

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Massimo Celidonio[♦], Fernando Consalvi[♦], Andrea Neri[♦], Lorenzo Pulcini[♦]

♦ Fondazione Ugo Bordoni

Sommario

A partire dal mese di luglio 2022 gli operatori mobili hanno iniziato ad attivare i propri impianti per svolgere il servizio radiomobile nella banda dei 700 MHz attraverso lo standard 5G. L'impiego di tali segnali in una banda precedentemente utilizzata dal servizio broadcast televisivo potrebbe, però, determinare la presenza di uno scenario interferenziale simile a quello già riscontrato dopo l'analogo cambiamento di destinazione d'uso della banda degli 800 MHz relativamente alla distribuzione del servizio radiomobile secondo lo standard 4G-LTE. Si è ritenuto quindi, utile avviare un'attività sperimentale, basata principalmente sullo svolgimento di una campagna di misure in laboratorio, realizzata con l'obiettivo di identificare un possibile modello dei fenomeni interferenziali che possa essere di ausilio sia per poter procedere con la verifica delle segnalazioni di interferenza proposte nel tempo dagli utenti, sia al fine di valutare l'impatto potenziale che si potrebbe determinare sulla totalità degli utenti televisivi in questo nuovo contesto operativo.

Abstract

Starting from July 2022, mobile operators began activating their systems to carry out the mobile radio service in the 700 MHz band through the 5G standard. However, the use of these signals in a band previously used by the television broadcast service could determine the presence of an interference scenario similar to the one already encountered after the

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

analogous change of use of the 800 MHz band in relation to the distribution of the mobile radio service according to the 4G-LTE standard. It was therefore considered useful to start an experimental activity, based mainly on carrying out a campaign of measurements in the laboratory, with the aim of identifying a possible model of the interference phenomena. The model could be of help both in order to be able to proceed with the verification of the interference reports submitted over time by users, and for the purpose of assessing the potential impact that could be determined on all television users in this new operating context.

Keyword

4G, 5G, DTT, Interference, MATV, experimental measurement

1 - Introduzione

L'erogazione del servizio di TV digitale in Italia sta attraversando un periodo di transizione caratterizzato dall'introduzione dello standard DVB-T2 in sostituzione dell'attuale standard DVB-T. Questa transizione, accompagnata anche da una riduzione del numero delle reti televisive operanti a livello nazionale e locale, si rende necessaria a seguito della assegnazione della banda dei 700 MHz ai servizi emergenti 5G-NR. Di conseguenza, in linea con analoghe indagini condotte in occasione della diffusione dei servizi LTE nella banda 800 MHz, risulta necessario analizzare il possibile impatto dei segnali radiomobili interferenti LTE e 5G-NR, operanti rispettivamente nelle bande di frequenza 800 e 700 MHz, sulla corretta ricezione dei segnali DTT trasmessi nella banda di frequenza compresa tra 470 e 694 MHz.

In questo contesto, il presente studio si propone di indagare lo scenario di interferenza che può presentarsi dopo la messa in servizio delle stazioni base 5G-NR, con particolare attenzione all'interferenza che i segnali TV terrestri DVB-T2 potrebbero subire.

L'obiettivo finale dello studio delineato in questo documento è quello di fornire un modello di riferimento per la valutazione del fenomeno interferenziale indicato, attraverso il quale poter stimare le aree del territorio nazionale dove si prevede che i segnali mobili possano influenzare la corretta ricezione del servizio TV in presenza di impianti di ricezione televisiva che includono un amplificatore a banda larga, come ad esempio i sistemi MATV (acronimo per Master Antenna Television e che si riferisce agli impianti televisivi centralizzati). Questo modello consentirà di verificare l'attendibilità delle segnalazioni ricevute dagli utenti nell'ambito del servizio Help Interferenze [1][2] istituito dal MIMIT, e gestito in collaborazione con la FUB e gli operatori radiomobili, per far fronte alle problematiche interferenziali che si dovessero presentare all'attivazione dei servizi radiomobili nella banda UHF precedentemente utilizzata dagli operatori broadcast televisivi.

Il documento fornisce una descrizione del setup sperimentale utilizzato nello studio, nonché i principali risultati ottenuti nelle diverse configurazioni sperimentali prese in considerazione e che hanno consentito di trarre utili informazioni per la definizione del sopra richiamato modello di riferimento.

2 - Impatto dei sistemi radiomobili sui segnali televisivi ricevuti in impianti MATV

Un impianto MATV è un sistema di distribuzione del segnale televisivo in edifici multi-utenza come ad esempio condomini, alberghi o ospedali. L'impianto prevede l'utilizzo di una singola antenna posizionata sul tetto dell'edificio, che riceve il segnale televisivo trasmesso dalle stazioni degli operatori nazionali e locali. Il segnale viene quindi amplificato, distribuito attraverso una serie di cavi coassiali e infine messo a disposizione degli utenti tramite prese TV presenti nelle singole unità abitative, come mostrato in Figura 1.

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

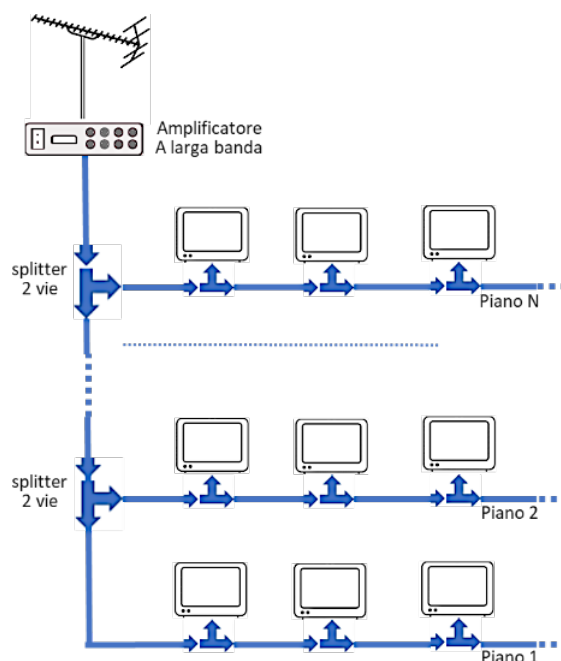


Figura 1 – Esempio di sistema MATV

Elemento essenziale negli impianti MATV è l'amplificatore a banda larga, un dispositivo utilizzato per aumentare la potenza dei segnali televisivi provenienti dall'antenna, al fine di renderli utilizzabili anche dagli apparati posti a maggior distanza dall'antenna ricevente, potendo sopperire alle maggiori attenuazioni di tratta cui sono sottoposti rispetto agli apparati più prossimi alla stessa antenna. Questi amplificatori sono progettati per funzionare con un'ampia gamma di frequenze, il che li rende ideali per l'uso con segnali TV digitali, che spesso occupano più bande di frequenza. Lo scopo principale di un amplificatore TV a banda larga, come detto, è quello di elevare in potenza il segnale ricevuto per consentirgli di far fronte ad eventuali perdite che possono verificarsi a causa della presenza nell'impianto di cavi lunghi, derivatori ed altri dispositivi o anche per facilitare la distribuzione di segnali ricevuti a bassa potenza.

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

Aumentando la potenza del segnale, un amplificatore TV a banda larga può migliorare la qualità dell'immagine TV fornita all'utente e ridurre problemi come la pixelizzazione (effetto che si verifica sulle immagini digitali quando il numero di pixel che compongono l'immagine è troppo basso per rappresentare correttamente i dettagli dell'immagine stessa) o l'interruzione del servizio dovuta ad una scarsa ricezione del segnale.

Gli amplificatori TV a banda larga in genere hanno una cifra di rumore bassa. Questo significa che viene aggiunto un basso quantitativo di rumore al segnale in uscita dal dispositivo e di conseguenza l'immagine del servizio televisivo risulterà affetta da un disturbo contenuto. Inoltre, alcuni amplificatori TV a banda larga includono filtri che possono contribuire a ridurre le interferenze dei segnali radio trasmessi nelle vicinanze o di altre fonti di interferenza elettromagnetica.

Alcuni amplificatori TV a banda larga sono più adatti per l'uso all'aperto e vengono installati vicino all'antenna ricevente, mentre altri possono essere progettati per uso interno, come nel caso dell'amplificatore da palo nei sistemi MATV, o per funzionare come gap filler.

Con la decisione assunta durante la WRC-12 [3] di destinare parte della banda originariamente utilizzata per le trasmissioni televisive ai sistemi radiomobili e con il successivo recepimento di tale decisione, che in Europa si è concretizzata definitivamente nel mese di giugno 2022, sta emergendo la situazione che gli impianti MATV di meno recente installazione, dotati di amplificatori a banda larga progettati per operare su tutta la banda originariamente utilizzata dal broadcast televisivo, amplificano anche i segnali radiomobili trasmessi nella banda dei 700 MHz (ed in alcuni casi anche quelli nella banda degli 800 MHz). Tali segnali, essendo ricevuti a potenze anche piuttosto elevate, possono dare luogo, all'uscita dell'amplificatore, alla presenza di prodotti di intermodulazione che, interferendo con i segnali televisivi, in determinate circostanze, impediscono la ricezione di alcuni o addirittura di tutti i canali trasmessi in banda televisiva.

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

Da parte loro, i sistemi di trasmissione televisiva digitale DVB-T e T2 hanno caratteristiche che consentono all'utente di fruire del servizio con un livello di qualità sufficiente, anche quando la qualità dei segnali ricevuti risulta degradata a causa di disturbi presenti nella catena di ricezione. Tuttavia, nel nuovo scenario, diventa decisivo capire quando potenziali interferenze dovute ai segnali trasmessi dalle stazioni radio base 5G-NR e 4G-LTE, operanti rispettivamente nelle bande di frequenza 700 MHz e 800 MHz, possano compromettere la corretta ricezione dei servizi TV (vedi Figura 2).

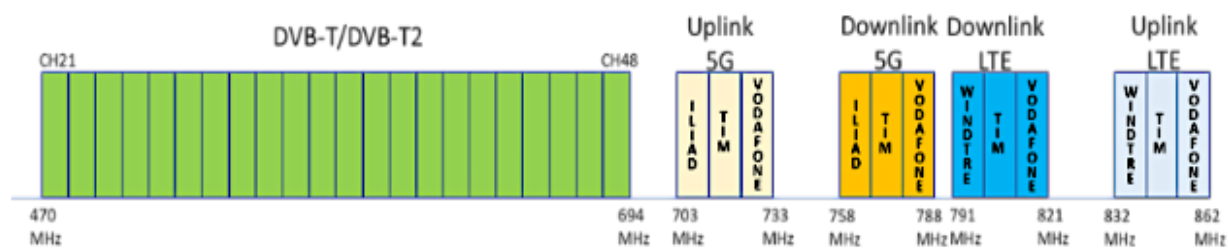


Figura 2 - Segnali dedicati al servizio televisivo terrestre ed a quello radiomobile nella banda UHF

Lo scenario tipico è quello caratterizzato da edifici condominiali in presenza di sistemi di ricezione MATV obsoleti, comprensivi di amplificatori operanti in banda UHF, potenzialmente fino alla parte più alta della banda 800 MHz. In questo scenario le trasmissioni generate dai sistemi radiomobili, attivi nelle bande dei 700 e 800 MHz, non vengono ostacolate dai circuiti di ricezione dei sistemi TV e questo può determinare malfunzionamenti dovuti alla presenza di interferenze che possono disturbare, in modo significativo, alcuni o anche la totalità dei segnali televisivi. Occorre sottolineare che in molti impianti condominiali sono già stati effettuati interventi tecnici di protezione dalle interferenze prodotte dal segnale 4G-LTE a partire dal 2012 (quando il sistema LTE è stato reso operativo in banda 800 MHz) installando opportuni filtri, sostituendo i componenti più critici o adottando altre tecniche di mitigazione.

In questi contesti, il sistema di ricezione TV è già in grado di ostacolare la ricezione dei segnali radiomobili trasmessi a frequenze superiori a 790 MHz. Inoltre, a partire dal 2013, con la pubblicazione del D.M. 22/01/2013 [4], è stata disciplinata la progettazione degli impianti centralizzati d'antenna condominiali che ricevono i segnali del servizio di radiodiffusione, terrestre e satellitare, e in questo contesto è stato formalmente indicato che tutti gli impianti realizzati successivamente alla data di pubblicazione del decreto devono essere conformi a quanto indicato nella guida CEI 100-7 [5] e quindi, in presenza di un amplificatore nel sistema di ricezione, deve essere previsto anche un circuito per filtrare i segnali trasmessi nella banda dedicata ai servizi 4G-LTE. Tuttavia, rimangono ancora operanti numerosi impianti che risultano non conformi a questa normativa e in particolare quelli che, fino ad oggi, non hanno avuto la necessità di effettuare alcun intervento in quanto i segnali radiomobili, pur essendo presenti, non causavano loro alcun disturbo. Resta da valutare se l'attivazione di trasmissioni 5G, provenienti da stazioni radio base solitamente co-situate con stazioni 4G-LTE, e quindi ubicate in aree di prossimità dell'antenna TV di ricezione, possano creare ulteriori problemi a questi impianti televisivi. Inoltre, non è escluso che gli impianti che sono stati protetti dai segnali 4G-LTE, possano comunque subire interferenza dovuta alla presenza dei soli segnali 5G-NR.

3 – Il servizio Help Interferenze

I risultati ottenuti da questo studio sono principalmente finalizzati a fornire elementi utili per il progetto HELP Interferenze [1][2], che mette a disposizione un servizio di assistenza agli utenti che segnalano disturbi nella ricezione televisiva a causa dei fenomeni interferenziali generati dalle stazioni radiobase degli operatori radiomobili operanti nella porzione di banda UHF superiore ai 694 MHz.

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

Il servizio è realizzato dal MIMIT con la collaborazione della Fondazione Ugo Bordoni e degli operatori dei sistemi radio mobili. Il servizio è regolato da un'apposita normativa (D.M. 165/2013[6]) e offre ai cittadini la possibilità di:

- informarsi sui potenziali disturbi alla ricezione televisiva riscontrabili da parte dell'utenza e causati dalla presenza dei segnali LTE e/o 5G;
- verificare se l'area in cui è ubicato il proprio impianto televisivo rientri nelle aree geografiche interessate da potenziali interferenze LTE e/o 5G;
- richiedere adeguata assistenza per la risoluzione del problema, qualora se ne riscontri la presenza nel proprio impianto.

Anche in altri paesi europei sono state studiate attività di monitoraggio e supporto agli utenti del servizio televisivo digitale terrestre soggetti a interferenze da segnali LTE. Il Regno Unito, la Francia e la Svezia sono stati i Paesi particolarmente attivi in questo senso [7-9].

Le mappe di rischio [10] rappresentano gli output del modello di simulazione adottato per fronteggiare il problema, valutate in specifiche aree georeferenziate. Individuano le aree del territorio nazionale dove i sistemi di ricezione DVB-T o T2, singoli o centralizzati, sono potenzialmente soggetti a malfunzionamenti dovuti ai segnali provenienti dai sistemi gestiti dagli operatori radio mobili (vedi Figura 3).

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

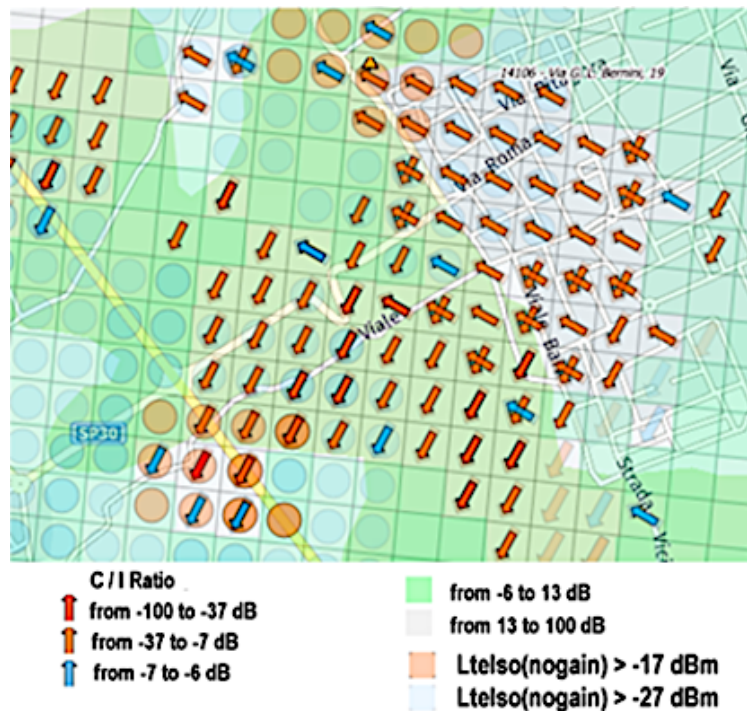


Figura 3 - Esempio di Mappa di Rischio

Il suddetto modello di simulazione consente di stimare il rischio di interferenza riscontrabile nelle aree del territorio interessate dall'operatività delle Base Station radiomobili e si basa sull'impiego di informazioni provenienti da:

- il database delle stazioni base LTE e 5G attivate sul territorio, fornito dagli operatori;
- la banca dati delle emittenti televisive, messa a disposizione dal MIMIT;
- modelli digitali di elevazione del terreno, riferiti al territorio nazionale;
- modelli di propagazione radio dei segnali di interesse;
- modelli di fenomeni interferenziali causati dai segnali radiomobili sui segnali TV, basati su risultati sperimentali.

