

Elio Restuccia, Gianmarco Fusco, Massimo Ferrante  
Mi.S.E. - ISCOM

## Sperimentazione sulla coesistenza del servizio di radiodiffusione televisiva con il servizio radiomobile LTE in banda 800 MHz

*Laboratory simulation on the coexistence of TV broadcasting service with broadband wireless access LTE in the 800 MHz band*

### Sommario

*Dopo più di mezzo secolo di trasmissioni radiotelevisive nazionali nella banda UHF, che ha visto comparire antenne sulla quasi totalità dei tetti delle case italiane, le ultime evoluzioni tecnologiche hanno consentito un uso più efficace dello spettro, una compattazione della banda televisiva che ha lasciato spazio per il servizio telefonico radiomobile terrestre di nuova generazione a larga banda denominato LTE.*

*Questo ha determinato la revisione dei criteri di progettazione dei nuovi impianti di ricezione televisiva ed ha portato ad affrontare i problemi di compatibilità degli impianti esistenti con la nuova situazione elettromagnetica.*

*Lo studio riporta i risultati di una campagna di prove di simulazione in laboratorio riguardanti gli effetti delle stazioni radio-base LTE in banda 800 MHz su impianti riceventi TV tipici sia singoli che condominiali.*

### Abstract

*Latest technological developments allowed more efficient use of the frequency spectrum giving, in a portion of UHF band previously allocated to TV broadcasting, space for the terrestrial mobile radio telephone service of the new generation broadband networks named LTE.*

*TV receiving installations designing criteria need to be reviewed, but for existing installations the problems of coexistence need to be solved.*

*This study shows laboratory results of a variety of interference effects due to LTE Base-Station in the 800 MHz band.*

### I. Introduzione

Il Parlamento europeo, in una risoluzione del 24 settembre 2008 [1], ha spronato gli Stati Membri a liberare al più presto i rispettivi dividendi digitali, ossia quelle porzioni di bande di frequenze che si sono rese disponibili a seguito del passaggio dalla televisione analogica a quella digitale, al fine di ottenere un uso più efficiente dello spettro.

Con una comunicazione del 2009 [2] la Commissione delle comunità europee ha presentato al Parlamento europeo uno studio in cui risultava evidente che l'apertura, in tutta l'Unione Europea, di una porzione del dividendo digitale, ossia della banda 790÷862 MHz, ai servizi di comunicazioni elettroniche (radiomobile in banda larga), avrebbe generato un notevole valore aggiunto in termini di rapporto costi/benefici.

Pertanto, in Italia, a partire dal 1° gennaio 2013 e in accordo alla decisione

2010/267/UE [3], che armonizza le condizioni tecniche d'uso della banda 790÷862 MHz, si è concretizzata la cessazione dell'operatività delle stazioni di Radiodiffusione televisiva nella stessa banda e, contestualmente, la sua designazione per i sistemi terrestri in grado di fornire servizi di comunicazioni elettroniche. Il Decreto Ministeriale 4 maggio 2011 [4], applicando quanto disposto dalla Legge 220 del 13 dicembre 2010 [5], ha precisato, tra l'altro, l'aggiornamento del Piano Nazionale di Ripartizione delle Frequenze (PNRF) in sintonia con la decisione europea come indicato nella fig. 1.1.

In particolare, nella banda di frequenze in questione, è stata prevista la fornitura del nuovo servizio Radiomobile di quarta generazione, per i sistemi di accesso mobile a banda larga (Broadband Wireless Access), comunemente denominato LTE (Long Term Evolution).

All'interno della banda l'assegnazione delle frequenze è stata effettuata in blocchi di 5 MHz, dedicando la parte inferiore - da 791 MHz a 821 MHz - alla trasmissione della stazione base (down-link) e la parte superiore - da 832 MHz a 862 MHz - alla trasmissione del terminale d'utente (up-link), come mostrato in fig. 1.2.

