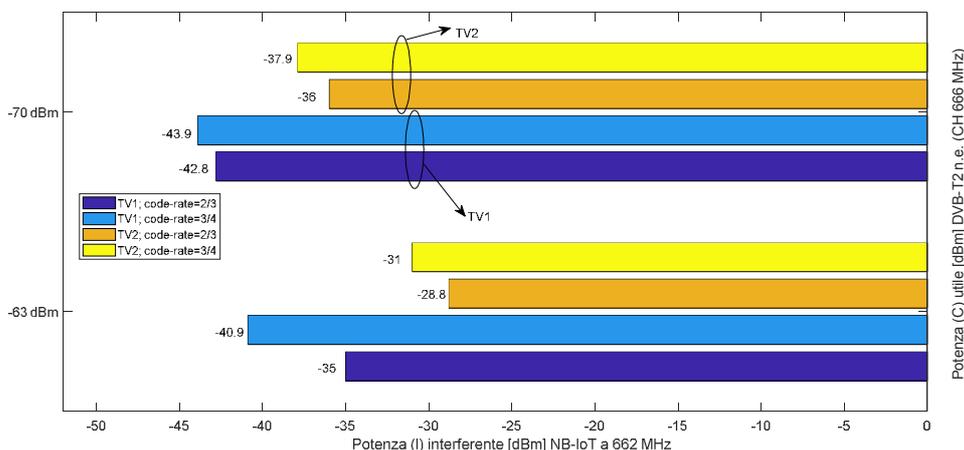


Figura 15. DVB-T2 non esteso - Livello di potenza interferente IoT (I), all'ingresso dei DUT TV1 e TV2, che genera il fenomeno del quadrettamento a parità di potenza utile C=-63 dBm e C=-70 dBm e al variare del code-rate, per il canale 45 (666 MHz).

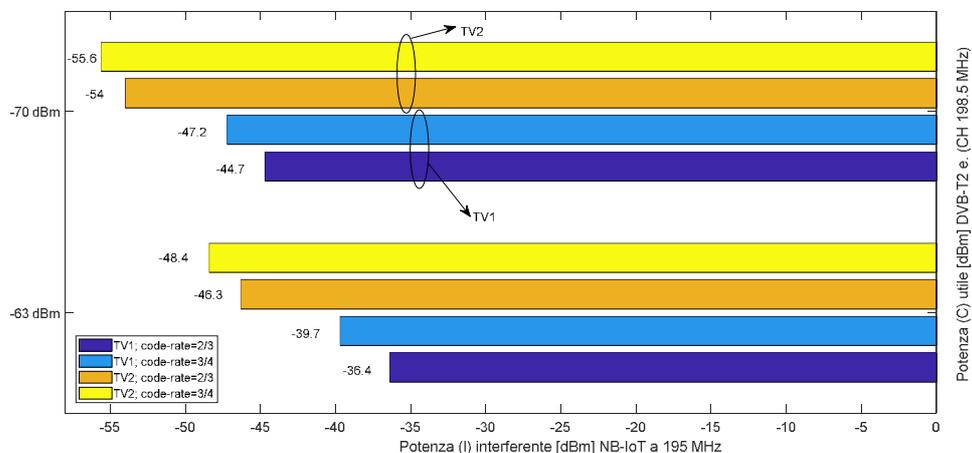


Figura 16. DVB-T2 esteso - Livello di potenza interferente IoT (I), all'ingresso dei DUT TV1 e TV2, che genera il fenomeno del quadrettamento a parità di potenza utile  $C=-63$  dBm e  $C=-70$  dBm e al variare del code-rate, per il canale 8 (198.5 MHz).