Proprio quest'ultimo modello è oggetto del presente studio e si cercherà di determinarne le caratteristiche attraverso la campagna di misure illustrata nei successivi paragrafi.

4 – Setup sperimentale per le misure in laboratorio

A supporto delle attività previste nel progetto Help Interferenze è stata condotta una campagna di misure sperimentali mirata alla valutazione dei fenomeni interferenziali descritti, avvalendosi della riproduzione, in un ambiente controllato, di scenari operativi che possono essere riscontrati in situazioni di impiego reali.

Il setup sperimentale allestito allo scopo nel laboratorio messo a disposizione dall'Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione (ISCTI) comprende strumentazione professionale per la generazione, misura e analisi dei segnali oggetto di questo studio.

In Figura 4 è illustrata una rappresentazione schematica del banco di misura adottato e in Figura 5 è invece mostrata un'immagine del banco, con evidenza degli apparati impiegati per il suo allestimento.

Il setup sperimentale prevede due sezioni principali: quella dedicata ai segnali televisivi digitali (DTT) e quella riguardante i segnali radiomobili LTE/5G.

Nella sezione dedicata ai segnali TV, vengono generati due segnali di test: il primo, di tipo DVB-T2, che fornisce una sequenza video con codifica HEVC, utilizzato come segnale TV vittima; il secondo segnale, di tipo DVB-T, utilizzato come segnale interferente per generare esso stesso dei prodotti di intermodulazione che disturbano altri segnali TV, una volta posto all'ingresso dell'amplificatore, al pari dei segnali LTE e 5G.

Nella sezione LTE/5G vengono invece generati fino a 3 segnali radiomobili. Essi possono essere due segnali da 10 MHz, di cui uno secondo lo standard LTE e l'altro secondo lo standard 5G (un esempio di tali segnali è fornito al paragrafo 5), oppure due segnali LTE/5G da 30 MHz. In quest'ultimo caso, non avendo un numero sufficiente di generatori a disposizione, il segnale 4G-LTE è stato generato combinando un segnale LTE da 20 MHz con uno da 10 MHz, miscelando le due uscite di uno stesso generatore. Viceversa, poiché lo standard lo prevede, il segnale da 30 MHz 5G è stato ottenuto utilizzando un unico generatore di segnali.

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

La configurazione con i due segnali da 30 MHz intende simulare il contesto operativo in cui tutti e tre gli operatori assegnatari delle frequenze radiomobili, sia LTE sia 5G, stiano trasmettendo in contemporanea nelle vicinanze di un'antenna TV, per considerare il caso di maggior disturbo possibile al segnale televisivo vittima.

I segnali, dopo essere stati generati, sono convogliati, attraverso dei miscelatori, su un cavo coassiale che, in un impianto reale, rappresenterebbe il cavo all'uscita dell'antenna TV dell'utente. Il segnale risultante così ottenuto viene infine posto all'ingresso di un amplificatore a larga banda televisivo.

Il setup sperimentale prevede anche la possibilità di far transitare il segnale, prima di essere amplificato, attraverso un filtro LTE/800MHz al fine di verificare il comportamento di un impianto TV già adattato per mitigare gli effetti prodotti dai segnali radiomobili emessi in banda 800 MHz.

L'analisi dei segnali che transitano nelle varie sezioni del banco può essere eseguita:

- con un analizzatore di spettro, per l'analisi in frequenza e in potenza del segnale;
- con un misuratore di campo, per l'analisi dei parametri caratteristici del segnale ricevuto (C/N, MER, VBER, CBER, livello di potenza);
- con un ricevitore TV, per l'analisi soggettiva del segnale ricevuto DVB-T2/HEVC sul canale TV vittima.

Nella sezione di ricezione che precede il ricevitore TV è anche prevista la presenza di un attenuatore variabile, la cui funzione è quella sia di simulare l'attenuazione presente nella catena di ricezione a causa della dorsale in cavo coassiale nelle condizioni d'uso reali, sia per ridurre gli elevati livelli di potenza del segnale all'uscita dell'amplificatore che potrebbero danneggiare gli apparati riceventi a valle.

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

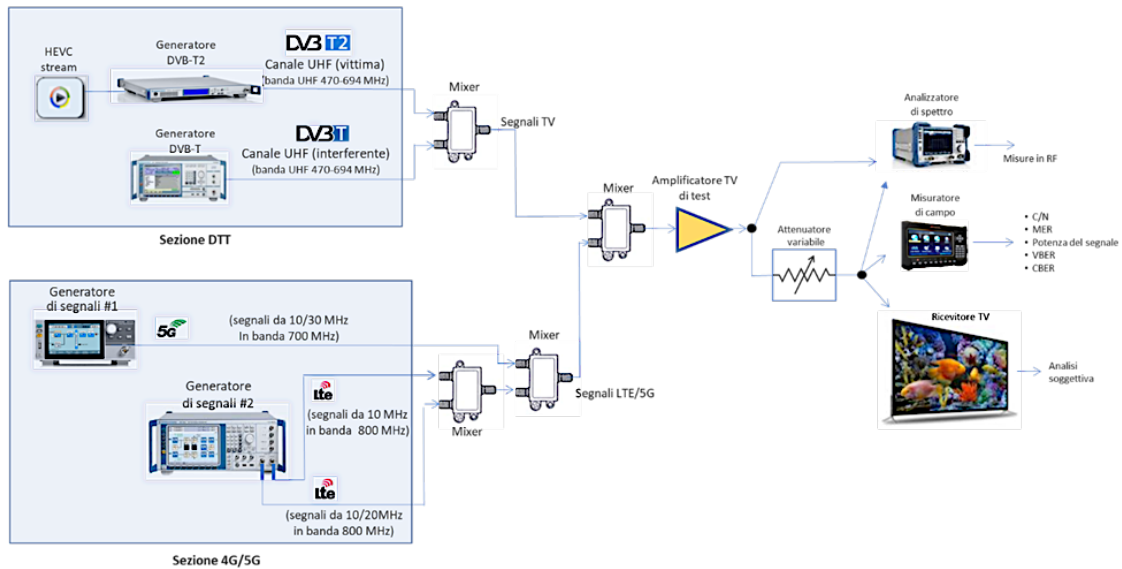


Figura 4 - Schema generale del banco di misura per lo studio delle interferenze causate dai segnali LTE/5G su quelli DVB-T2

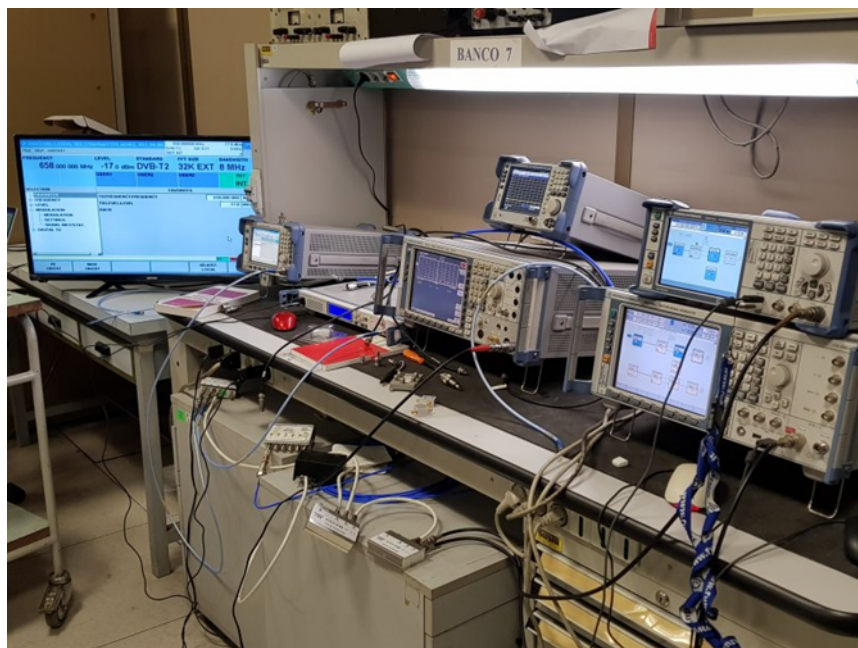


Figura 5 – Immagine del setup sperimentale allestito in laboratorio

5 – Configurazione dei segnali radiomobili

Come accennato in precedenza, in questo contesto sperimentale i segnali di downlink 4G-LTE/5G-NR sono quelli che danno luogo al contributo più significativo di interferenza sul segnale TV utile, essendo quelli generati dalle stazioni radiobase. Ciò avviene sia perché tali segnali sono trasmessi ad un livello di potenza più elevato, se confrontati con quelli emessi in uplink dai terminali utilizzati dall'utente, sia perché le stazioni radio base sono generalmente posizionate sui tetti degli edifici e quindi molto in prossimità delle antenne TV riceventi rispetto ai terminali d'utente.

Tali segnali downlink interferenti sono stati configurati in accordo con quanto previsto dalla WRC-07 [11] e WRC-15 [12], e con riferimento alla normativa fissata dalle autorità europee. Più in dettaglio, secondo quanto stabilito nelle Technical Specification 3GPP TS 36.211 [13] e 3GPP TS 38.211 [14], i segnali 4G-LTE e 5G-NR sono caratterizzati dalla tecnica FDD duplexing, e lo spettro dedicato alle trasmissioni in downlink si estende rispettivamente da 791 MHz a 821 MHz, per i segnali in standard 4G-LTE, e da 758 MHz a 788 MHz, per i segnali in standard 5G-NR. Nella Tabella 1 sono riassunte le impostazioni dei segnali radiomobili configurate sui generatori impiegati in laboratorio e adottate per effettuare le misure sperimentali. Per completezza, si fornisce in figura 6 e figura 7 la configurazione spettrale dei rispettivi segnali 4G-LTE e 5G-NR ottenuti in uscita dai generatori, con il dettaglio della configurazione di trama OFDM nel caso di trasmissione a pieno carico (100% delle portanti dati utilizzate per la trasmissione di payload utile).

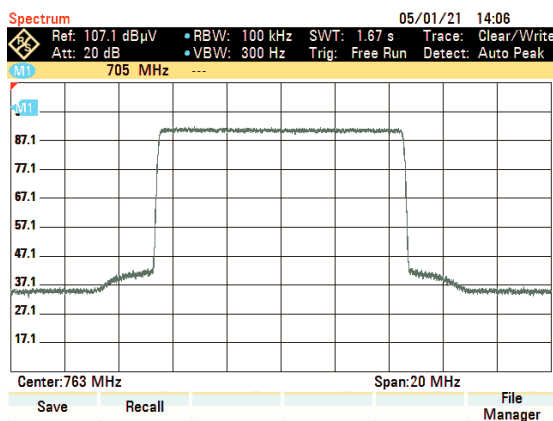
Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

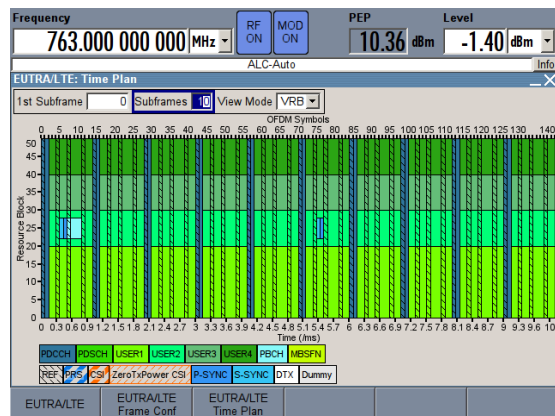
Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

Tabella 1 – Impostazioni principali dei segnali radiomobili utilizzati nelle misure sperimentali

Segnale	Parametro	Valori considerati	
4G-LTE	Larghezza di banda del segnale	10 MHz	20 MHz
	Distanza tra le sottoportanti	15 kHz	
	Numero di Resource blocks	50	100
	Numero di sottoportanti	601	1201
	Banda occupata	9,015 MHz	18,015 MHz
	User data load	100% o idle	
5G-NR	Larghezza di banda del segnale	10 MHz	30 MHz
	Distanza tra le sottoportanti	30 kHz	
	Numero di Resource blocks	24	78
	Numero di sottoportanti	288	936
	Banda occupata	8,64 MHz	28,08 MHz
	User data load	100% o idle	



(a)



(b)

Figura 6 – Segnale 4G-LTE da 10 MHz utilizzato nelle misure sperimentali: (a) spettro; (b) utilizzo delle sottoportanti OFDM con i dati utente (carico al 100%)

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

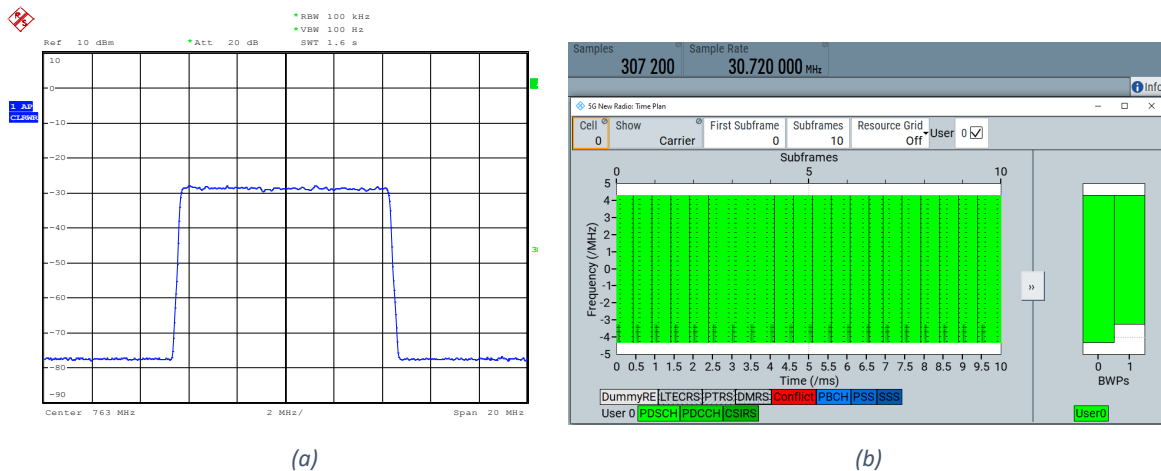


Figura 7 – Segnale 5G-NR da 10 MHz utilizzato nelle misure sperimentali: (a) spettro; (b) Timeplan con i dati utente (carico al 100%)

6 – Configurazione dei segnali DTT

Il segnale vittima considerato in questo studio è un segnale DVB-T2 di riferimento, conforme allo standard ETSI Rec. EN 302 755 [15]. Inoltre, è stato anche considerato un segnale aggiuntivo DVB-T, conforme allo standard ETSI Rec. EN 300 744 [16] per lo studio del contributo dei prodotti misti di intermodulazione citati nel paragrafo 8. I livelli di potenza di riferimento ammissibili sia per il segnale DVB-T sia per quello DVB-T2 all'ingresso dell'amplificatore a banda larga sono direttamente correlati alle caratteristiche di intermodulazione dell'amplificatore stesso, che sono normalmente fornite dal costruttore in termini di livello massimo del segnale (in dBm o dB μ V), all'uscita dell'amplificatore, in grado di garantire un adeguato livello del rapporto segnale/intermodulazione.

In particolare, uno dei metodi adottati per valutare il livello di segnale massimo accettabile all'ingresso dell'amplificatore ($P_{ref-max}$) utilizza i prodotti di intermodulazione del 3° ordine, misurati secondo la guida CEI/CENELEC 100-7 [5].

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

Secondo questo metodo, il livello di riferimento da prendere in considerazione è quello che si ottiene quando due toni di pari livello di potenza, posti ad una distanza spettrale Δf ed applicati all'ingresso dell'amplificatore, danno luogo, all'uscita dell'amplificatore, ai corrispondenti segnali amplificati, il cui livello di potenza (P_{tone}) deve essere 60 dB (P_{Δ}) più elevato rispetto al livello di potenza dei prodotti di intermodulazione del 3° ordine che vengono generati (P_{IM3}) alla stessa distanza Δf da ciascuno dei due toni (vedi Fig. 8). In tale configurazione, il livello di ciascun tono all'ingresso dell'amplificatore rappresenta il livello di potenza di ingresso di riferimento indicato nello studio come $P_{ref-max}$.