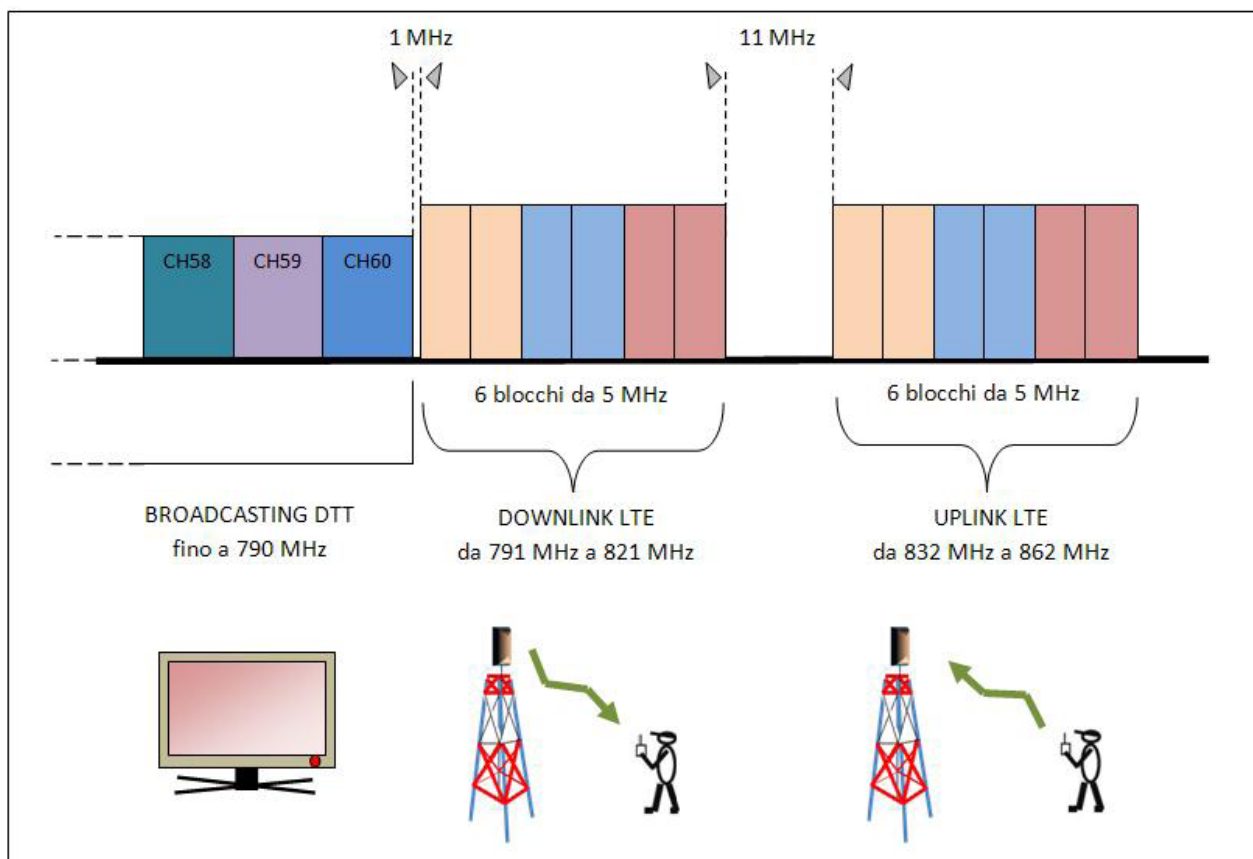
Quanto illustrato nel seguito fa riferimento alle decisioni consolidate ad oggi. E' da tenere presente, tuttavia, che durante la World Radiocommunication Conference (WRC), Ginevra 2012, è stata presa la decisione [6] (da rendere effettiva dopo la WRC prevista per il 2015) di allargare la banda attribuita al servizio mobile, su base co-primaria con gli altri servizi, portando il limite inferiore da 790 MHz a 694 MHz.

Il decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 22 gennaio 2013 [7], prendendo in considerazione gli effetti di quanto fin qui illustrato, prevede che i nuovi impianti d'antenna di ricezione televisiva siano costantemente conformi a quanto prescritto dal piano nazionale di ripartizione delle frequenze ed indica la guida 100-7 [8] del Comitato Elettrotecnico Italiano come riferimento normativo tecnico per la realizzazione di detti nuovi impianti.

Il Ministero dello Sviluppo Economico ha anche elaborato un regolamento [9] che disciplina le modalità di esecuzione degli interventi eventualmente necessari per la mitigazione delle interferenze sugli impianti già esistenti prima del febbraio 2013.

BANDA DI FREQUENZE (MHz)	SERVIZIO	GESTORE	UTILIZZAZIONI	NORMATIVA INTERNAZIONALE
790.0000 - 862.0000	MOBILE escluso mobile aeronautico 60 107A	Ministero sviluppo economico- Comunicazioni	-Radiodiffusione televisiva -Servizi di comunicazioni elettroniche terrestri	2010/267/UE Piano di Ginevra 2006 ECC/DEC/(09)03 RR 5.314 RES 224 RR (Rev. WRC-07) -IMT

Figura 1.1  
Estratto del PNRF, banda di frequenze  
790 MHz ÷ 862 MHz



## 2. La tecnica di modulazione OFDM

Nei sistemi di telecomunicazione il passaggio dalla tecnica analogica alla tecnica digitale ha comportato un cambiamento radicale sia dal punto di vista progettuale, sia dal punto di vista costruttivo, funzionale e sia dal punto di vista prestazionale così da determinare una svolta che si può definire storica nella seppur giovane età delle applicazioni elettroniche.

Ciò è risultato evidente sia nel campo della telefonia radiomobile che in quello della tecnica radiotelevisiva.

Nel corso di un periodo relativamente breve di tempo si sono succeduti, soprattutto nelle applicazioni di telefonia radiomobile, una serie di innovazioni e miglioramenti che hanno reso rapidamente obsoleti intere generazioni di apparati per le comunicazioni mobili personali. Ed il processo non si è certo esaurito.