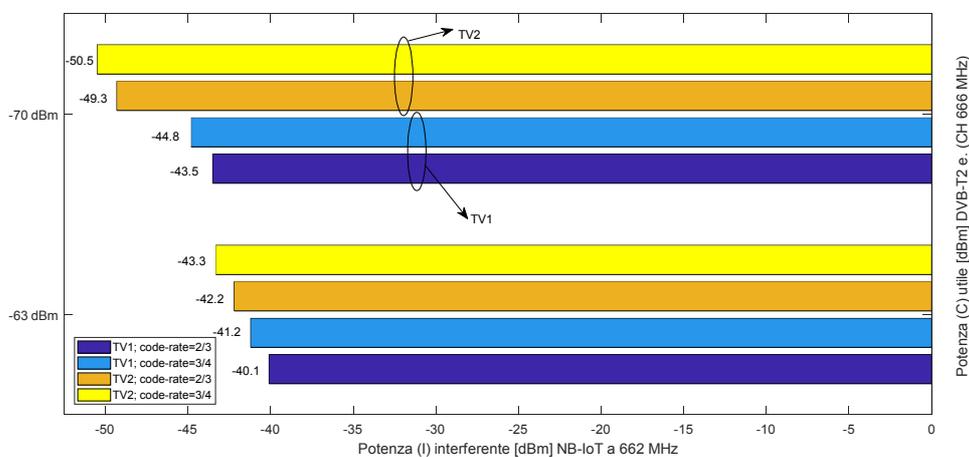


Figura 17. DVB-T2 esteso - Livello di potenza interferente IoT (I), all'ingresso dei DUT TV1 e TV2, che genera il fenomeno del quadrettamento a parità di potenza utile  $C=-63$  dBm e  $C=-70$  dBm e al variare del code-rate, per il canale 45 (666 MHz).

#### 4. Interpretazione delle misure di potenza interferente: distanza di protezione

Le misure di laboratorio illustrate nei paragrafi precedenti hanno permesso di valutare il livello minimo di segnale interferente (IoT),

all'ingresso del ricevitore televisivo, che consentisse di rispettare i già descritti requisiti di qualità (soglia di degradamento), al variare di prefissati livelli di segnale utile (DVB). Dalle misure di potenza interferente limite, il passaggio successivo è consistito nell'effettuare un'analisi di link budget.

È possibile quindi ricavare, almeno in prima approssimazione, il valore limite del rapporto tra potenza irradiata ( $EIRP$  - Effective Isotropic Radiated Power) massima del segnale IoT e la distanza minima ( $d$ ) tra stazioni radio base ed antenne televisive riceventi, per la salvaguardia della qualità della ricezione televisiva.

In particolare, nel caso di brevi distanze ed in assenza di ostacoli tra antenna trasmittente ed antenna ricevente ed assumendo valida l'ipotesi di propagazione in spazio libero,

$$P_R = P_T G_T G_R \left( \frac{c}{4\pi d f} \right)^2 A$$

è possibile interpretare le misure di potenza interferente ( $I$ ) e trarre alcune conclusioni a fronte dello studio presentato. Nell'equazione valida per propagazione in spazio libero, il termine  $(c/4\pi d f)^2$  corrisponde all'attenuazione di spazio libero FSPL (*free-space path loss*) mentre il termine  $A$  include effetti di attenuazione aggiuntiva [11].

Nel caso in questione tale equazione è la seguente e mette in relazione il valore limite di potenza  $EIRP$  e la rispettiva distanza di protezione  $d$ :

$$\begin{aligned} EIRP[dBm] - 20 \log(d) [m] \\ = I[dBm] - G_R[dBi] + 20 \log(f) [MHz] + A_p[dB] \\ + A_c[dB] - 27,6 \end{aligned} \quad (1)$$

con i seguenti parametri:

- $EIRP = P_T G_T$ : potenza equivalente irradiata isotropicamente dall'antenna IoT in direzione dell'antenna TV ( $dBm$ );
- $d$ : distanza tra l'antenna IoT e l'antenna ricevente TV ( $m$ );
- $f$ : frequenza centrale del segnale IoT ( $MHz$ );
- $G_R$ : guadagno dell'antenna ricevente riferito ad antenna isotropa alla frequenza  $f$  in direzione dell'antenna IoT ( $dBi$ );
- $A_p$ : perdita per disadattamento in polarizzazione ( $dB$ );
- $A_c$ : attenuazione del cavo dell'impianto d'antenna TV ( $dB$ );
- $I = P_R$ : livello di potenza del segnale IoT all'ingresso del DUT (apparato televisivo) in corrispondenza del valore  $I/C$  critico (soglia di degradamento) ( $dBm$ ).