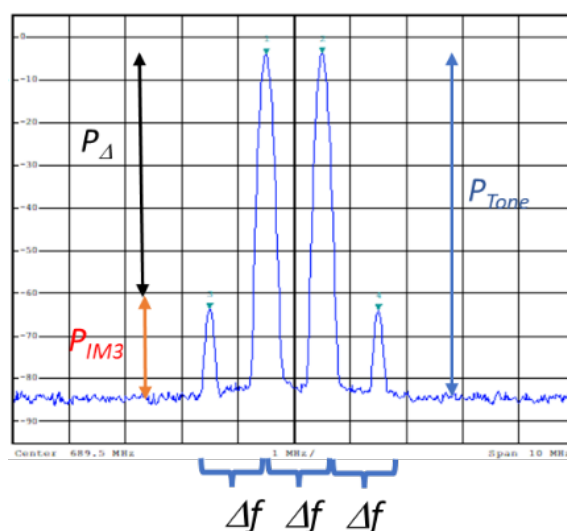


Figura 8 – Configurazione dei segnali all'uscita dell'amplificatore per determinare il valore di $P_{ref,max}$

Se il numero di canali DTT distribuiti nella banda di interesse è superiore a 2 o 3 unità, i prodotti di intermodulazione che ricadono all'interno di ogni singolo canale vittima aumenta con il numero di canali DTT. Considerando che gli amplificatori a banda larga hanno il compito di elevare i livelli di potenza di un numero N di canali TV compresi nella banda UHF, occorre assicurarsi che il segnale in uscita, per ogni canale, sia adeguatamente inferiore al valore fornito dal costruttore (livello nominale dell'amplificatore). In tal senso, in accordo a quanto

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

indicato nella guida CEI 100-7, è opportuno diminuire il guadagno dell'amplificatore di una quantità che, espressa in dB, è pari a $10 \log (N-1)$.

In corrispondenza di uno specifico valore massimo di riferimento (P_{ref_max}), valutato con la suddetta procedura, è anche possibile individuare un livello minimo di riferimento (P_{ref_min}) per i segnali DVB-T2/T all'ingresso dell'amplificatore. Infatti, secondo la guida CEI/CENELEC 100-7, si deve considerare che i segnali ricevuti in antenna che possono essere amplificati senza ricorrere ad un impianto canalizzato, sono soggetti a variazioni di livello entro l'intervallo di ± 6 dB. Di conseguenza, il livello di riferimento minimo può essere determinato sottraendo 12 dB dal livello di riferimento massimo.

Nelle misure sperimentali considerate, rispetto all'approccio del caso peggiore, il segnale vittima (DVB-T2) è stato fissato al livello minimo di potenza di riferimento P_{ref_min} (pari a $P_{ref_max} - 12$) e il segnale DVB-T, che ricopre il ruolo di segnale ricevuto che contribuisce a generare interferenze di intermodulazione verso altri specifici canali TV, è stato fissato al massimo livello di potenza di riferimento P_{ref_max} .

Per effettuare le misure sperimentali previste, i generatori di segnale della sezione DTT di Fig. 4 sono stati configurati impostando i parametri dei segnali DVB-T/T2 con i valori delle *system variant* tipicamente adottate in Italia per l'erogazione del servizio DTT (vedi Tabella 2).

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

Tabella 2 - Impostazioni principali dei segnali TV

Segnale	Parametro	Valore
DVB-T2 (segnale vittima)	Livello di potenza del segnale all'ingresso dell'AMP	$P_{ref-min}$
	Modulazione digitale	256 QAM
	Code Rate	2/3
	Intervallo di guardia	1/16
	FFT	32K ext
	Pilot Pattern	PP4
DVB-T (segnale interferente, quando utilizzato)	Livello di potenza del segnale all'ingresso dell'AMP	$P_{ref-max}$
	Modulazione digitale	64 QAM
	Code Rate	1/2
	Intervallo di guardia	1/16

7 – Stream video utilizzato per il segnale video DVB-T2

Il segnale video utilizzato per modulare le portanti del segnale vittima DVB-T2 nelle prove di misura è lo stream digitale "Bosphorus" [17], con risoluzione HD (1920 x 1080) YCC:420, 8 bit, convertito in formato h265/HEVC.

In Fig.9a è mostrato un frame di questo video, così come appare in condizioni di ricezione ottime e in Fig. 9b lo stesso frame quando è soggetto a disturbi legati a fenomeni interferenziali.

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

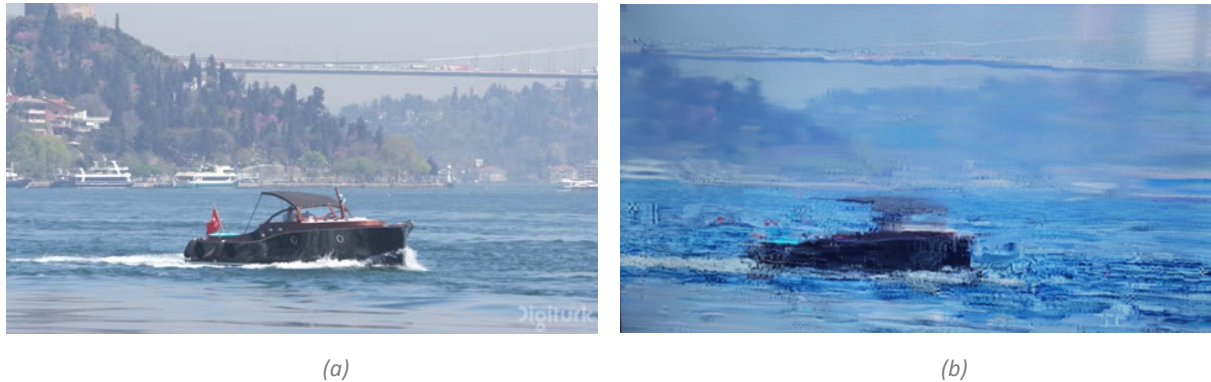


Figura 9 – Frame del video “Bosphorus” utilizzato per le misure sperimentali (a) originale; (b) in presenza di disturbi interferenziali

8 – Amplificatori a larga banda in banda UHF e la problematica dei prodotti di intermodulazione

La necessità di amplificare e di miscelare un notevole numero di segnali, trasmessi anche su bande diverse, ha stimolato nel tempo la produzione di amplificatori VHF/UHF dotati di più ingressi, ognuno riservato a una specifica banda di frequenza. A seconda dei modelli di amplificatori considerati, i vari ingressi possono avere amplificazioni differenziate.

In generale, per quanto riguarda i segnali amplificati, il livello massimo di uscita è normalmente compreso tra 100mV e 1V (100 – 120 dB μ V). Questo livello, secondo quanto indicato nella guida CEI 100-7, è determinato misurando il contributo di intermodulazione introdotto dall'amplificatore, utilizzando il metodo dei due toni descritto al paragrafo 6, tenendo presente che, all'aumentare del numero N dei canali in ingresso da amplificare, il segnale massimo ammesso in uscita, come detto, va ridotto secondo la relazione $10\log(N-1)$. In pratica risulta più agevole considerare che la riduzione del livello di uscita è di circa 3dB per ogni raddoppio del numero dei canali ricevuti oltre al primo (3dB per 2+1 canali, 6dB per 4+1 canali, 9dB per 8+1 canali, etc.).

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

Gli amplificatori presentano delle non linearità nel loro funzionamento, che crescono con l'aumentare del livello di segnale in ingresso. La conseguenza di questo comportamento è la generazione di segnali indesiderati, legati alla frequenza ed all'ampiezza di quelli entranti, che possono cadere entro i canali amplificati con conseguente disturbo sui segnali utili.

Per prevedere il tipo di distorsione che ha luogo nell'amplificatore, bisogna conoscere la caratteristica di trasferimento dell'amplificatore, cioè la relazione che lega l'ampiezza del segnale di uscita a quella del segnale in ingresso. Nel caso di amplificatori che lavorano in condizioni lineari, la caratteristica di trasferimento è data dalla relazione $V_u = k_1 \cdot V_i$, dove k_1 è il fattore di proporzionalità tra il segnale entrante e quello uscente.

Quando invece l'ampiezza dei segnali entranti è tale da far lavorare l'amplificatore nella zona non lineare della sua caratteristica, la relazione tra l'ampiezza del segnale in entrata e quello in uscita è molto più complessa e può essere approssimativamente espressa ricorrendo allo sviluppo polinomiale di tale caratteristica. Come ulteriore semplificazione, i termini di questo sviluppo si possono limitare a quelli con potenza pari a 3 e risultano definiti dai coefficienti del secondo grado k_2 , e dai coefficienti del terzo grado k_3 .

In particolare, ci si riferisce ad un dispositivo non lineare con caratteristica ingresso-uscita del tipo:

$$V_u = k_1 V_i + k_2 V_i^2 + k_3 V_i^3$$

nel quale si considera il segnale entrante $V_i = A \cos 2\pi f_a t + B \cos 2\pi f_b t + C \cos 2\pi f_c t$, costituito dalla somma di tre segnali sinusoidali rispettivamente di ampiezze A, B e C e frequenze f_a , f_b e f_c . La Tabella 3 indica, per ogni terna di portanti immesse nel dispositivo non lineare del tipo sopra indicato, le frequenze e le ampiezze dei segnali risultanti che, normalmente, vengono chiamati prodotti d'intermodulazione del 2° e del 3° ordine.

Tabella 3 – Non linearità generate da un amplificatore (rif. Guida CEI 100-7)

Ordine delle non linearità	Ampiezze dei segnali	Frequenze dei segnali
Secondo ordine	$k_2 AB$	$ f_a \pm f_b $
	$k_2 AC$	$ f_a \pm f_c $
	$k_2 BC$	$ f_b \pm f_c $
Terzo ordine	$(3/4) k_3 A^2B$	$2f_a \pm f_b$
	$(3/4) k_3 A^2C$	$2f_a \pm f_c$
	$(3/4) k_3 B^2A$	$2f_b \pm f_a$
	$(3/4) k_3 B^2C$	$2f_b \pm f_c$
	$(3/4) k_3 C^2A$	$2f_c \pm f_a$
	$(3/4) k_3 C^2B$	$2f_c \pm f_b$
	$(3/2) k_3 ABC$	$ f_a \pm f_b \pm f_c $

Negli amplificatori di canale, il disturbo di maggiore interesse è quello generato dalla non linearità del terzo ordine in quanto questo disturbo si può facilmente ritrovare all'interno della banda passante dell'amplificatore di canale.

In relazione a questo aspetto, nel 2017, è stata pubblicata dall'ETSI la norma armonizzata EN 303 354 [18] nella quale sono indicati i requisiti che devono rispettare gli amplificatori a larga banda televisivi al fine di essere conformi al requisito 3.2 della direttiva 2014/35/EU (anche denominata direttiva RED - *Radio Equipment Directive*) [19] riguardante l'uso efficace ed efficiente dello spettro, con la quale l'Europa ha deciso di rivedere i requisiti che i dispositivi radio, come i trasmettitori, i ricevitori e le ricetrasmittenti, devono rispettare per poter essere posti in vendita. Tale normativa, entrata in vigore a partire dal giugno 2016 e recepita dall'ordinamento italiano con il decreto legislativo 22 giugno 2016 n. 128 [20], in relazione al requisito riguardante l'intermodulazione prodotta da un amplificatore a larga banda

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

televisivo, stabilisce che il punto di intercetta del terzo ordine (TOI), valutato in base al livello di potenza del segnale all'ingresso del dispositivo, deve risultare superiore ai -4 dBm.

Come illustrato in Figura 10, il punto di intercetta del terzo ordine è il punto immaginario in cui le potenze di uscita del segnale utile e della intermodulazione del terzo ordine sarebbero uguali, nell'ipotesi idealizzata che tali potenze aumentino rispettivamente di 1 dB/dB e 3 dB/dB rispetto alla potenza di ingresso.

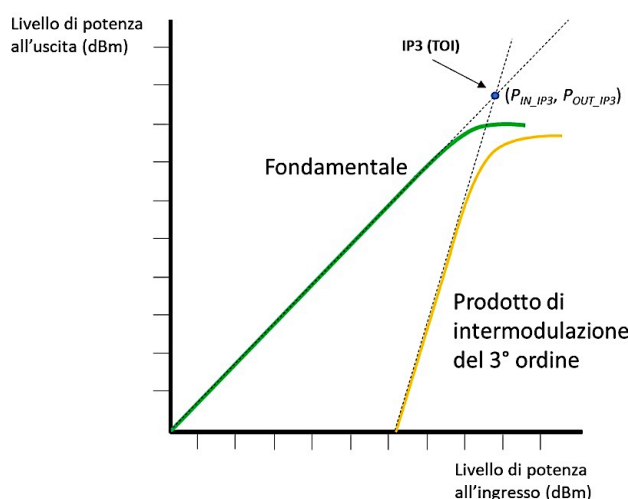


Figura 10 – Rappresentazione grafica della risposta di un amplificatore e determinazione del punto di intercetta del terzo ordine (IP3)

In modo analogo, se i segnali all'ingresso dell'amplificatore sono tre ed hanno un livello di potenza tale da far lavorare l'amplificatore in zona non lineare, lo sviluppo in serie che approssima il segnale in uscita produce componenti del terzo ordine e tra queste quella di maggior rilievo per l'analisi che si sta conducendo è la componente (1, 1,-1). In questo caso, se i toni all'ingresso dell'amplificatore sono alle frequenze f_1 , $f_2 > f_1$ e $f_3 > f_2$, all'uscita dell'amplificatore si presenta, oltre ai tre toni in ingresso amplificati, un tono aggiuntivo alla frequenza $f = f_1 + f_2 - f_3$, molto vicina alle frequenze dei segnali in ingresso, e quindi potenzialmente dannoso per i segnali nelle bande adiacenti.

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

Anche in questo caso si dimostra che, in zona non lineare, il livello di potenza di tale componente aumenta di 2dB per ogni dB di aumento di ciascuno dei segnali interferenti LTE e 5G all'ingresso dell'amplificatore. Questa situazione è quella che si verifica quando si considerano i segnali 5G e LTE in *downlink* nelle bande dei 700 MHz e degli 800 MHz a cui si aggiunge l'effetto dovuto alla presenza di un segnale TV molto forte (che nello studio attuale sarà simulato con un segnale DVB-T) nella banda 470-694 MHz (vedi Fig.11). Tale contributo interferenziale, legato alla combinazione di segnali di tipologia diversa, sarà indicato nel seguito come prodotto di intermodulazione misto IMD_{mix} .

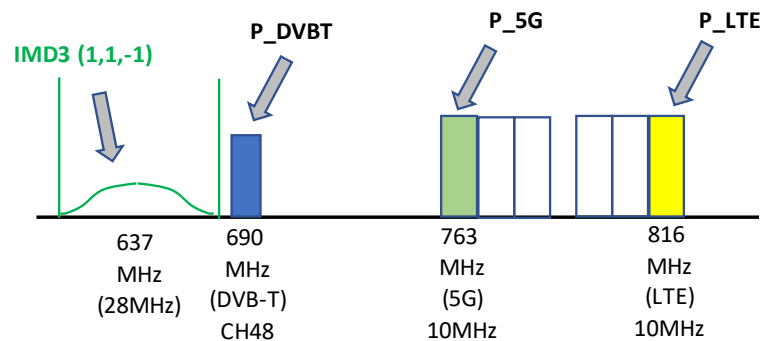


Figura 11– Esempio di prodotti di intermodulazione del terzo ordine generati con i tre segnali 5G, LTE e DVB-T

Per lo studio proposto gli amplificatori a larga banda utilizzati nell'attività sperimentale sono quelli elencati in Tabella 4. Nell'analisi sono state considerate anche non linearità di ordine superiore al terzo e, in particolare, quelle del 5° ordine. È opportuno evidenziare che le non linearità del 5° ordine iniziano ad avere un impatto sulla qualità del segnale utile in transito nell'amplificatore per livelli del segnale all'ingresso dell'amplificatore più elevati rispetto a quelli riscontrabili con le non linearità di ordine inferiore, e quindi determinano generalmente un effetto meno nocivo.