Nel campo televisivo il cambiamento radicale, subito dal segnale radiotelevisivo, ha comportato l'incompatibilità dei tradizionali ricevitori tv al nuovo segnale di natura digitale che, pur impegnando la stessa larghezza di banda disponibile per i segnali in tecnica analogica e mantenendo quindi la stessa canalizzazione nella banda di frequenze attribuita, consente la trasmissione di più programmi in un unico canale con una qualità paragonabile ed anche superiore a quella della tecnica precedente.

Per superare il disagio dell'incompatibilità, durante la prima fase di attivazione dei trasmettitori in tecnica digitale ed in considerazione della vastità della diffusione dei ricevitori televisivi sul territorio, sono stati resi disponibili in commercio particolari ricevitori adattatori a basso costo (decoder o set top box)

Figura 1.2  
Suddivisione banda di frequenze 800 MHz per il radiomobile LTE

studiati per facilitare in modo economico il periodo di transizione dall'analogico al digitale. Questi dispositivi consentono di riutilizzare il vecchio televisore, come monitor audio-video, in attesa della sostituzione coi nuovi apparecchi con decoder integrato.

L'economia, in termini di banda di frequenze televisive, ha determinato l'incrociarsi della storia della televisione in Italia con quella della telefonia mobile, in quanto ha consentito l'offerta del nuovo sistema LTE nella parte di banda UHF resa disponibile dopo lo spegnimento di alcune emittenti TV UHF.

E' stato così possibile, per il nuovo sistema di telefonia, usufruire delle caratteristiche di propagazione più vantaggiose che permettono, a parità di altre condizioni, una maggiore velocità di trasmissione e quindi una serie più ampia di servizi in confronto coi sistemi operanti a frequenze più elevate.

Sia il segnale DVB-T (Digital Video Broadcasting Terrestrial) sia il segnale LTE nella tratta di downlink, dalla stazione radio base verso i terminali d'utente, adottano lo schema di modulazione OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

Il segnale LTE di uplink, dovendo assegnare ad una pluralità di utenti flussi informativi diversi, è del tipo OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access).

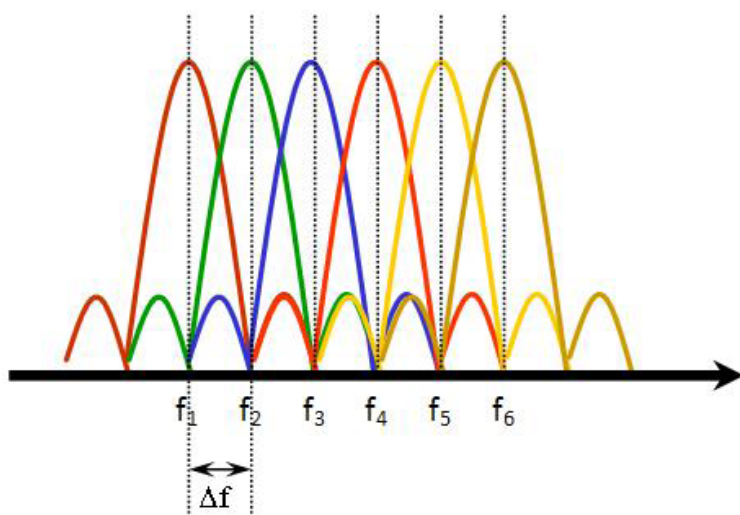
Nel seguito si ricorda molto brevemente e sommariamente la natura e le caratteristiche principali del segnale OFDM con particolare riguardo alla versione adottata per il DVB-T.

Il flusso numerico contenente l'informazione è disponibile con velocità di bit dipendente dal campionamento, a sua volta dipendente dalla larghezza di banda dell'informazione in forma analogica, dalla codifica, dagli eventuali sistemi di compressione e dagli algoritmi di correzione dei dati.

La tecnica consiste nel creare un pettine di portanti a radiofrequenza, ciascuna delle quali, modulata secondo la modalità PSK (Phase Shift Keying) oppure QAM (Quadrature Amplitude Modulation), trasporta una quota parte del contenuto informativo che si intende trasmettere, in modo coordinato con le altre portanti.

Le portanti sono distanziate fra loro di un intervallo di frequenze ben determinato, uguale all'inverso della durata di simbolo, in questo modo in corrispondenza della frequenza di ogni portante si trova uno zero della funzione densità spettrale di potenza di tutte le altre come mostrato in fig. 2.1.

Ciò determina l'ortogonalità delle stesse portanti, nel senso che, pur essendo gli spettri di modulazione parzialmente sovrapposti, si ottiene il minimo di interferenza tra gli stessi.



$$\Delta f = \frac{1}{T}$$

$T$  = periodo di simbolo della modulante

Figura 2.1  
Pettine di portanti ortogonali

Sfruttando questo criterio si ottiene pertanto una notevole compattazione dello spettro ed una elevata efficienza di utilizzo della banda.