I valori dell' $EIRP$  e del guadagno dell'antenna ricevente si intendono misurati nella direzione in cui le due antenne (IoT e TV) sono in linea di vista.

La distanza di protezione ( $d$ ) che viene ottenuta al variare dell' $EIRP$  IoT nei seguenti grafici, rappresenta quella distanza per cui il segnale

televisivo non viene interferito dal segnale proveniente dal downlink IoT. In Figura 18 vengono riportati i valori della distanza di protezione (espressa in metri) al variare dell'EIRP IoT (espresso in dBm) per code-rate 2/3 al variare di standard del segnale voluto (DVB-T, DVB-T2 n.e., DVB-T2 e.) e frequenza del segnale IoT (195 MHz e 662 MHz) per entrambi i DUT (linea continua per TV1 e linea tratteggiata per TV2).

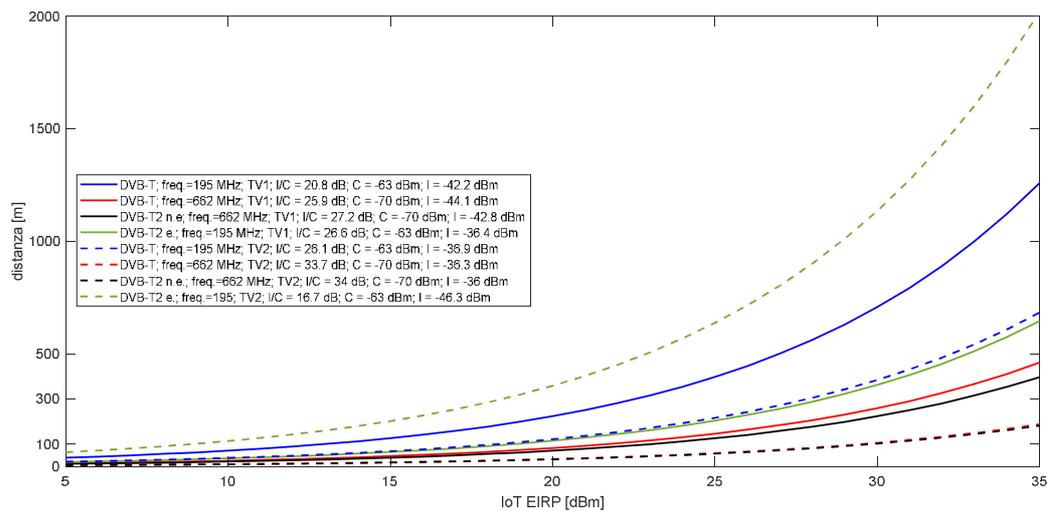


Figura 18. Distanza di protezione vs. EIRP; code-rate 2/3

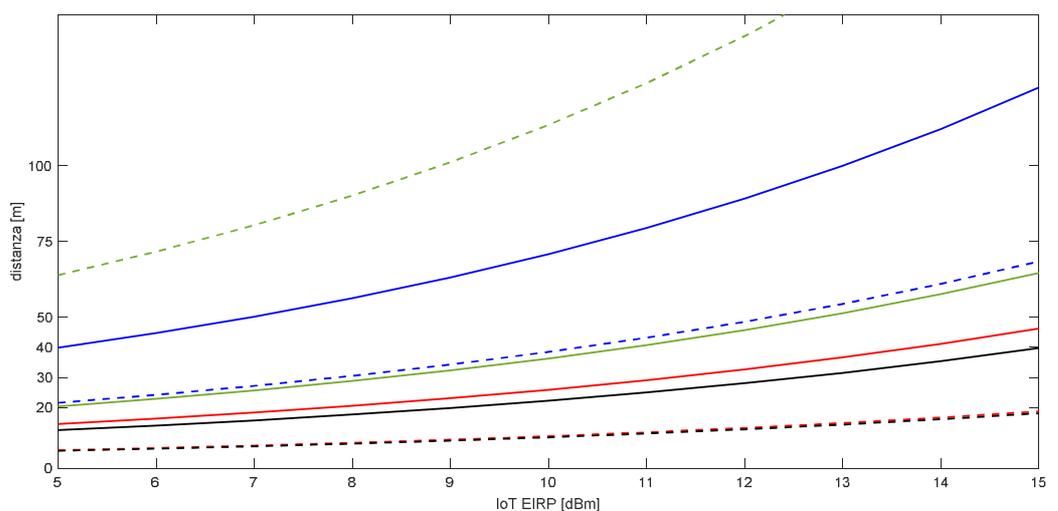