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

Tabella 4 – Valori di targa e altre informazioni degli amplificatori utilizzati nell'attività sperimentale

Amplificatore	Potenza di riferimento nominale (dBmV) (*)	Guadagno (dB) (*)	Filtro LTE	Certificato RED
Fracarro MAP501	108	20	No	No
Digitsat 55/30290	108	24	No	No
Digitsat 55/30320	116	32	No	No
FET MCUU3/S	108	32	Si	No
Evology 39	100	23	No	No
Digitsat 55/30270	108	24	No	No
Digitsat 55/30310	113	32	No	No
Fracarro MAP208	115	34	No	Si
Fracarro MAP3R3 T2	120	28	Si	Si
Fracarro MBJ3rFM	116	32	Si	Si

(*) I valori indicati sono dichiarati dal costruttore

Nel prosieguo del documento i suddetti dieci amplificatori saranno indicati genericamente con il nome AMP# seguito da un numero. Poiché l'obiettivo dello studio non è quello di valutare gli amplificatori singolarmente ma determinare la risposta fornita nelle varie configurazioni sperimentali nel loro complesso, non viene fornita una corrispondenza tra l'amplificatore e l'indicazione a esso associata.

9 – Metodo di misura adottato

Al fine di quantificare gli effetti dell'interferenza provocata dai prodotti di intermodulazione che vengono a generarsi all'uscita dell'amplificatore a larga banda sulla corretta ricezione dei canali DVB-T2, si considera solitamente il rapporto di protezione (I_{tot}/C_{ref}) come il parametro di misura da calcolare per discriminare efficacemente le situazioni operative in cui il servizio televisivo può risultare realmente compromesso rispetto a quelle in cui eventuali disservizi sono provocati da cause non legate alla presenza di intermodulazione che, per il caso in esame, deriva dall'impiego di segnali radiomobili nella banda inferiore al GHz.

In particolare, si è interessati a determinare un valore teorico di soglia per tale parametro, al di sopra del quale la corretta ricezione dei canali DVB-T2 può risultare difficoltosa, se non addirittura impossibile nei casi più sfavoriti.

Per definizione, con la grandezza I_{tot} ci si riferisce quindi al livello di potenza complessivo dei segnali radiomobili (5G ed LTE), considerati fonte di interferenza e valutati all'ingresso dell'amplificatore, in corrispondenza del quale si rilevano disturbi di ricezione sul segnale vittima, e con C_{ref} al livello di potenza del segnale televisivo più elevato ricevuto in antenna, anch'esso misurato all'ingresso dell'amplificatore. Nello specifico, il valore C_{ref} , in accordo con la norma CEI, può essere ottenuto valutando il più alto livello di potenza accettabile all'ingresso dell'amplificatore affinché venga portato ad operare in una zona della sua caratteristica in cui il contributo dovuto all'intermodulazione non risulta nocivo per il segnale che lo attraversa, sfruttando il metodo dei due toni indicato al par. 6.

In sostanza, quindi, si è considerata la seguente formulazione del parametro di misura adottato:

Equazione 1. Rapporto di protezione

$$I_{tot}/C_{ref} (dB) = 10 * \log_{10}(10^{(P_{LTE_in}/10)} + 10^{(P_{5G_in}/10)}) - P_{ref-max}$$

in cui si è indicato con:

P_{LTE_in} il livello di potenza del segnale LTE (misurato in dBm) all'ingresso dell'amplificatore TV in corrispondenza del quale viene degradata la qualità dell'immagine video del segnale TV desiderato;

P_{5G_in} il livello di potenza del segnale 5G (misurato in dBm) all'ingresso dell'amplificatore TV in corrispondenza del quale viene degradata la qualità dell'immagine video del segnale TV desiderato;

$P_{ref-max}$ il livello di potenza del segnale DVB-T2 vittima (misurato in dBm) all'ingresso dell'amplificatore TV.

9.1 – Procedura adottata per effettuare la misura

Con l'obiettivo di arrivare a determinare il valore di soglia indicato al paragrafo precedente per il parametro I_{tot}/C_{ref} , occorre attuare una specifica procedura operativa costituita da un insieme di passi successivi da realizzare nell'ordine in cui vengono presentati nel seguito. Ciò ripetuto su ciascun amplificatore di cui si sia interessati a determinare la risposta nelle condizioni operative descritte, e per ciascun canale TV sul quale, mediante calcolo teorico, ci si aspetti una effettiva interferenza dovuta alla presenza dell'effetto dell'intermodulazione generata nell'amplificatore stesso.

1. Caratterizzare, in fase preliminare, tutti gli elementi passivi coinvolti nel banco di misura realizzato in laboratorio (cavi coassiali, mixer, attenuatori, adattatori, ecc.), valutandone la tipologia di risposta in frequenza presentata nella banda UHF di interesse, nonché i contributi di attenuazione esercitati sui segnali in transito.
2. Selezionare un flusso video HEVC con cui alimentare il generatore DVB-T2, per disporre di un segnale di test da impiegare nell'analisi soggettiva con cui valutare la qualità del segnale voluto nelle condizioni di ricezione di interesse. Tale segnale deve essere configurato impostando i parametri di trasmissione specificati in Tabella 2.
3. Installare nel banco sperimentale di misura uno degli amplificatori da analizzare, individuato come uno di quelli comunemente impiegati in campo, per situazioni di ricezione reali.
4. Individuare il valore di potenza $P_{ref-max}$ per l'amplificatore in esame, impiegando il metodo a due toni descritto al paragrafo 6, con i due toni frequenziali ottenuti utilizzando i generatori DVB-T e DVB-T2 a disposizione nel banco di misura. Successivamente, determinare il conseguente valore $P_{ref-min} = P_{ref-max} - 12$.
5. Impostare il generatore DVB-T2 per la trasmissione del flusso video HEVC sul canale in cui ci si attende la presenza del contributo interferenziale dovuto all'intermodulazione che risulti maggiormente nocivo per la configurazione sperimentale in esame, impostando un livello di potenza in uscita dal generatore tale che il corrispondente

valore all'ingresso dell'amplificatore sia pari al livello minimo di potenza di riferimento $P_{ref-min}$, definito al passo 4.

6. Configurare il ricevitore TV per la corretta ricezione del canale DVB-T2 impostato al passo 5. Ciò dovrebbe consentire di visualizzare sullo schermo TV il segnale video HEVC, selezionato al punto 2, senza imperfezioni.
7. Se previsto dalla configurazione sperimentale in esame, impostare il generatore DVB-T per la trasmissione di un segnale televisivo nella banda 470-694 MHz, che risulti anch'esso interferente rispetto al segnale vittima impostato al passo 5. Ciò per valutare il contributo interferenziale dovuto ai prodotti di intermodulazione del terzo ordine misto, illustrati al paragrafo 8. Il livello di potenza con cui tale segnale esce dal generatore dovrà essere tale da risultare in ingresso all'amplificatore pari a $P_{ref-max}$, individuato al passo 4, ponendosi così nelle condizioni di ricezione peggiori per il segnale utile.
8. Impostare i parametri di trasmissione dei segnali 5G-NR e LTE sui rispettivi generatori con valori adeguati alla configurazione sperimentale in esame (larghezza di banda, frequenza centrale, carico di traffico: 100% o modalità idle), coerentemente a quanto specificato in Tabella 1.
9. Partendo da un livello di potenza iniziale con cui i segnali LTE e 5G-NR vengono trasmessi alle uscite RF dei rispettivi generatori, tali che i due segnali radiomobili risultino allo stesso livello di potenza del segnale televisivo di riferimento ($P_{ref-max}$) all'ingresso dell'amplificatore, incrementare tale valore iniziale di potenza fino a quando non si osserva la presenza di disturbi sul segnale video HEVC che ne inficiano la qualità visiva percepita dall'utente (effetto di pixel presenti nell'immagine video, rilevati entro un intervallo di osservazione di almeno 30 secondi). Nei casi in cui la configurazione sperimentale lo richieda, la stessa analisi deve essere condotta anche in presenza del segnale DVB-T disturbante, per valutarne l'effetto in combinazione con

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

quello derivante dai segnali radiomobili. Occorre specificare che la scelta di disporre di due segnali radiomobili di pari potenza in ingresso all'amplificatore è stata fatta perché, seppur consci che tale scelta consente di valutare il comportamento di una specifica situazione implementativa in cui le antenne trasmettenti LTE e 5G-NR sono co-locate nello stesso sito fisico, consente di fare riferimento comunque ad uno scenario molto realistico, che sarà probabilmente quello maggiormente implementato dagli operatori di telefonia mobile per il roll-out delle proprie reti 5G. Ciò anche in funzione della necessità di delimitare lo studio riducendo l'insieme di misurazioni utili da condurre ad una quantità ragionevole in relazione al tempo e alle risorse disponibili per l'analisi da svolgere, mantenendo l'attenzione sui casi ritenuti di maggior interesse rispetto all'enorme volume di misurazioni potenziali possibili. Tuttavia, al fine di avere un'idea sull'impatto che potrebbe produrre un dislivello in potenza tra i due segnali radiomobili, è stata prevista una configurazione sperimentale nella quale, solo per un amplificatore, è stata analizzata questa situazione operativa.

10. Registrazione dei livelli di potenza dei segnali LTE e 5G-NR, all'ingresso dell'amplificatore, misurati nelle condizioni descritte al passo 9, e loro successivo impiego per la determinazione del valore di soglia del parametro I_{tot}/C_{ref} tramite l'applicazione della formula (1). Tale valore di soglia risulta, ovviamente, caratteristico della configurazione sperimentale considerata e dell'amplificatore posto in esame.
11. Ripetizione dei passi da 5 a 10 per tutti i canali TV nella banda 470-694 MHz che si prevede saranno maggiormente influenzati dai prodotti di intermodulazione, il cui effetto sia ritenuto maggiormente distruttivo sul segnale utile per la configurazione sperimentale considerata.

10 – Descrizione delle prove sperimentali svolte in laboratorio

Come evidenziato in precedenza, i prodotti di intermodulazione generati dalle non linearità della caratteristica ingresso-uscita degli amplificatori a banda larga, sono la causa della presenza di segnali indesiderati all'uscita dell'amplificatore su portanti poste a distanze prestabilite da quelle dei segnali di ingresso, che, in determinate condizioni operative, possono degradare il segnale video utile, specialmente se i segnali indesiderati all'ingresso dell'amplificatore (cioè quelli radiomobili) hanno livelli di potenza prossimi a quelli nominali dell'amplificatore.

L'interferenza generata dai prodotti di intermodulazione provoca, di conseguenza, una perdita di qualità sul segnale TV vittima e quando i livelli di potenza di questi prodotti sono sufficientemente elevati, l'immagine video risultante potrebbe presentare artefatti o, in casi estremi, si potrebbe registrare la perdita totale del segnale vittima.

I risultati delle misure effettuate nel presente studio contribuiscono alla valutazione del fenomeno di interferenza sopra menzionato e sono stati ottenuti facendo riferimento ad alcune configurazioni sperimentali ritenute di maggior interesse, che vengono dettagliate nel seguito.

10.1 – Configurazione #1 – Segnali 4G-LTE e 5G-NR entrambi con larghezza di banda pari a 10 MHz

In questa configurazione, mostrata in Fig.12, vengono considerati solo i segnali radiomobili interferenti LTE e 5G che operano in downlink e con larghezza di banda pari a 10MHz. Sono trasmessi rispettivamente sulle portanti 816 MHz e 763 MHz, allo stesso livello di potenza. Questi segnali vengono posti all'ingresso dell'amplificatore insieme al segnale DVB-T2 vittima, trasmesso sui canali UHF dal 42 al 47 (i canali su cui ci si attende la maggiore interferenza dovuta ai prodotti di intermodulazione del 5° ordine) ad un livello di potenza pari a P_{ref_min} ($P_{ref_max} - 12$ dB).

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

In questo caso i prodotti di intermodulazione del 3° ordine, generati dai segnali LTE e 5G, non disturbano i canali TV presi in esame, dal momento che cadono al di fuori della banda 470-694 MHz.

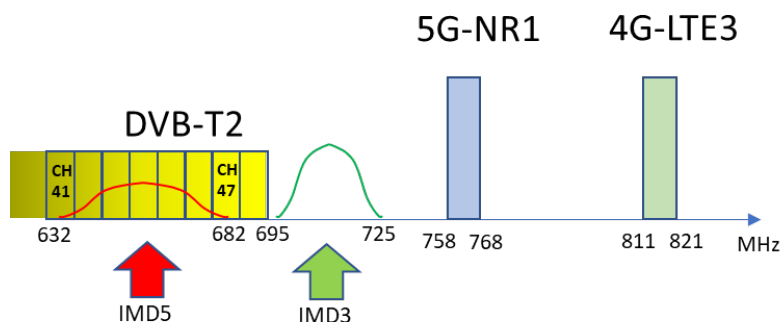


Figura 12 – Segnali presi in considerazione nella configurazione #1

10.1.1 – Breve descrizione dei risultati ottenuti

Nella Fig. 13 sono riportati i valori del rapporto di protezione I_{tot}/C_{ref} ottenuti dalle misure sperimentali svolte in laboratorio per la configurazione #1.

Dall'esame dei risultati mostrati in figura si osserva come il rapporto di protezione, al variare dei canali su cui si misura l'effetto interferenziale, presenta un andamento analogo per tutti e sette gli amplificatori considerati, con il valore minimo in corrispondenza del canale UHF 44 che risulta effettivamente quello maggiormente interessato dal disturbo generato dai prodotti di intermodulazione. In particolare, gli amplificatori che risultano essere maggiormente sensibili al disturbo sono risultati AMP #1 e AMP #6 e il valore minimo si rileva in corrispondenza dell'amplificatore AMP #6 per il quale il rapporto di protezione assume il valore pari a circa 12 dB.

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

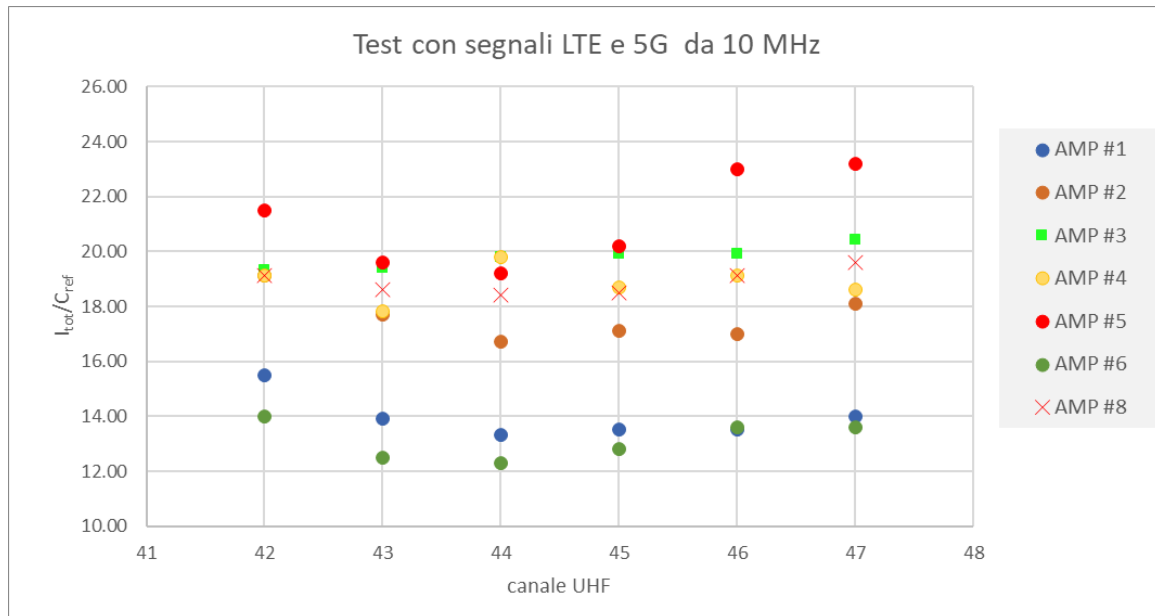


Figura 13 – Rapporto di protezione nella configurazione #1

10.2 - Configurazione #2 – Segnali 4G-LTE e 5G-NR entrambi con larghezza di banda pari a 10 MHz e con aggiunta di un segnale DVB-T interferente sul canale 48 UHF

In questa configurazione, ai due segnali radiomobili di pari potenza LTE e 5G, con larghezza di banda di 10 MHz, della Configurazione #1, viene aggiunto all'ingresso dell'amplificatore un ulteriore segnale interferente DVB-T immesso sul canale UHF 48, con un livello di potenza pari a P_{ref_max} (vedi Fig.14). Il segnale DVB-T2 vittima è trasmesso sui canali UHF da 40 a 43, con un livello di potenza pari a P_{ref_min} all'ingresso dell'amplificatore. L'interferenza, in questa configurazione sperimentale, è causata principalmente dalla combinazione dei tre segnali interferenti, DVB-T, 5G e LTE in grado di generare i prodotti di intermodulazione del 3° ordine di tipo misto $IMD_{mix}(1, 1, -1)$, laddove, come evidenziato anche nella Tab.3, la frequenza del segnale interferente che crea il disturbo maggiore è determinata dalla somma delle frequenze dei tre segnali, prese in ordine crescente, ciascuna considerata con il segno + o - a seconda del segno assunto rispettivamente dai coefficienti racchiusi all'interno della parentesi.