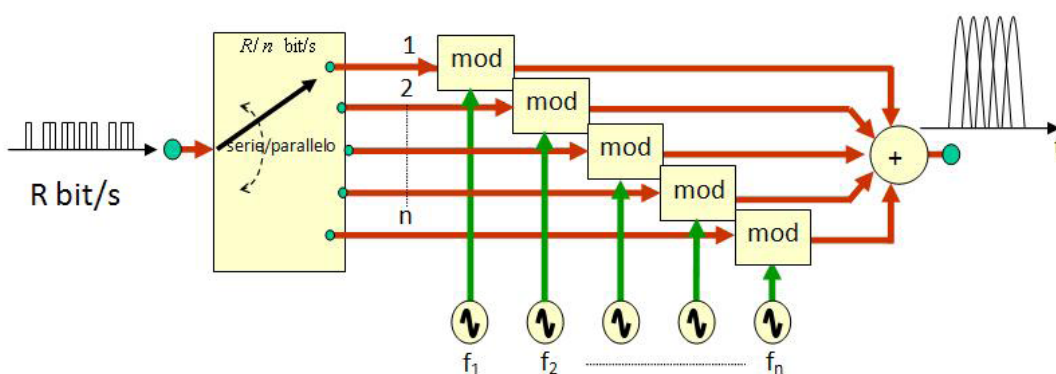
Il modulatore è quindi realizzato secondo lo schema di principio illustrato in fig. 2.2. in cui il flusso originario, con velocità  $R$  bit/s, viene suddiviso in  $n$  flussi aventi ciascuno  $1/n$  della velocità iniziale, grazie ad un commutatore con funzione di convertitore serie-parallelo.

Per dare un'idea della numerosità delle portanti basta pensare che, nel caso del segnale DVB-T, esse sono circa settemila.

La difficoltà di disporre di un tale numero di oscillatori e modulatori separati viene superata adottando, come primo passo, lo schema di fig. 2.3.

Il flusso numerico viene suddiviso in  $n$  gruppi di  $m$  bit.

Ciascun gruppo, mantenuto in una propria memoria fino all'aggiornamento operato dal commutatore durante la scansione successiva, rappresenta lo stato della corrispondente portante appartenente al pettine OFDM.



Al termine della scansione viene attivato il mappatore ed il ciclo in seguito si ripete.

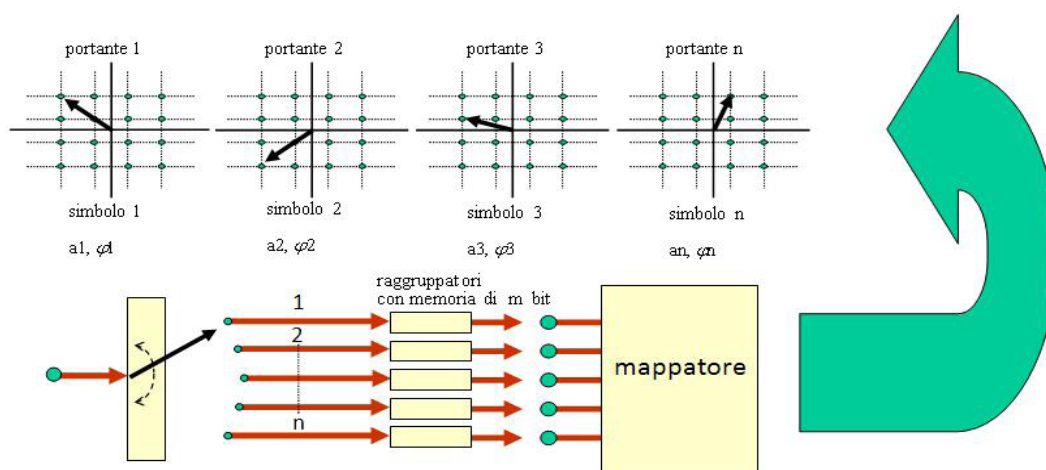
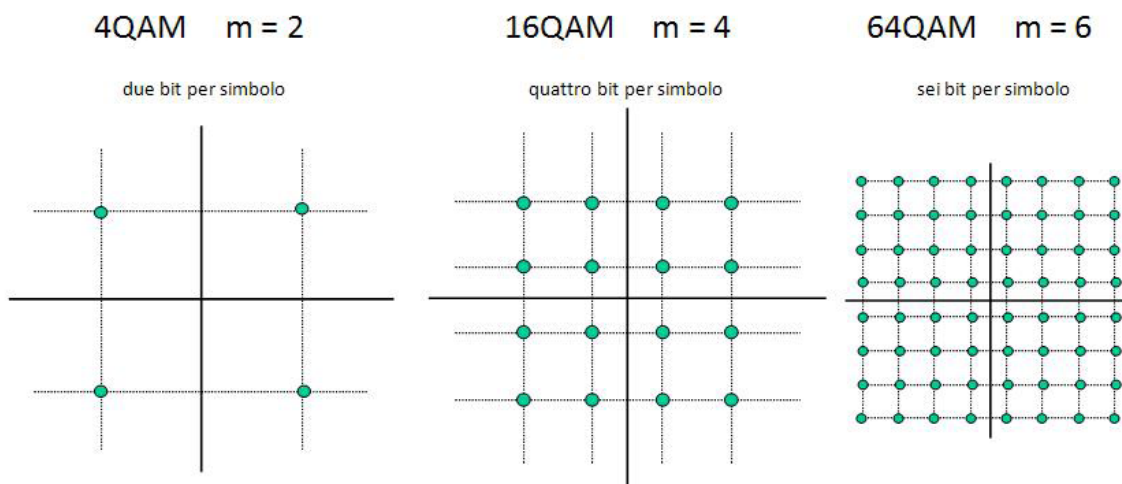