Figura 19. Distanza di protezione dalla Figura 18, per EIRP da 5 a 15 dBm

In Figura 20, per completezza, vengono riportati i valori della distanza di protezione (espressa in metri) al variare dell'EIRP IoT (espresso in dBm) per code-rate 3/4 nelle stesse configurazioni riportate in Figura 18. L'EIRP IoT proviene dalla stazione radio-base, pensata per traffico IoT di downlink, ed è fatto variare da 5 a 35 dBm in considerazione delle caratteristiche del segnale IoT a banda stretta (200 kHz) [17].

Nello specifico, a titolo esemplificativo sono estratti dai grafici in Figura 18 e Figura 20 degli scenari per il calcolo della distanza di protezione espressa dalla formula (1), dove  $G_R = 9$  dBi,  $A_C = 3$  dB.

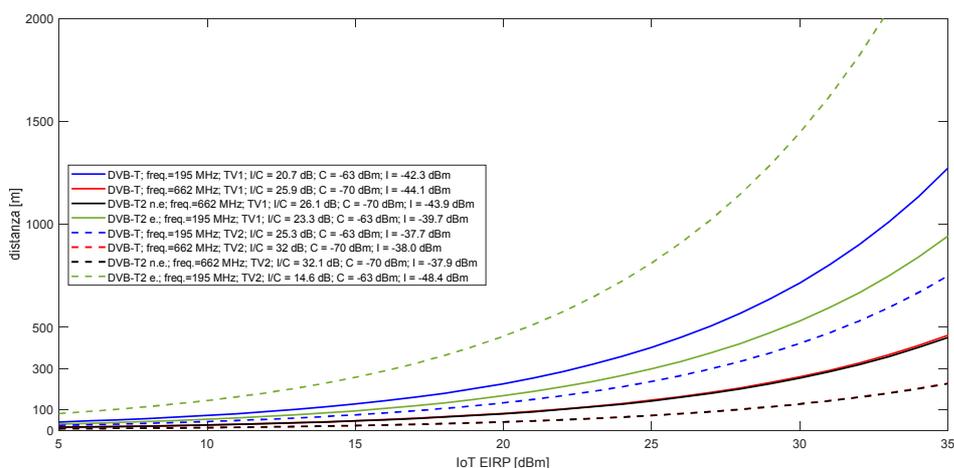


Figura 20. Distanza di protezione vs. EIRP; code-rate 3/4

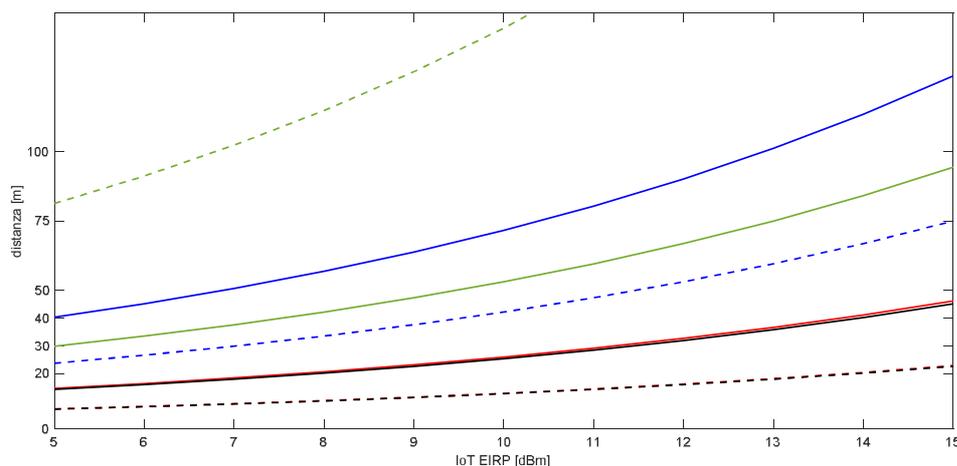
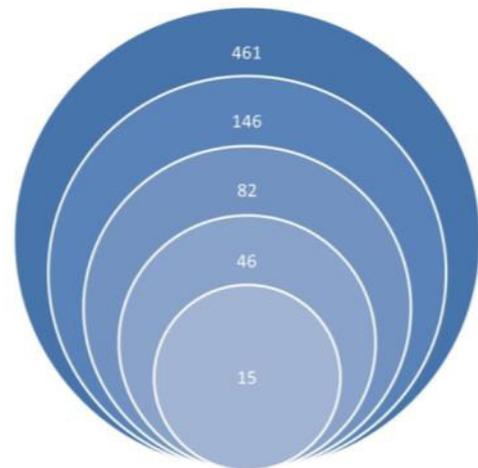