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

Si noti che la scelta di impostare il livello di potenza del segnale utile DVB-T2 e del segnale di disturbo DVB-T rispettivamente ai valori P_{ref_min} e P_{ref_max} è giustificata dalla necessità di considerare il caso peggiore dal punto di vista dell'interferenza misurabile.

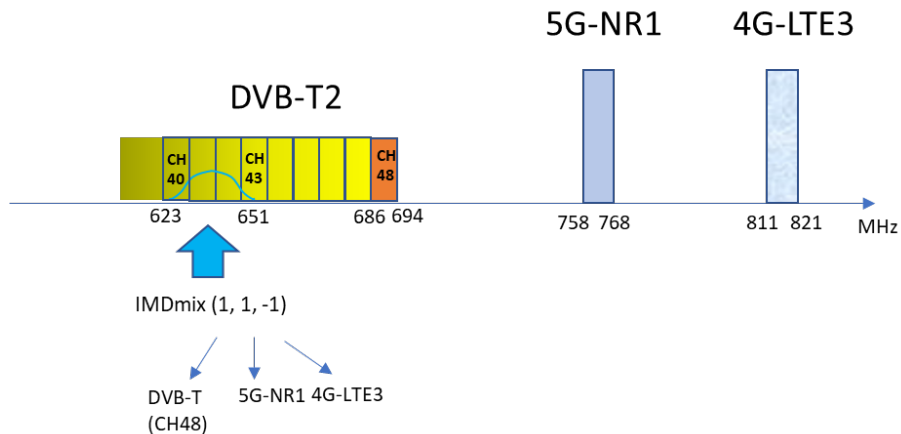


Figura 14 – Segnali presi in considerazione nella configurazione #2

10.2.1 – Breve descrizione dei risultati ottenuti

Nella Fig. 15 sono riportati i valori del rapporto di protezione ottenuti dalle misure sperimentali svolte in laboratorio per la configurazione #2.

Dall'esame della figura si osserva che anche in questo caso, per tutti e otto gli amplificatori considerati, l'andamento del disturbo generato dai prodotti di intermodulazione non cambia al variare dei canali su cui si misura l'effetto interferenziale. Il valore minimo del rapporto di protezione si presenta in corrispondenza dei canali UHF 41 e 42, che sono quindi quelli che risentono maggiormente dell'intermodulazione, e il risultato peggiore è quello ottenuto con l'amplificatore AMP #1 per il quale il rapporto I_{tot}/C_{ref} assume un valore di circa 14 dB.

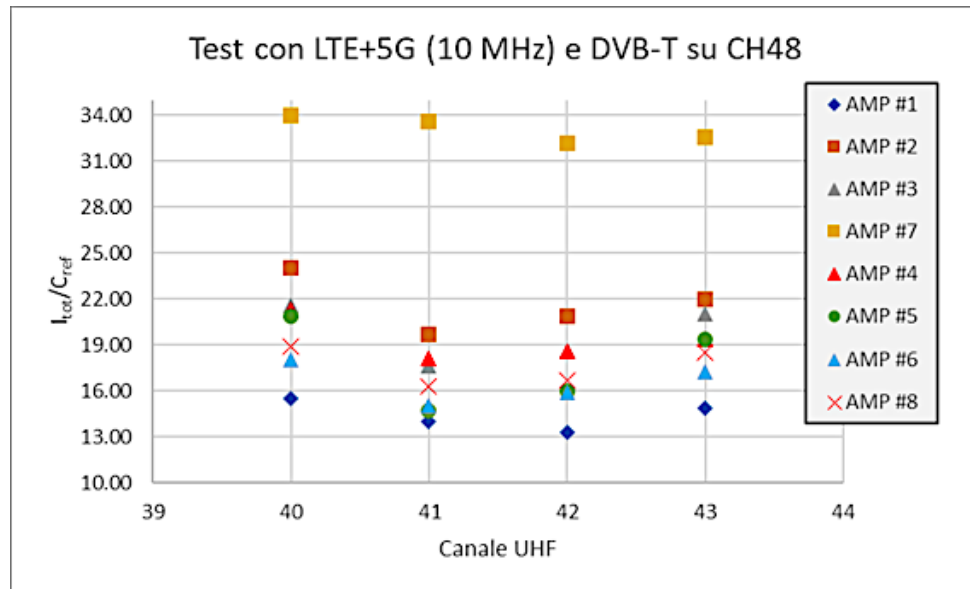


Figura 15 – Rapporto di protezione nella configurazione #2

10.3 - Configurazione #3 – Segnali 4G-LTE e 5G-NR entrambi con larghezza di banda pari a 10 MHz con aggiunta di un segnale DVB-T interferente sul canale 48 UHF e in presenza di un filtro LTE

Questa configurazione è sostanzialmente identica alla Configurazione #2 con la sola differenza che in questo caso è stato inserito un filtro per la banda 800 MHz prima dell'amplificatore (vedi Fig.16). Lo scopo di questo test è valutare l'impatto dei prodotti di intermodulazione quando il segnale LTE è fortemente attenuato, determinando quindi il comportamento di impianti di ricezione TV sui quali si è già intervenuti per limitare le interferenze dovute all'attivazione del servizio radiomobile LTE. In questa configurazione il segnale DVB-T2 vittima è stato posto sui canali UHF da 38 a 41 ad un livello di potenza tale da risultare pari a P_{ref_min} all'ingresso dell'amplificatore, in quanto è su questi canali che si prevede la presenza di un contributo maggiore delle componenti interferenziali. In questo caso l'interferenza è principalmente causata da prodotti di intermodulazione misti (2, -1, 0), come mostrato in Figura 17.

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

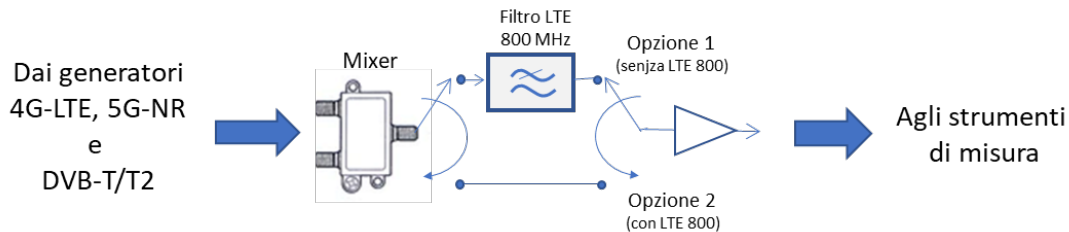


Figura 16 – Dettaglio della sezione del banco di misura che include il filtro LTE

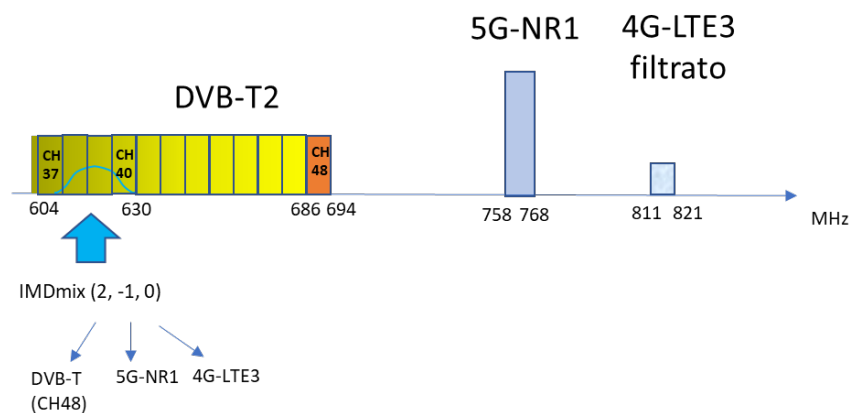


Figura 17 – Segnali presi in considerazione nella configurazione #3

10.3.1 – Breve descrizione dei risultati ottenuti

Nella Fig. 18 sono riportati i valori del rapporto di protezione ottenuti dalle misure sperimentali svolte in laboratorio.

In questo caso l'analisi è stata svolta con sei amplificatori.

Dall'esame dei risultati ottenuti si osserva come, in questa configurazione, l'andamento dei valori del rapporto di protezione al variare dei canali vittima considerati, risulta non uniforme per tutti gli amplificatori presi in esame. Il valore peggiore del rapporto di protezione non è più presente sui canali UHF 41 e 42, essendo differente il prodotto di intermodulazione misto che offre il maggior contributo interferente. In questo caso il segnale LTE risulta assumere livelli molto bassi all'ingresso dell'amplificatore e l'intermodulazione è generata prevalentemente dal segnale 5G e dal segnale DVB-T sul canale UHF 48, come mostrato in Fig.17.

Venendo a mancare un importante segnale interferente, il sistema di ricezione risulta essere maggiormente protetto rispetto alle altre configurazioni analizzate e ciò è dimostrato dai maggiori valori ottenuti per il rapporto di protezione a parità di amplificatore impiegato nel banco di misura.

In particolare, per questa configurazione l'AMP #9 è quello che ha avuto il comportamento meno buono, ed il corrispondente valore minimo del rapporto di protezione è risultato essere pari a circa 18 dB.

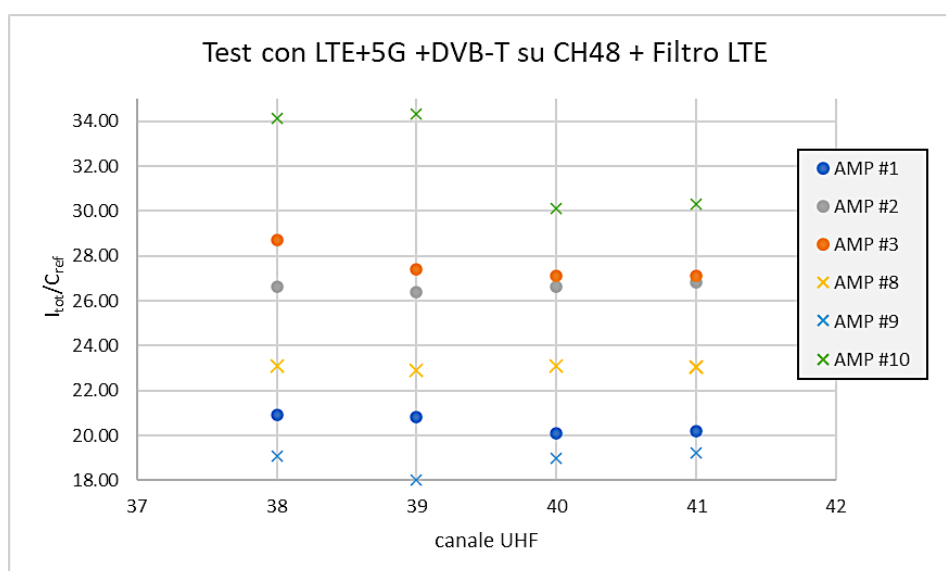


Figura 18 - Rapporto di protezione nella configurazione #3

10.4 - Configurazione #4 - Segnali 4G-LTE e 5G-NR trasmessi in tutte e tre le bande da 10 MHz assegnate agli operatori mobili

In questa configurazione è stato simulato l'impiego di tutti e tre i segnali 5G-NR e 4G-LTE da 10 MHz, attribuiti agli operatori mobili rispettivamente nelle bande 700 MHz e 800 MHz (vedi Fig.19). A causa dell'indisponibilità di un numero sufficiente di generatori in laboratorio, i segnali LTE sono stati ottenuti componendo due segnali LTE, il primo di banda 20 MHz e il secondo di banda 10 MHz. Al contrario, nel caso dei tre segnali 5G, è stato utilizzato un singolo

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

segnale di larghezza di banda 30 MHz. Anche in questo caso si è deciso di operare con segnali interferenti trasmessi allo stesso livello di potenza.

Questi segnali vengono posti all'ingresso dell'amplificatore congiuntamente al segnale DVB-T2 vittima su cui verranno valutati gli impatti di interferenza, quest'ultimo trasmesso sui canali UHF dal 46 al 48. In questa configurazione, infatti, l'interferenza, come mostrato in Fig.19, è causata principalmente dai prodotti di intermodulazione del 5° ordine, dal momento che quella causata dai prodotti di intermodulazione del 3° ordine va a cadere al di fuori della banda del segnale vittima.

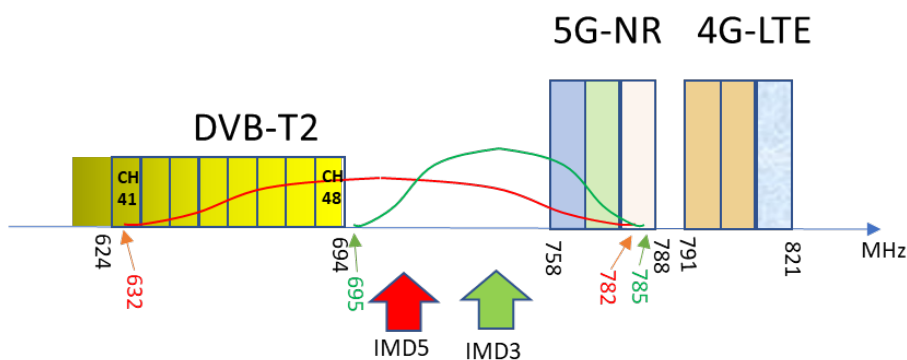


Figura 19 – Segnali presi in considerazione nella configurazione #4

10.4.1 – Breve descrizione dei risultati ottenuti

Nella Fig. 20 sono riportati i valori del rapporto di protezione ottenuti dalle misure sperimentali svolte in laboratorio.

L'analisi è stata svolta con sei amplificatori.

I risultati illustrati in figura evidenziano che il rapporto di protezione, pur mostrando un andamento che va generalmente peggiorando man mano che ci si avvicina al canale teoricamente più disturbato dai prodotti di intermodulazione (il canale UHF 48), mantiene un grado di variabilità compreso nel range ottenuto con la configurazione #1, nella quale si avevano però un numero inferiore di segnali radiomobili interferenti.

In questo caso, l'amplificatore che presenta il comportamento peggiore è AMP #4 con il valore di I_{tot}/C_{ref} minimo di 12 dB raggiunto in corrispondenza del canale UHF 48.

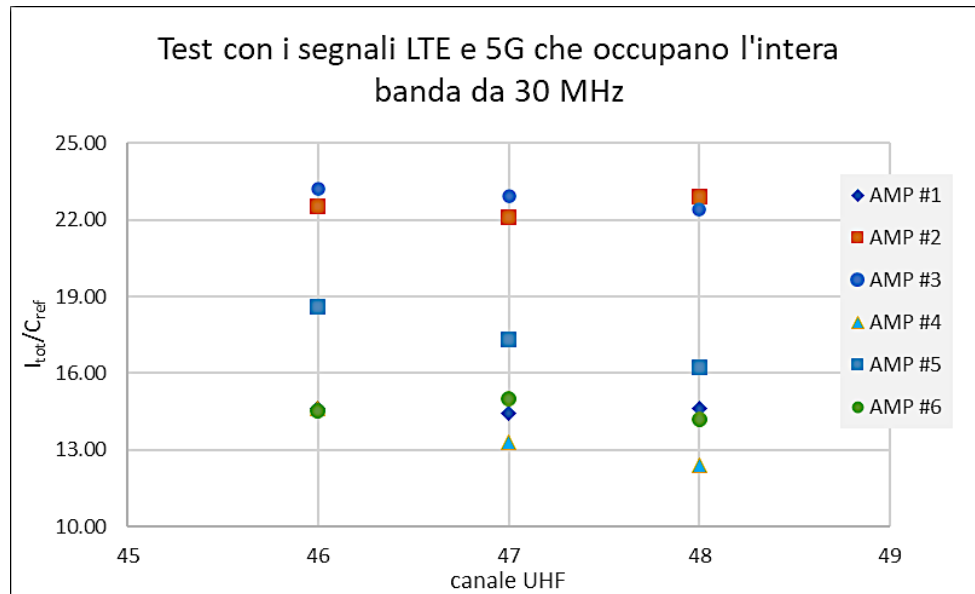


Figura 20 - Rapporto di protezione nella configurazione #4

10.5 - Configurazione #5 - Segnali 4G-LTE e 5G-NR entrambi con larghezza di banda 10 MHz in stato IDLE

A differenza di tutte le precedenti configurazioni indicate, dove i segnali radiomobili interferenti sono stati impostati per operare in situazione di pieno carico dal punto di vista del payload dati trasportato, in questa configurazione i segnali 4G-LTE e 5G-NR interferenti da 10 MHz, di pari livello di potenza all'ingresso dell'amplificatore e trasmessi sulle stesse portanti di frequenza utilizzate nella configurazione #1, sono stati impostati per operare in condizioni di carico di tipo "IDLE". In questo caso non c'è trasmissione di dati utili, ma solo segnali di controllo dalla rete mobile. Tali segnali vengono posti all'ingresso dell'amplificatore insieme al segnale DVB-T2 vittima operante sui canali UHF da 43 a 45. Anche in questa configurazione l'interferenza è principalmente causata da prodotti di intermodulazione del 5° ordine.