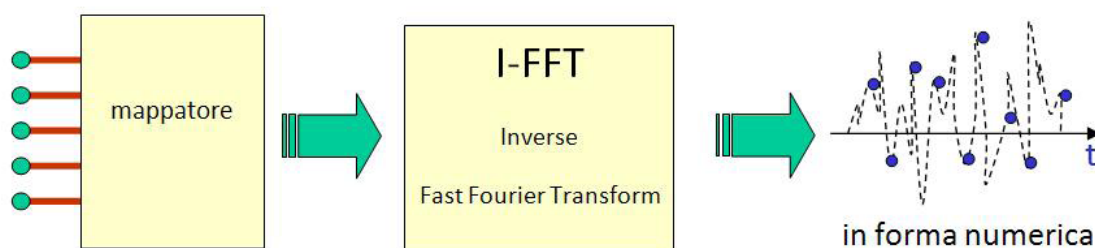
Figura 2.2  
 Schema di principio del modulatore

Figura 2.3  
 Schema funzionale

Il mappatore ha il compito di generare coppie di valori, l'ampiezza  $a$  e la fase  $\varphi$ , oppure le corrispondenti ampiezze  $I$  (in fase) e  $Q$  (in quadratura), per ciascuna delle  $n$  portanti secondo lo schema di modulazione prescelto che, in funzione delle sequenze di  $m$  bit, in definitiva individuano i punti di ciò che è nota come costellazione (fig. 2.4).



Il processo viene concluso con una conversione da numerico ad analogico e traslando l'intero spettro prodotto, con conversione in alto, alla radiofrequenza desiderata.



Durante il processo di trasmissione vengono effettuate numerose altre operazioni tra cui la codifica cosiddetta esterna, tramite il correttore di errore Reed-Solomon e la codifica cosiddetta interna, tramite il correttore di errore convoluzionale (Viterbi), ambedue con introduzione di ridondanza nel flusso numerico ma con notevoli vantaggi dal punto di vista del rapporto segnale rumore richiesto per una determinata qualità di trasmissione.

L'introduzione del prefisso ciclico costituisce un'altra operazione importante che consiste nell'aggiungere ad ogni gruppo di simboli OFDM un intervallo di tempo, cosiddetto di guardia, durante il quale viene ripetuto il gruppo di simboli stesso.

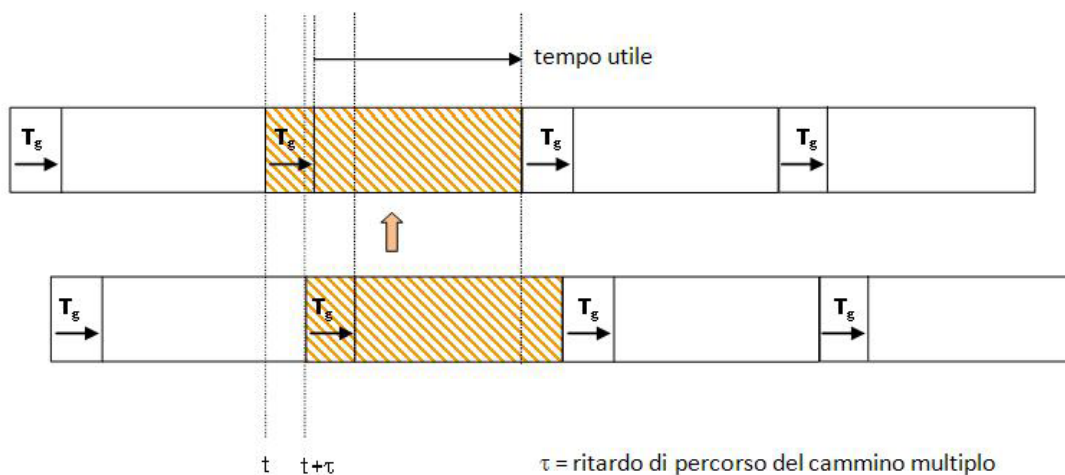
Questo artificio, pur aumentando il tempo di trasmissione dei simboli OFDM e quindi sacrificando una parte della velocità di trasmissione, consente tuttavia di neutralizzare gli effetti dei cammini multipli, che possono verificarsi tra il trasmettitore e l'antenna del ricevitore in particolari condizioni propagative, e che possono causare la sovrapposizione di simboli diversi determinando distorsione

Figura 2.4  
Esempi di costellazione

Figura 2.5  
Fase finale di generazione del segnale OFDM

nei circuiti del ricevitore quando i livelli dei segnali sono confrontabili.