Figura 21. Distanza di protezione dalla Figura 20, per EIRP da 5 a 15 dBm

**Esempio 1:** Quadrettamento all'ingresso del ricevitore TV1, scenario da

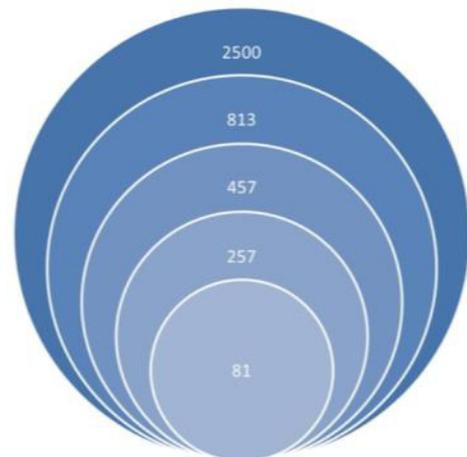
Figura 18 con code-rate 2/3 per standard DVB-T; freq.= 662 MHz;  $C = -70$  dBm;  $I = -44.1$  dBm;  $A_p = 3$  dB ( $45^\circ$ )

NB-IoT Downlink EIRP [dBm]	$d_{min}$ [m]
5	~15
15	~46
20	~82
25	~146
35	~461



**Esempio 2:** Quadrettamento all'ingresso del ricevitore TV2, scenario da Figura 20 con code-rate 3/4 per standard DVB-T2 esteso; freq.= 195 MHz;  $C = -63$  dBm;  $I = -48.4$  dBm;  $A_p = 3$  dB ( $45^\circ$ )

NB-IoT Downlink EIRP [dBm]	$d_{min}$ [m]
5	~81
15	~257
20	~457
25	~813
35	~2500



È evidente, quindi, dai valori delle distanze di protezione vs. EIRP, riportati nelle tabelle, che a seconda dei parametri del segnale DVB sono prevedibili scenari applicativi in cui la coesistenza in banda con il segnale IoT è possibile: in ambienti con bassa concentrazione di antenne televisive riceventi (quali zone rurali) - esempio 2 - o in ambienti più urbanizzati - esempio 1. Come accade nello scenario di coesistenza dell'esempio 1, in corrispondenza di più alti valori di  $I$  è tollerabile un più

alto livello di segnale interferente a parità di segnale utile. Ovvero, l'esempio 1 (DVB-T nelle UHF) rappresenta un caso con minore interferenza in uno prefissato scenario reale rispetto all'esempio 2 (DVB-T2 e. nelle VHF), per cui nel primo caso si potrebbe pensare ad applicazioni IoT a più lungo raggio mentre nel secondo caso ad applicazioni IoT a corto raggio.

## 5. Conclusioni

Nell'articolo sono stati presentati i risultati di una campagna di misure eseguite in laboratorio per simulare e validare l'introduzione di un potenziale servizio di trasmissione IoT a banda stretta (200 kHz) e basso bit-rate nelle bande VHF e UHF del servizio di broadcasting televisivo terrestre (DVB-T/T2). Il banco di misure, appositamente realizzato, è servito a testare la coesistenza della trasmissione IoT con il servizio televisivo digitale negli intervalli di frequenze tra canali televisivi adiacenti, valutando gli eventuali effetti interferenziali sul segnale televisivo che ha accesso primario in suddette bande.