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

10.5.1 – Breve descrizione dei risultati ottenuti

Nella Fig. 21 sono riportati i valori del rapporto di protezione ottenuti dalle misure sperimentali svolte in laboratorio.

L'analisi è stata svolta con quattro amplificatori.

Dall'esame dei risultati ottenuti si osserva come, in questa configurazione, il rapporto di protezione mostri una limitata variabilità al variare del canale UHF considerato, praticamente per tutti gli amplificatori considerati. Questo risultato dipende dalle caratteristiche specifiche dei segnali interferenti i quali, in questa condizione operativa, convogliano solo i segnali di controllo previsti dal protocollo di comunicazione e nessun dato utente.

In questa configurazione il comportamento peggiore si è avuto con AMP #1 sul canale 44, con il valore minimo del rapporto di protezione pari a circa 13 dB, comunque molto vicino a quello ottenuto nella analoga configurazione #1 quando i segnali radiomobili erano trasmessi a pieno carico.

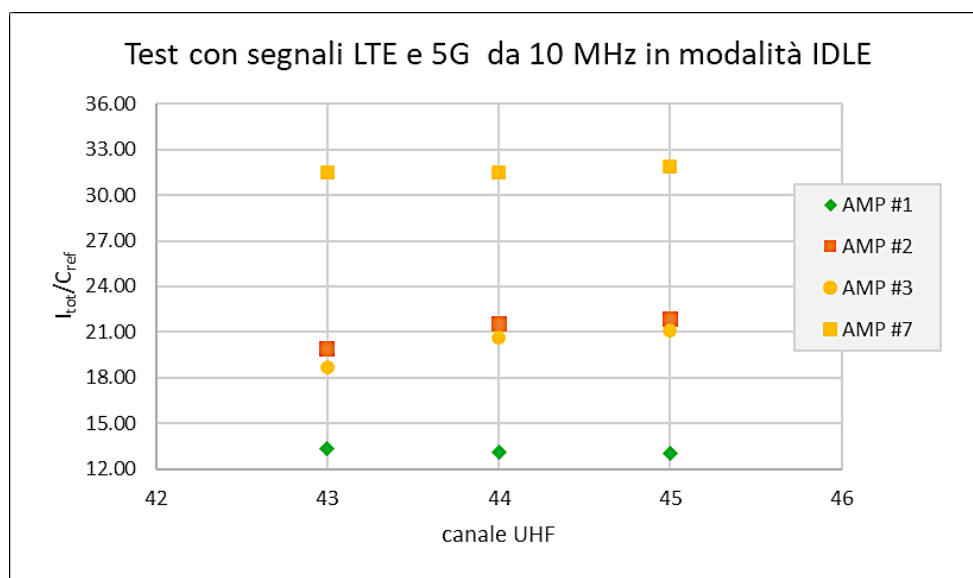


Figura 21 - Rapporto di protezione nella configurazione #5

10.6 - Configurazione #6 - Segnali 4G-LTE e 5G-NR entrambi con larghezza di banda 10 MHz ma con diversi livelli di potenza all'ingresso dell'amplificatore

Le configurazioni considerate in precedenza, per motivi di semplicità, facevano riferimento a segnali radiomobili interferenti aventi lo stesso livello di potenza in ingresso all'amplificatore. Questa configurazione dei segnali, pur riflettendo una situazione molto frequente che si presenta quando le SRB operanti a 700 e 800 MHz sono poste nello stesso sito, non rispecchia quella più generale nella quale i segnali interferenti sono ricevuti in antenna con livelli di potenza differenti. Tale analisi è stata successivamente realizzata considerando le stesse condizioni operative della configurazione #1, ma riducendo alternativamente il livello di uno dei due segnali radiomobili interferenti di 3dB, di 6 dB e di 10 dB rispetto all'altro segnale radiomobile, come illustrato in Fig. 22.

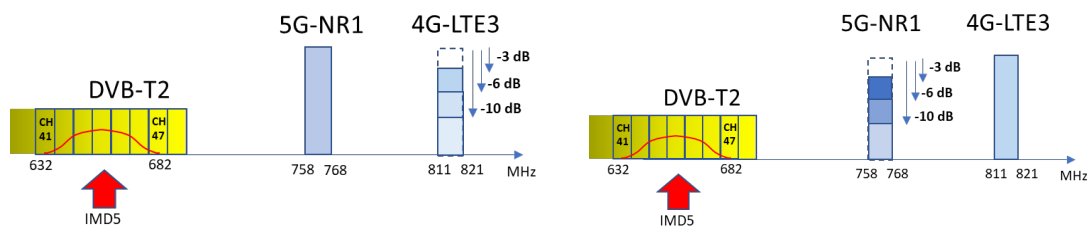


Figura 22 – Segnali presi in considerazione nella configurazione #6

10.6.1 – Breve descrizione dei risultati ottenuti

Nella Fig. 23 sono riportati i valori del rapporto di protezione ottenuti dalle misure sperimentali svolte in laboratorio.

Poiché l'obiettivo dello studio era quello di verificare l'impatto sui risultati ottenuti per il rapporto di protezione in presenza di segnali radiomobili ricevuti con differente livello di potenza in ingresso all'amplificatore, è stato deciso di svolgere l'analisi con il solo amplificatore AMP #1.

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

Prendendo in considerazione il canale UHF 44 che, in base alle considerazioni teoriche ma anche tenendo conto dei risultati ottenuti utilizzando la configurazione #1, dovrebbe essere quello maggiormente disturbato dai prodotti di intermodulazione del 5° ordine che vengono a determinarsi, si osserva che, forzando i segnali LTE e 5G ad assumere un differente livello di potenza all'ingresso dell'amplificatore, si ha un lieve miglioramento rispetto al caso di pari livello di potenza dei due segnali radiomobili, sempre in ingresso all'amplificatore, quando viene ridotto il livello del segnale LTE, mentre si osserva un lieve peggioramento quando la riduzione del livello viene eseguita sul segnale 5G. In entrambi i casi l'oscillazione massima del rapporto di protezione intorno al valore di riferimento assunto nel caso di pari livello di potenza dei due segnali (la linea blu con etichetta LTE+5G) è inferiore al dB e, in parte, ciò potrebbe essere anche determinato dall'incertezza di misura. Tuttavia, da questi risultati, sembra evidente una lieve tendenza al miglioramento del rapporto I_{tot}/C_{ref} nel caso di segnali 5G di potenza più elevata dei segnali LTE, almeno quando il dislivello rimane inferiore ai 6 dB.

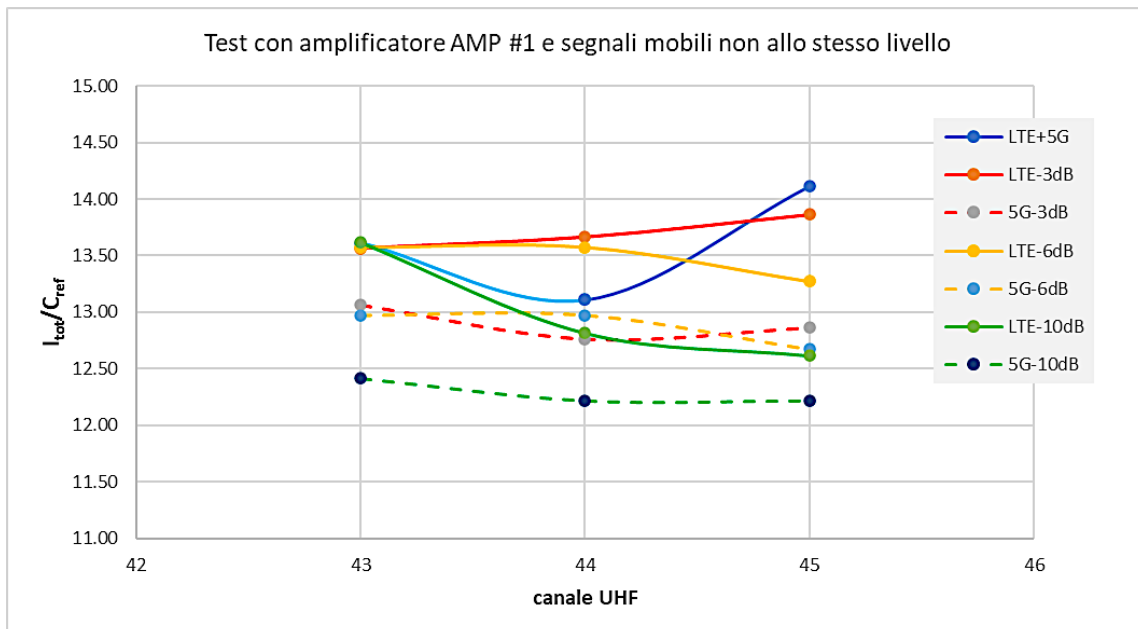


Figura 23 - Rapporto di protezione nella configurazione #6

10.7 - Configurazione #7 - Segnali 4G-LTE e 5G-NR entrambi con larghezza di banda 10 MHz con aggiunta di due segnali interferenti DVB-T sui canali 28 UHF e 36 UHF

Nelle configurazioni fino ad ora considerate si è preso in esame solo l'effetto di una parte dei potenziali prodotti di intermodulazione generati dai segnali ricevibili all'ingresso dell'amplificatore. In particolare, nella configurazione in cui all'ingresso dell'amplificatore vi sono due segnali radiomobili da 10 MHz e un segnale DTT, tutti e tre considerati segnali interferenti rispetto al segnale DVB-T2 utile, il fenomeno dell'intermodulazione si presenta non solo con la combinazione (1,1,-1), a frequenze inferiori rispetto alla portante del segnale DTT, ma anche, simmetricamente, con la combinazione (1,-1,1), a frequenze superiori rispetto alla portante del segnale DTT. Inoltre, da calcoli teorici, si può dimostrare che la posizione del contributo più elevato dei prodotti di intermodulazione viene a trovarsi ad una distanza dal centro della banda del segnale DTT interferente pari alla differenza dei rispettivi valori di centro banda dei segnali radiomobili. Data tale premessa si evince che se i segnali radiomobili sono 5G-NR1 e 4G-LTE1, cioè i primi canali radiomobili in downlink tra quelli assegnati agli operatori mobili in banda UHF (758-768 MHz per il servizio 5G e 791-801 MHz per il servizio LTE), per i quali la distanza tra i rispettivi valori del centro banda è pari a 33 MHz (796-763=33), come mostrato in Fig.24, e si considerano due segnali DTT interferenti posti sui canali UHF CH28 e CH36, i prodotti di intermodulazione che si determinano avranno influenza maggiore sul canale UHF CH32, che dista 32 MHz dagli altri due canali DTT CH28 e CH36 e quindi risente dell'effetto cumulativo dell'intermodulazione dovuta a ciascuno di questi due canali combinato con i due canali radiomobili.

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

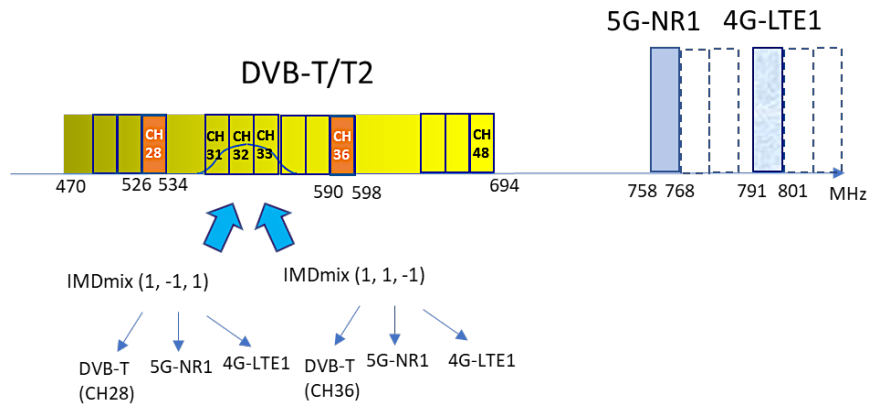


Figura 24 – Segnali presi in considerazione nella configurazione #7

Ovviamente anche in tale configurazione i segnali radiomobili sono stati configurati in modo tale da risultare di pari livello di potenza all'ingresso dell'amplificatore.

10.7.1 – Breve descrizione dei risultati ottenuti

Nella Fig. 25 sono riportati i risultati dell'analisi sperimentale condotta in laboratorio.

Per questa configurazione l'analisi è stata svolta con il solo amplificatore AMP #1.

Dal confronto delle due figure 25(a) e 25(b) che mostrano il disturbo risultante sul canale UHF 32 rispettivamente in assenza e in presenza del canale UHF 36, ma con la costante presenza del contributo dovuto alla presenza del segnale DTT sul canale 28, si osserva come il valore del disturbo complessivo, valutato con la funzione *channel power* dell'analizzatore di spettro, e dovuto alla combinazione dei due effetti interferenziali legati alla presenza di segnali DTT attivi sui canali UHF indicati, aumenta di circa 2,5 dB rispetto al caso in cui è presente il contributo interferente riferibile alla presenza del solo segnale DTT sul canale CH28. Occorre evidenziare che i singoli prodotti di intermodulazione che si vengono a determinare nei due casi non risultano centrati perfettamente sul canale UHF 32, poiché dal punto di vista teorico, per quanto affermato in precedenza, ciascuno dei due contributi interferenziali

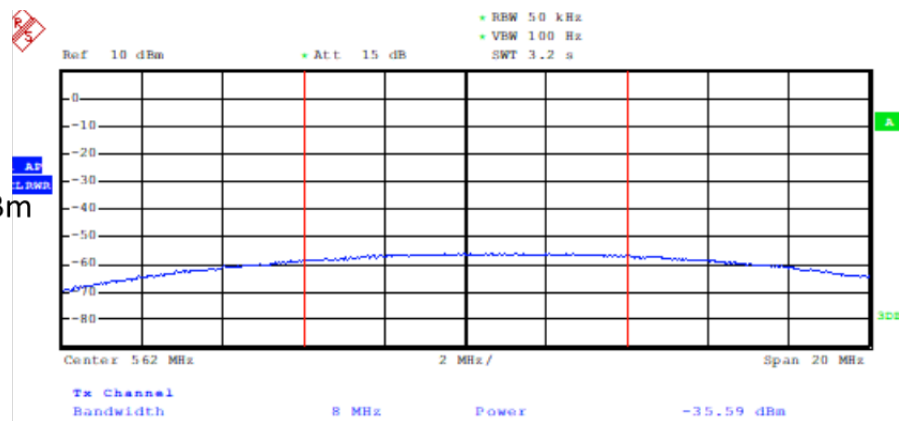
Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

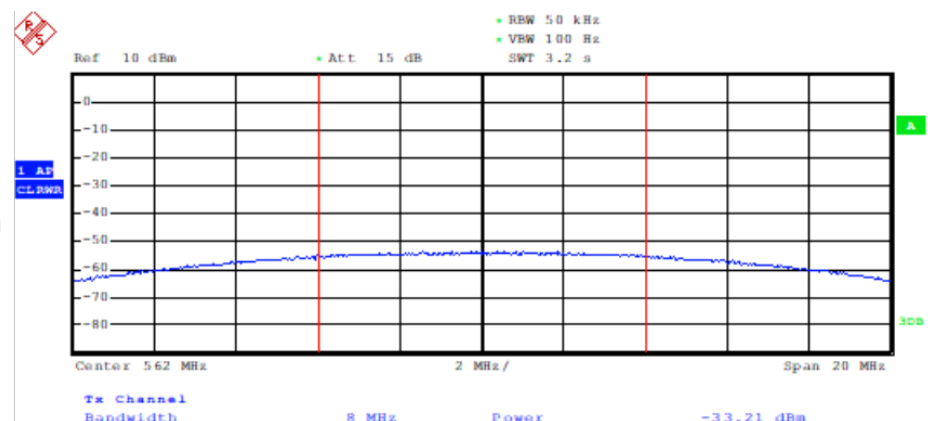
determinerebbe l'effetto massimo ad una distanza di 33 MHz rispetto alla frequenza centrale del canale 28 e del canale 36. Pertanto, tale contributo massimo risulterà spostato, rispetto alla frequenza centrale del canale UHF 32, rispettivamente di 1 MHz in eccesso, per l'intermodulazione generata attraverso il canale UHF 28, e di 1 MHz in difetto per l'intermodulazione generata attraverso il canale UHF 36. Questa analisi chiarisce, in definitiva, il motivo per cui non si ha un aumento di 3 dB complessivi del segnale interferente cumulativo che ci si sarebbe atteso nel caso di rigorosa sovrapposizione dei prodotti di intermodulazione.