Con l'inserimento del tempo di guardia invece l'eventuale sovrapposizione, fra copie ritardate dello stesso segnale nel tempo utile all'interpretazione dei simboli e sempreché il ritardo non superi il tempo di guardia, avviene in corrispondenza



degli stessi simboli evitando l'inconveniente descritto (fig. 2.6).

Il tempo di guardia, inoltre, rende possibile la realizzazione delle reti di trasmissione SFN (Single Frequency Network) nelle quali estese aree geografiche vengono servite con ripetitori isofrequenza temporalmente sincronizzati. In questo caso sarebbe impossibile la ricezione in tutte quelle zone in cui fossero presenti segnali provenienti da siti diversi a causa dei diversi ritardi di propagazione determinando una situazione simile a quella dei cammini multipli.

Il sistema delle reti SFN permette, come notevole risultato positivo, un risparmio dal punto di vista delle risorse spettrali.

E' proprio il recupero di banda di frequenze, ottenuto in Italia con l'adozione di questo sistema, che ha facilitato il dispiegamento in banda UHF del servizio di nuova generazione LTE.

Nel ricevitore vengono percorsi all'inverso i passi descritti nella fase di trasmissione; dalla conversione in forma numerica del segnale in ingresso, all'applicazione della trasformazione FFT (Fast Fourier Transform) che, in questo caso, fornisce la descrizione del segnale OFDM nel dominio della frequenza e prosegue con l'estrazione degli stati delle  $n$  portanti, con l'interpretazione dei corrispondenti simboli, la correzione degli errori nelle due fasi (Viterbi e Reed-Solomon) e con la ricostruzione del flusso numerico di partenza.

Per maggiori approfondimenti sulla tecnica OFDM si rimanda a [10], [11], [12], [13], mentre per la descrizione della configurazione dei parametri DVB-T scelta in Italia si rimanda a [14].

### 3. Scenario interferenziale e banco di simulazione

Tutti gli impianti d'antenna riceventi il segnale radiotelevisivo, prima dell'entrata in vigore del DM 22 gennaio 2013 [7], sono stati progettati e realizzati per ricevere correttamente la terza banda VHF e la quarta e quinta banda UHF sino alla frequenza 862 MHz corrispondente alla fine del canale 69.

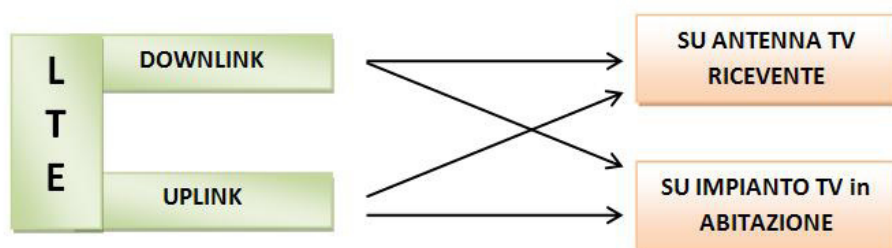
L'avvento del segnale radiomobile LTE, oggi presente nella banda di frequenze che va da 791 MHz a 862 MHz, rende quindi i medesimi impianti soggetti a pos-

Figura 2.6  
 Il tempo di guardia

sibili interferenze che possono essere schematizzate in due categorie principali: quelle che si verificano sull'antenna TV ricevente, con o senza amplificatore di testa, e quelle che si verificano sull'impianto TV all'interno dell'abitazione.

Inoltre, la sorgente d'interferenza può essere individuata sia nel collegamento LTE di downlink (dalla stazione radio base al terminale d'utente) sia nel collegamento LTE di uplink (dal terminale d'utente alla stazione radio base).

La fig. 3.1 raffigura la situazione descritta.



Il laboratorio di radiodiffusione sonora e televisiva dell'Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione ha predisposto un banco di simulazione ed ha effettuato prove in alcune tipiche situazioni di interferenza, tra cui da canale adiacente, da frequenza immagine e quella dovuta ai prodotti d'intermodulazione causati dal sovraccarico degli stadi d'ingresso.

Il banco è costituito da due generatori, uno che simula il segnale DVB-T e l'altro che simula il segnale LTE, sommati attraverso un accoppiatore direzionale, con disaccoppiamento tra i due segnali d'ingresso di circa 50 dB. E' stato fatto uso di adattatori d'impedenza (50Ω, 75Ω) nei punti del banco, ove necessario, per la connessione agli impianti TV di tipo casalingo a 75Ω.