La degradazione del servizio di trasmissione televisiva è stata valutata in termini di "quadrettamento" dell'immagine su schermo e misurata come livello di potenza interferente che genera il quadrettamento per un prefissato valore di segnale televisivo, misurati entrambi in ingresso al televisore. Gli scenari simulati hanno previsto l'impiego di impianti televisivi non dotati di amplificatore di testa. I risultati in termini di distanza di protezione vs. EIRP IoT permettono di valutare il dimensionamento della soluzione proposta per traffico IoT al variare delle caratteristiche del segnale televisivo.

## Bibliografia

- [1] RSPG 16-45 (European Commission RADIO SPECTRUM POLICY GROUP), «Draft Opinion on the Spectrum Aspects of the internet-of-things (IoT) including M2M,» Novembre 2016.
- [2] M. Fuentes, C. Garcia-Pardo, E. Garro, D. Gomez-Barquero e N. Cardona, «Coexistence of Digital Terrestrial Television and Next Generation Cellular Networks in the 700 MHz band,» *IEEE Wireless Communications*, vol. 21, n. 6, pp. 63-69, 2014.
- [3] S. Yrjola, E. Huuhka, P. Talmola e T. Knuutila, «Coexistence of Digital Terrestrial Television and 4G LTE Mobile Network Utilizing Supplemental Downlink Concept: A Real Case Study,» *IEEE Transactions on vehicular technology*, vol. 66, n. 6, pp. 5422 - 5434, 2017.
- [4] RSPG 16-031 European Commission RADIO SPECTRUM POLICY GROUP, «RSPG Strategic roadmap towards 5G for Europe-Draft RSPG Opinion on spectrum related aspects for next-generation wireless systems (5G),» 2016.
- [5] F. Rancy, «Sviluppo di standards e allocazione dello spettro in supporto di IMT-2020 (5G),» ITU Radiocommunication Bureau, 29 Marzo 2017.
- [6] Recommendation ITU-R M.2083-0 (09/2015), «IMT Vision - Framework and overall objects of the future development of IMT for 2020 and beyond,» 2015.
- [7] A. Biral, M. Centenaro, A. Zanella, L. Vangelista e M. Zorzi, «The challenges of M2M massive access in wireless cellular networks,» *Digital Communications and Networks*, vol. 1, n. 1, pp. 1-19, 2015.
- [8] R. S. Sinha, Y. Wei e S.-H. Hwang, «A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT,» *ICT Express*, vol. 3, n. 1, pp. 14-21, 2017.
- [9] Rivista, «Mondo Digitale,» AICA Associazione italiana per l'Informatica ed il Calcolo Automatico, Febbraio 2018.
- [10] ECC Report 266, «The suitability of the current ECC regulatory framework for the usage of Wideband and Narrowband M2M in the frequency bands 700 MHz, 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2.1 GHz and 2.6 GHz,» Giugno 2017.
- [11] M. Ferrante, G. Fusco, E. Restuccia, M. Celidonio, P. G. Masullo e L. Pulcini, «Experimental results on the coexistence of TV broadcasting service with LTE mobile systems in the 800 MHz band,» in 2014 Euro Med Telco Conference (EMTC), 2014.
- [12] ETSI EN 301 598 V2.1.1 (2018-01), «White Space Devices (WSD); Wireless Access Systems operating in the 470 MHz to 790 MHz TV broadcast band; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU,» 2018.
- [13] Whitepaper Rohde & Schwarz, «Narrowband Internet of Things Measurements,» 2017.

- [14] Whitepaper Rohde & Schwarz, «Narrowband Internet of Things,» 2016.
- [15] ETSI EN 302 296 V2.0.2 (2016-10), «Digital Terrestrial TV Transmitters; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU,» 2016.
- [16] ETSI EN 303 340 V1.1.2 (2016-09), «Digital Terrestrial TV Broadcast Receivers; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU,» 2016.
- [17] Whitepaper Huawei, «NB-IoT Enabling New Business Opportunities,» 2015.
- [18] ITU-R BT.2215-7 (04/2018), «Measurements of protection ratios and overload thresholds for broadcast TV receivers,» 2018.
- [19] J. Finnegan e S. Brown, «A Comparative Survey of LPWA Networking,» arXiv preprint arXiv:1802.04222. , 2018.