Senza CH36
N+I = -35.7 dBm



(a)

Con CH36
N+I = -33.2 dBm



(b)

Figura 25 - Disturbo complessivo (N+I) risultante sul canale 32: (a) in presenza di un solo segnale interferente DTT sul CH28; (b) in presenza di due segnali interferenti DTT sul CH28 e sul CH36

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

10.8 - Configurazione #8 - Segnali 5G-NR1 e 5G-NR2 entrambi con larghezza di banda 10 MHz con aggiunta di un segnale interferente DVB-T sul canale 28 UHF

Un'ulteriore configurazione presa in esame è quella in cui all'ingresso dell'amplificatore sono presenti solo i segnali 5G-NR così come accade nei sistemi di ricezione MATV nei quali è presente un dispositivo che filtra la banda 800 MHz. Questa configurazione dei segnali, in qualche modo, riproduce quella già analizzata nella configurazione #3. Ma in questo caso si vuole verificare cosa accade quando i segnali 5G-NR che si presentano all'ingresso dell'amplificatore, a pari livello di potenza, sono due (5G-NR1 e 5G-NR2, cioè i primi due canali 5G downlink tra quelli assegnati agli operatori mobili in banda UHF), e vanno a combinarsi con il segnale DTT sul canale CH28, come illustrato in Fig. 26. La situazione che si presenta all'uscita dell'amplificatore è analoga a quella analizzata nella configurazione #7 solo che, in questo caso, il segnale televisivo considerato come disturbante per il segnale DVB-T2 utile è uno solo (il canale CH28 per l'appunto) e gli effetti interferenziali risultanti sono quelli determinati dai prodotti di intermodulazione che si generano sia sui canali precedenti che su quelli successivi rispetto a tale canale. Di conseguenza, come illustrato in Fig.26, i canali UHF vittima presi in considerazione sono quelli compresi tra i canali CH25 e CH31, escludendo ovviamente il CH28.

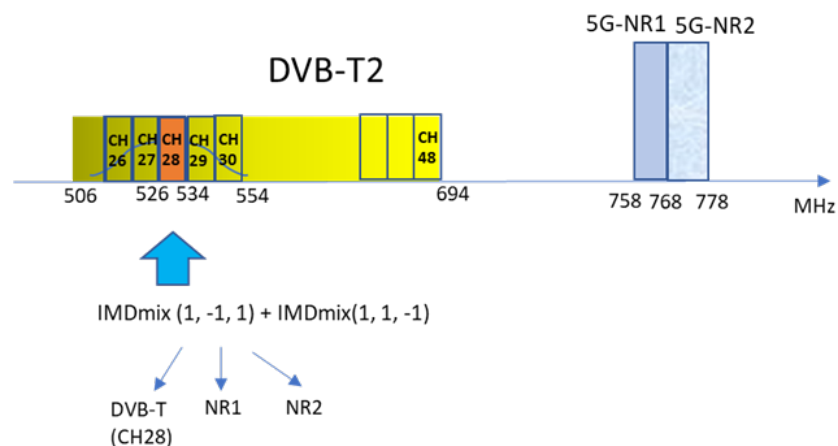


Figura 26 – Segnali presi in considerazione nella configurazione #8

10.8.1 – Breve descrizione dei risultati ottenuti

Nella Fig. 27 sono riportati i valori del rapporto di protezione ottenuti dalle misure sperimentali svolte in laboratorio.

In questa configurazione l'analisi è stata svolta con sei amplificatori.

Dall'esame dei risultati mostrati nel grafico si osserva come il rapporto di protezione, al variare del canale vittima, presenta un andamento analogo per tutti gli amplificatori presi in esame, con un valore minimo in corrispondenza dei canali adiacenti al canale UHF 28, essendo quelli maggiormente soggetti al disturbo generato dai prodotti di intermodulazione. In particolare, gli amplificatori che risultano essere maggiormente sensibili al disturbo e che quindi presentano un rapporto di protezione più basso, sono risultati AMP #1 e AMP #9. Il valore minimo di I_{tot}/C_{ref} rilevato per tali amplificatori è pari a circa 14 dB.

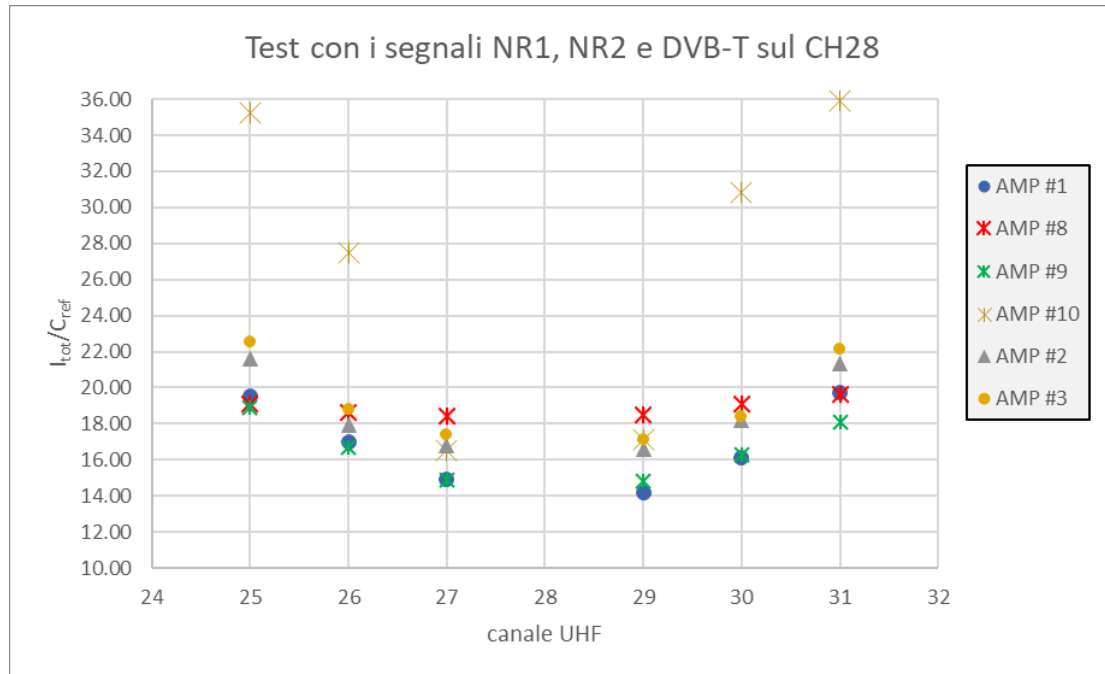


Figura 27 – Rapporto di protezione nella configurazione #8

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

10.9 - Configurazione #9 - Segnali 4G-LTE e 5G-NR entrambi con larghezza di banda 30 MHz con aggiunta di un segnale interferente DVB-T sul canale 28 UHF

In questo caso, come nella configurazione #4, verranno considerati tutti e tre i segnali 5G-NR e 4G-LTE da 10 MHz attribuiti agli operatori mobili nelle bande 700 MHz e 800 MHz. I segnali, come nelle altre configurazioni analizzate, sono configurati con lo stesso livello di potenza all'ingresso dell'amplificatore e combinati con un segnale DVB-T disturbante, immesso sul canale UHF 28 con un livello di potenza P_{ref_max} (vedi Fig.28). In questa configurazione il segnale DVB-T2 vittima sarà posto all'ingresso dell'amplificatore sui canali UHF da 21 a 27, ad un livello di potenza pari a P_{ref_min} . L'interferenza, in questa configurazione sperimentale, è determinata sia dai prodotti di intermodulazione del 3° ordine di tipo misto (1, 1, -1), come illustrato in Fig.28, sia da quelli già analizzati nella configurazione #8 che, in questo caso, producono un effetto combinato intorno al canale UHF 28, dovuto ai singoli segnali a 10 MHz, sia 5G-NR sia 4G-LTE (questo contributo è mostrato in Fig.28 cumulativamente con il simbolo IMD_{mix_cum}).

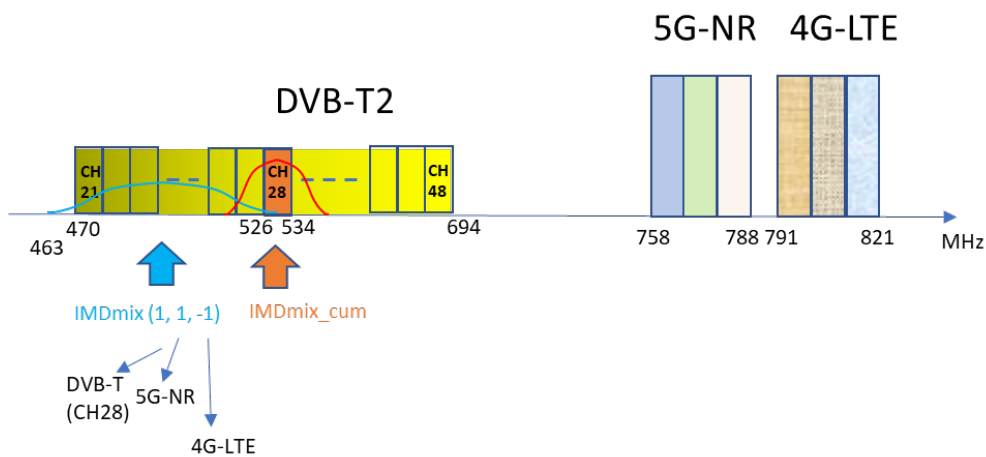


Figura 28 – Segnali presi in considerazione nella configurazione #9

10.9.1 – Breve descrizione dei risultati ottenuti

Nella Fig.29 sono riportati i valori del rapporto di protezione ottenuti dalle misure sperimentali svolte in laboratorio e in Fig.30 viene fornita una visualizzazione del segnale in uscita ad uno degli amplificatori analizzati, in cui sono evidenziati i segnali presi in considerazione e i prodotti di intermodulazione di interesse per questa configurazione sperimentale.

In questa configurazione l'analisi è stata svolta con sei amplificatori.

Dall'esame dei risultati ottenuti si osserva come, in questa configurazione, la presenza dei prodotti di intermodulazione $IMD_{mix}(1,1,-1)$ e, soprattutto, di quelli identificati con IMD_{mix_cum} , determina un andamento dei valori assunti dal rapporto I_{tot}/C_{ref} non regolare come nei casi delle configurazioni analizzate precedentemente. L'amplificatore che presenta il comportamento peggiore è AMP #6 che assume un valore minimo del rapporto di protezione pari a circa 12 dB in corrispondenza del canale UHF 27.

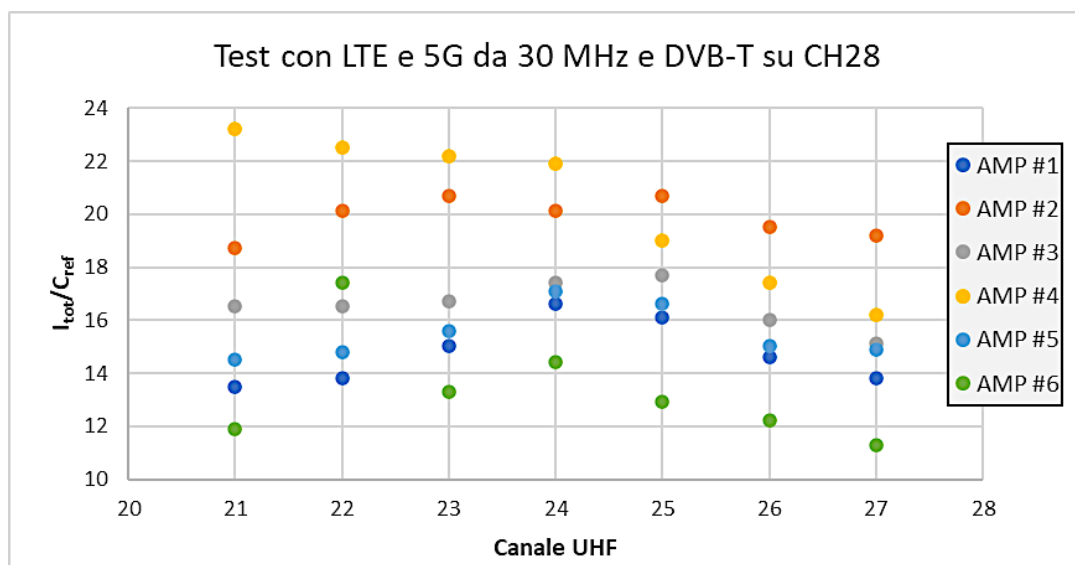


Figura 29 - Rapporto di protezione nella configurazione #9

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

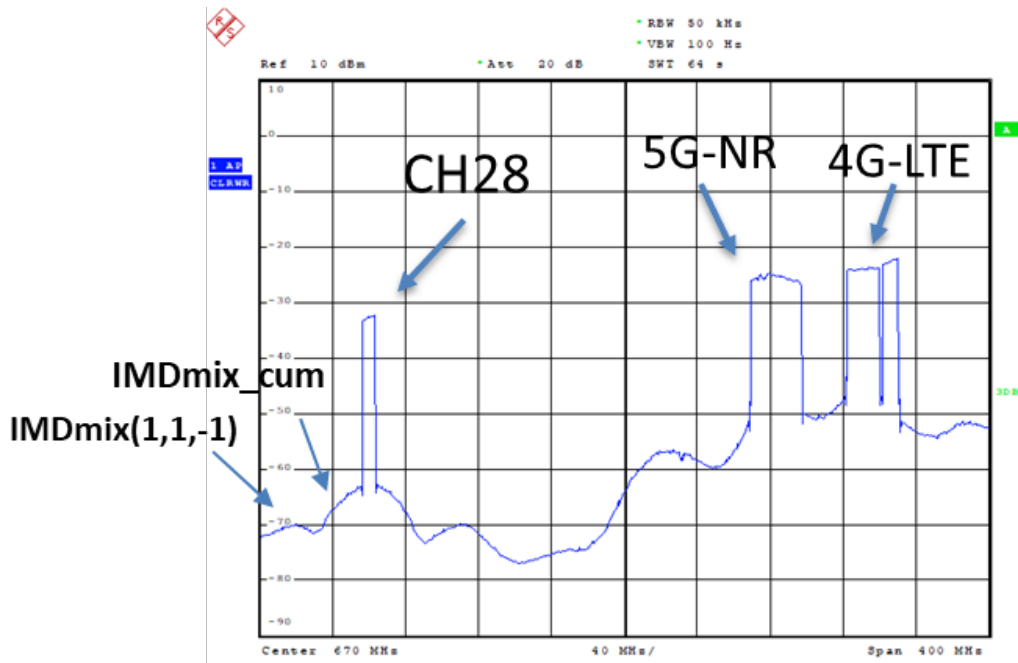


Figura 30 – Effetto delle intermodulazioni risultanti dalla configurazione #9 visualizzate sull'analizzatore di spettro

10.10 - Configurazione #10 – Segnali 5G-NR1 e 4G-LTE1 entrambi con larghezza di banda 10 MHz con aggiunta di sei segnali DVB-T interferenti

Tutte le configurazioni fino ad ora esaminate hanno preso in considerazione un numero di segnali DTT estremamente ridotto (al massimo 3, incluso il segnale vittima). Tuttavia, quello che accade nella realtà è che i segnali televisivi ricevuti in antenna sono generalmente anche più di dieci. Per verificare cosa accade quando all'ingresso dell'amplificatore è presente un numero elevato di canali DTT, è stato necessario introdurre nel banco di misura un ulteriore dispositivo, rappresentato dalla centralina TV programmabile indicata in Fig.31.

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

Tale dispositivo è in grado di riprodurre in uscita, su un numero predefinito di canali UHF, lo stesso segnale TV posto al suo ingresso, con un pari livello di potenza su tutti i canali in uscita. In particolare, in questa configurazione, sono stati presi in considerazione sette canali DTT, di cui uno, il canale CH36, è quello interferente di cui si vuole valutare l'influenza sui contributi di intermodulazione, una volta combinato con i segnali radiomobili 5G-NR1 e 4G-LTE1, andando a riproporre uno scenario interferenziale simile a quello della configurazione #8 ma con la presenza di ulteriori canali DTT tra il CH26 e il CH30 che potenzialmente possono contribuire ad accrescere il fenomeno disturbante (vedi Fig.32). Per il caso descritto il segnale DVB-T2 vittima viene posto all'ingresso dell'amplificatore sui canali UHF dal CH31 al CH33 e dal CH39 al CH41, essendo i canali CH32 e CH40 quelli su cui ci si attende il maggior contributo interferenziale (poiché distano circa 33 MHz dal canale CH36), per gli stessi ragionamenti condotti in precedenza nelle altre configurazioni esaminate. Come già menzionato nel par.6, inoltre, nell'eseguire la misura con questa configurazione, è necessario ridurre il guadagno dell'amplificatore della quantità $10 \log(N-1)$, ovvero $10 \log(6)$ pari a circa 7,8 dB, per tener conto della presenza di più segnali DTT in aggiunta a quello utile e a quello interferente sul CH36.