Il banco è riconfigurabile come mostrato in fig. 3.2, nel senso che il dispositivo

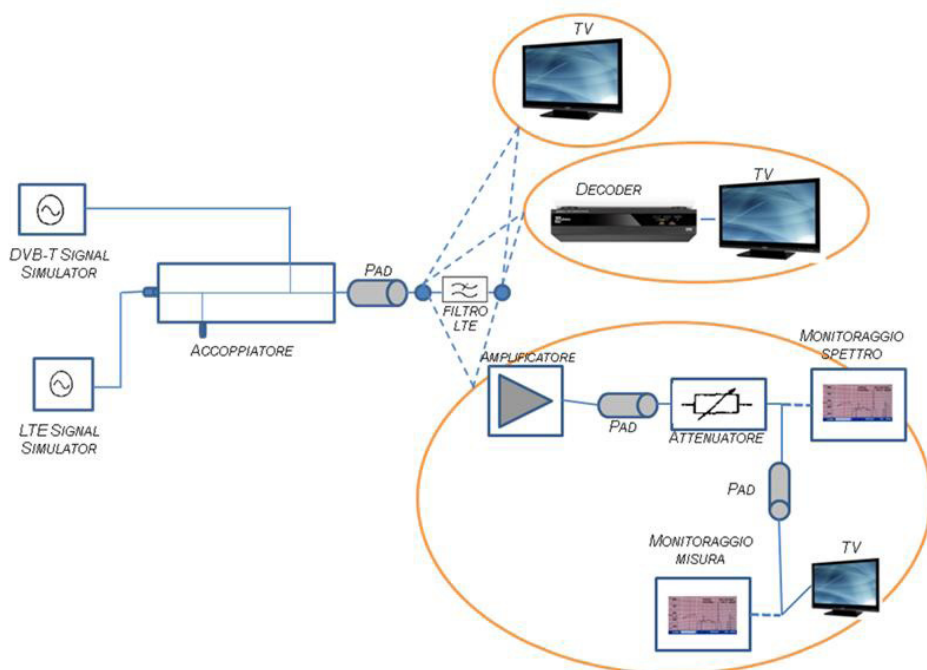


Figura 3.1  
Scenario base delle possibili situazioni interferenziali

Figura 3.2  
Schema del banco di simulazione predisposto presso il Lab. Radiodiffusione dell'ISCTI



sotto prova (DUT) può essere rappresentato da:

- un televisore con decoder incorporato;
- un decoder collegato ad un televisore;
- una catena completa tipica di un impianto TV condominiale composta da un amplificatore di testa (a larga banda), un attenuatore variabile che simula la calata del cavo e la rete di distribuzione nei singoli appartamenti ed un apparecchio televisivo con decoder scelto tra quelli di uso comune e di vasta diffusione commerciale.

Una delle quattro ipotesi di probabili situazioni interferenziali indicate in fig. 3.1, quella che si riferisce alle interferenze causate dal downlink proveniente dalla stazione radio-base del radiomobile LTE direttamente sull'antenna TV ricevente, rappresenta l'oggetto di studio di cui si riferisce nel presente lavoro.

La rilevazione strumentale (BER e MER), benché più rigorosa, è stata ritenuta poco indicativa in questo contesto (non trattandosi di interferenza co-canale) in quanto l'uso dei misuratori di laboratorio, avendo in genere una risposta all'interferenza diversa dai ricevitori televisivi commerciali, avrebbe condotto a risultati poco significativi. D'altra parte i ricevitori televisivi non dispongono di un'interfaccia numerica accessibile che consenta una tale rilevazione. A parità di tutti i parametri, la differenza dei risultati tra il metodo SFP e quello del QEF (Quasi Error Free, BER di  $2 \cdot 10^{-4}$  dopo Viterbi) è contenuto in 1 dB, come riportato in letteratura [15].

Le prove effettuate hanno avuto lo scopo di conoscere principalmente il rapporto di protezione, definito come il valore minimo del rapporto, tra il segnale desiderato ed il segnale indesiderato, misurato all'ingresso del dispositivo sotto prova [15] e quindi valutato in corrispondenza della soglia di degradamento.

Tale soglia è stata determinata con un metodo analogo a quello denominato SFP - Subjective Failure Point [15] che consiste nell'individuare il livello minimo del segnale indesiderato che provoca il primo evento di deterioramento (il cosiddetto quadrettamento visibile sullo schermo) in un prefissato periodo d'osservazione, con un livello fisso di segnale desiderato.

Il periodo di osservazione, previsto in venti secondi [15] è stato ridotto, per economia dei tempi di rilevamento ed in considerazione dell'elevato numero delle prove da effettuare, a circa due tre secondi, il che ha comportato una leggera differenza, stimabile in qualche decimo di dB, rispetto ai risultati attesi col metodo SFP.