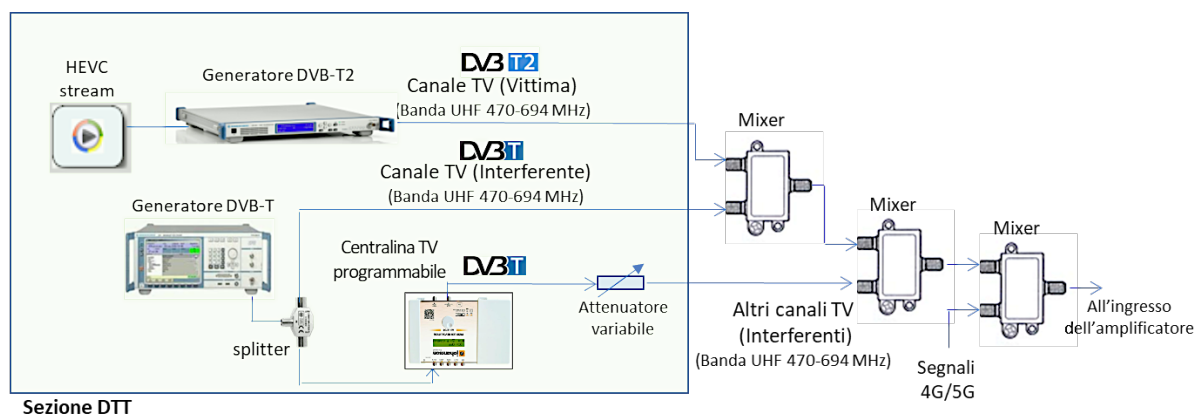


Figura 31 – Modifica della sezione DTT del banco di misura per implementare la configurazione #10

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

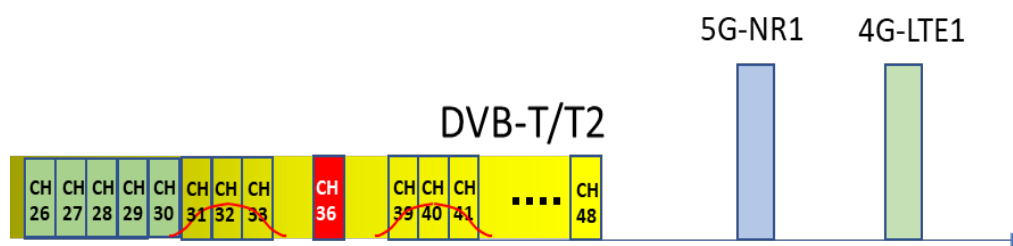


Figura 32 – Segnali presi in considerazione nella configurazione #10

10.10.1 – Breve descrizione dei risultati ottenuti

Nella Fig. 33 sono riportati i valori del rapporto di protezione ottenuti dalle misure sperimentali svolte in laboratorio e in Fig.34 viene fornita una visualizzazione dei segnali all'uscita di uno degli amplificatori analizzati.

In questa configurazione l'analisi è stata svolta con tutti e dieci gli amplificatori presi in considerazione nell'attività sperimentale.

L'analisi dei risultati conseguiti mostra una differenza sostanziale tra i valori del rapporto di protezione valutati in corrispondenza dei canali che precedono il canale UHF 36 rispetto a quelli che lo seguono. Nel primo gruppo, in particolare, si presenta un ulteriore contributo al disturbo dovuto agli addizionali cinque canali DTT considerati e, in modo specifico, a quello legato al canale UHF 28 che, per le stesse considerazioni svolte nel par. 10.7.1, influisce maggiormente sui canali vittima che sono stati oggetto di valutazione (vedi anche Fig. 24). L'intervallo di variazione dei valori I_{tot}/C_{ref} risulta essere piuttosto esteso, in quanto per questa configurazione le misurazioni sono state eseguite impiegando tutti gli amplificatori a disposizione, inclusi quelli che implementano il filtraggio della porzione di banda UHF destinata al servizio 4G-LTE. L'amplificatore che mostra il comportamento peggiore in questo caso è AMP #1, che fornisce un minimo pari a circa 15 dB in corrispondenza del canale UHF 32.

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

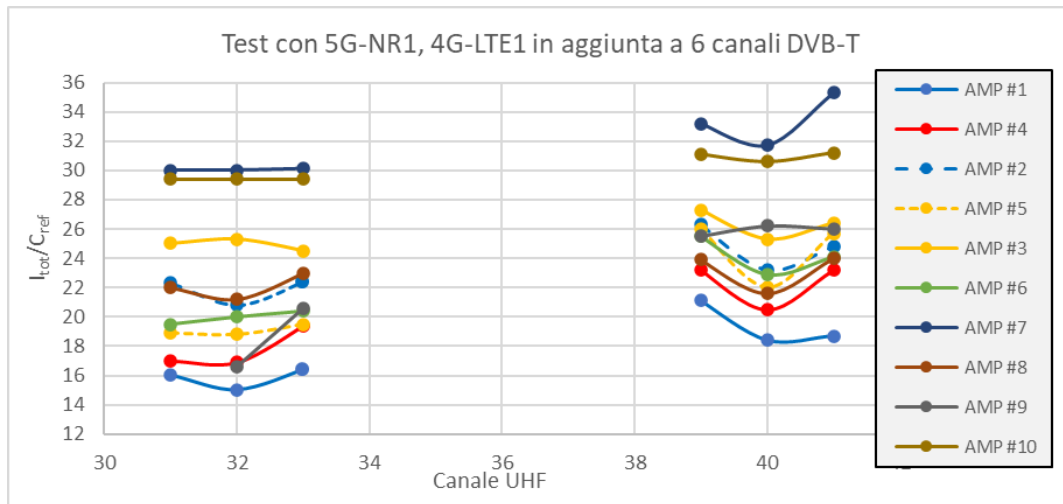


Figura 33 - Rapporto di protezione nella configurazione #10

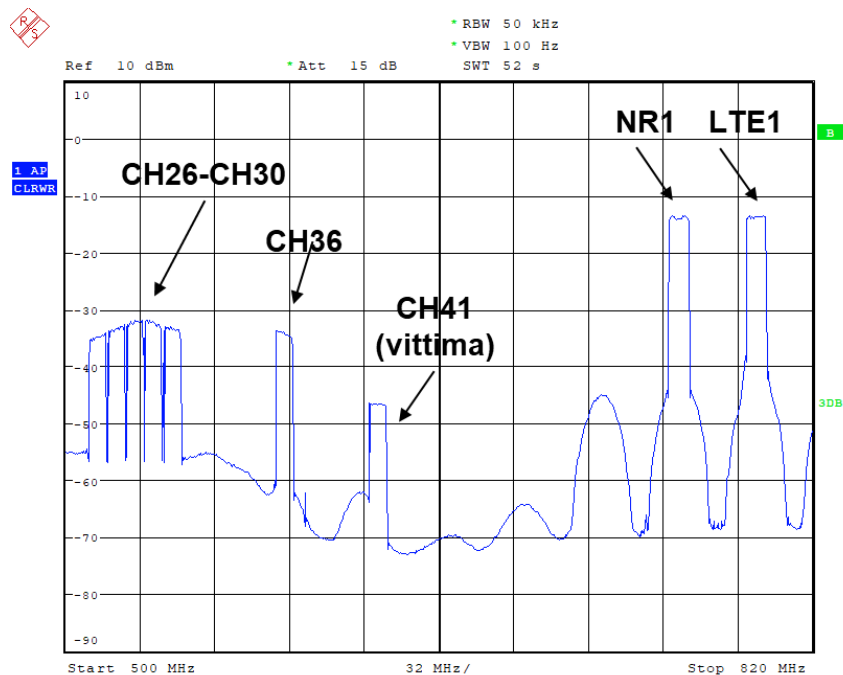


Figura 34 - Effetto delle intermodulazioni risultanti dalla configurazione #10 visualizzate sull'analizzatore di spettro

11 – Conclusioni e ulteriori evoluzioni dello studio

L'indagine sperimentale, oggetto di questo lavoro, ha permesso di approfondire la conoscenza sul problema della coesistenza del servizio broadcast DVB-T2 con i sistemi di comunicazione mobile LTE/5G operanti nelle bande di frequenza UHF. È stata svolta una specifica campagna di misure presso l'ISCTI del MiMIT, nel corso della quale, considerando numerose configurazioni operative, sono stati analizzati gli effetti provocati dalle interferenze subite dal servizio televisivo in presenza di prodotti di intermodulazione generati all'uscita di un amplificatore a banda larga, quando all'ingresso sono presenti, oltre ai segnali TV, anche segnali LTE/5G trasmessi da stazioni radio base e che sono ricevuti a livelli di potenza prossimi a quello nominale dell'amplificatore.

Tali segnali radiomobili occupano, infatti, una porzione di banda tale da non risultare ostacolati dai circuiti di ricezione degli apparati presenti negli impianti televisivi (ad esempio filtri o dispositivi simili) e possono giungere fino all'amplificatore a banda larga posto nell'impianto e determinare la generazione di contributi indesiderati che producono un effetto nocivo sulla qualità con cui il servizio televisivo può essere fruito dall'utente.

Il parametro preso in considerazione in questo studio per valutare l'entità dell'interferenza è stato il rapporto di protezione I_{tot}/C_{ref} , valutato seguendo le raccomandazioni CEI/CENELEC. I valori assunti da questo parametro in corrispondenza di configurazioni specifiche dei segnali televisivi e radiomobili all'ingresso dell'amplificatore TV sono già stati utilizzati per verificare l'attendibilità delle segnalazioni ricevute dal servizio Help Interferenze dopo lo switch-off dei servizi televisivi nella banda 800 MHz [21] e l'utilizzo di questa da parte degli operatori mobili con il servizio LTE. La presente analisi consente di approfondire ed estendere i risultati precedentemente ottenuti prendendo in esame il contributo aggiuntivo determinato dalla presenza dei segnali 5G nella banda dei 700 MHz.

L'evidenza dei risultati ottenuti dallo studio ha dimostrato che:

1. i valori del rapporto di protezione I_{tot}/C_{ref} dipendono significativamente dalla tipologia e dalle caratteristiche tecniche dell'amplificatore utilizzato nella ricezione dei sistemi MATV;
2. in casi operativi particolarmente svantaggiati dal punto di vista interferenziale (ad esempio, in presenza di segnali LTE e 5G trasmessi dalle stazioni radiobase in banda UHF su portanti a specifiche distanze frequenziali e ricevuti con pari livello di potenza all'antenna TV, utilizzando l'amplificatore che si è dimostrato maggiormente sensibile al fenomeno delle interferenze, ecc.), si ottiene un rapporto di protezione I_{tot}/C_{ref} di circa 12 dB;
3. anche gli impianti di ricezione TV nei quali è già presente un filtro per ridurre il livello dei segnali ricevuti in banda 800 MHz possono, in determinate circostanze, essere soggetti al fenomeno interferenziale, con conseguente riduzione della qualità del servizio del segnale DVB-T2 percepita dall'utente.

Per quanto detto appare ragionevole definire una soglia per il rapporto I_{tot}/C_{ref} da prendere come riferimento per valutare l'attendibilità di eventuali segnalazioni da parte degli utenti TV nell'ambito del servizio Help Interferenze e procedere, quindi, ad un ulteriore approfondimento effettuando un intervento presso l'impianto segnalato. La soglia così individuata, in ogni caso, andrà verificata ed affinata con ulteriori misure da effettuare sul campo presso impianti che risultano potenzialmente soggetti all'interferenza dovuta al fenomeno dell'intermodulazione.

Occorre anche evidenziare che recentemente è stata pubblicata una edizione aggiornata della Guida CEI [22] che fornisce nuove regole per definire il livello nominale della potenza in uscita degli amplificatori a larga banda televisivi che saranno posti in commercio. Ciò impone l'adeguamento dell'indagine a queste regole, attraverso ulteriori campagne di misura, valutando l'effetto che avranno sul rapporto I_{tot}/C_{ref} e conseguentemente sul valore di soglia da utilizzare per le segnalazioni degli utenti che si rivolgeranno al servizio Help Interferenze.

Misure sperimentali sull'interferenza prodotta dai segnali radiomobili 4G e 5G su segnali DTT trasmessi in standard DVB-T2 e ricevuti in sistemi MATV

Experimental measurements on the interference produced by 4G and 5G mobile radio signals on DTT signals transmitted in DVB-T2 standard and received in MATV systems

Celidonio M., Consalvi F., Neri A., Pulcini L.

12 - Bibliografia

- [1] Celidonio, M., Fionda, E., Mangiatordi, F., Pompei, S., *“Assisting Italian DVB-T users against LTE Signal Impairments: The HELP Interferenze Project”*; 2019 AEIT International Annual Conference; Firenze, September 2019
- [2] Servizio “HelpInterferenze 4G-TV”, www.helpinterferenze.it
- [3] ITU-R, *“Final Acts WRC-12 World Radiocommunication Conference”*, 2012
- [4] Decreto del Ministro dello Sviluppo Economico del 22 gennaio 2013, *“Regole tecniche relative agli impianti condominiali centralizzati d'antenna riceventi del servizio di radiodiffusione”*
- [5] Guida CEI 100-7:V1, *“Guida per l'applicazione delle Norme sugli impianti per segnali televisivi, sonori e servizi interattivi”*, Aprile 2021
- [6] Decreto del Ministro dello Sviluppo Economico 165/2013 del 9 agosto 2013, *“Regolamento recante misure e modalità d'intervento da parte degli operatori delle telecomunicazioni per minimizzare interferenze tra servizi a banda larga mobile ed impianti per la ricezione televisiva domestica”*
- [7] *“Rapport d'activité de l'Agence nationale des fréquences en France”*, 2017
- [8] OFCOM, *“700 MHz Coexistence Study of mobile uplink interference effects upon DTT reception”*, Technical Report , 9 May 2017
- [9] Ibrahim, S., *“Påverkan på marksänd tv efter utbyggnad i 800 MHz-bandet”*, Report of Swedish Post and Telecom Authority, PTS-ER-2018:12, June 2018
- [10] Frullone, M., *“Mitigazione delle Interferenze tra i segnali LTE e la televisione digitale terrestre - Il progetto Help Interferenze”*, All Digital Forum, Vicenza, Italy, October 2013
- [11] ITU-R, *“Final Acts WRC-07 World Radiocommunication Conference”*, 2007
- [12] ITU-R, *“Final Acts WRC-15 World Radiocommunication Conference”*, 2015
- [13] 3GPP TS 36.211 (V17.2.0), *“3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation (Release 17)”*, June 2022
-

[14] 3GPP TS 38.211 (V17.3.0), "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; NR; Physical channels and modulation (Release 17)" September 2022

[15] ETSI EN 302 755 (V1.4.1), "Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second-generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)", July 2015

[16] ETSI EN 300 744 (V1.6.2), "Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television"; October 2015

[17] Mercat, A., Viitanen, M., Vanne, J., "UVG dataset: 50/120fps 4K sequences for video codec analysis and development," Proc. ACM Multimedia Syst. Conf., Istanbul, Turkey, June 2020

[18] ETSI EN 303 354 V1.1.1: "Amplifiers and active antennas for TV broadcast reception in domestic premises; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU" - March 2017

[19] Direttiva 2014/35/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 26 febbraio 2014, concernente l'armonizzazione delle legislazioni degli Stati membri relative alla messa a disposizione sul mercato del materiale elettrico destinato a essere adoperato entro taluni limiti di tensione

[20] Decreto Legislativo 22 giugno 2016, n. 128, "Attuazione della direttiva 2014/53/UE concernente l'armonizzazione delle legislazioni degli Stati membri relative alla messa a disposizione sul mercato di apparecchiature radio e che abroga la direttiva 1999/5/CE"

[21] Celidonio, M., Masullo, P., Pulcini, L., Vaser, M., "LTE services over the 800 MHz band: interference effects on DVB-T channels caused by the uplink signal", 2015 AEIT International Conference

[22] Guida CEI 100-7:2023, "Guida per l'applicazione delle Norme sugli impianti per segnali televisivi, sonori e servizi interattivi", Marzo 2023