La fig. 3.3 rappresenta, in modo schematico e non esaustivo, la combinazione dei parametri di esercizio dei due servizi e rende chiara la mole della numerosità

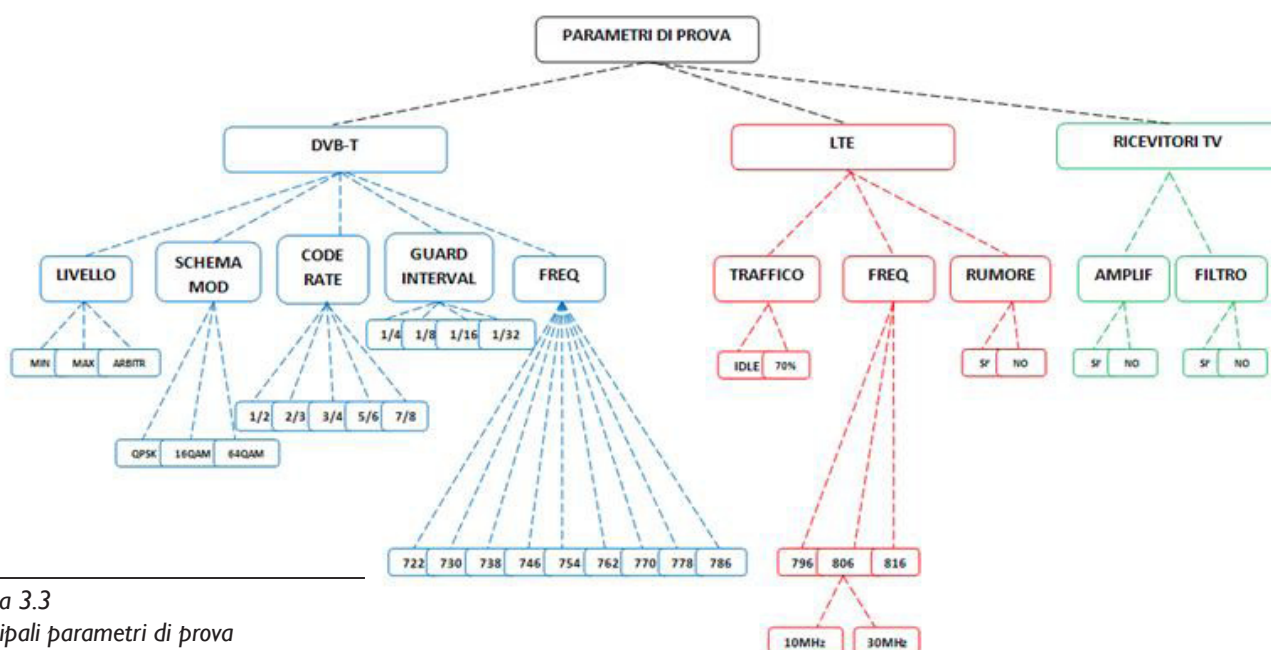


Figura 3.3  
 Principali parametri di prova

delle prove.

Il numero delle situazioni interferenziali DVB-T/LTE risulterebbe ulteriormente aumentato considerando la varietà del comportamento dei ricevitori e della loro combinazione con gli altri componenti di un impianto di ricezione.

Risulta evidente quindi la necessità di ridurre il numero di prove da effettuare, senza far perdere però sostanziale significatività ai risultati.

Per cui è stata svolta una ricognizione descrittiva dei segnali DVB rilevabili alla presa d'antenna TV disponibile presso il laboratorio (zona EUR – Roma) in modo da produrre una casistica, ritenuta abbastanza rappresentativa, dei parametri di esercizio utilizzati dai broadcaster televisivi.

La fig. 3.4 riporta, per ciascuno dei parametri di esercizio indicati, il numero di multiplex operanti in quella modalità al momento della rilevazione.

	<b>QPSK</b>	<b>16QAM</b>	<b>64QAM</b>		
<b>Schema di modulazione</b>	1	4	35		
	<b>1/2</b>	<b>2/3</b>	<b>3/4</b>	<b>5/6</b>	<b>7/8</b>
<b>Code Rate</b>	3	8	20	8	1
	<b>1/4</b>	<b>1/8</b>	<b>1/16</b>	<b>1/32</b>	
<b>Intervallo di guardia</b>	28	6	1	5	

Dall'esame della casistica è possibile desumere i valori più frequentemente utilizzati e cioè:

- schema di modulazione: 64QAM;
- code rate: 3/4;
- intervallo di guardia: 1/4;

che sono stati quindi adottati per la sperimentazione.

Per quanto riguarda il segnale LTE sono stati adottati i seguenti parametri:

- larghezza di banda: 10 MHz e 30 MHz (downlink);
- rumore di fondo aggiunto: assente;
- traffico: 70% e 0% (IDLE).

Si riportano di seguito, in fig. 3.5 e in fig. 3.6 rispettivamente, gli spettri caratteristici per il segnale DVB-T e per quello LTE utilizzati nel corso delle prove.

Figura 3.4  
Casistica parametri DVB rilevati in zona EUR - Roma

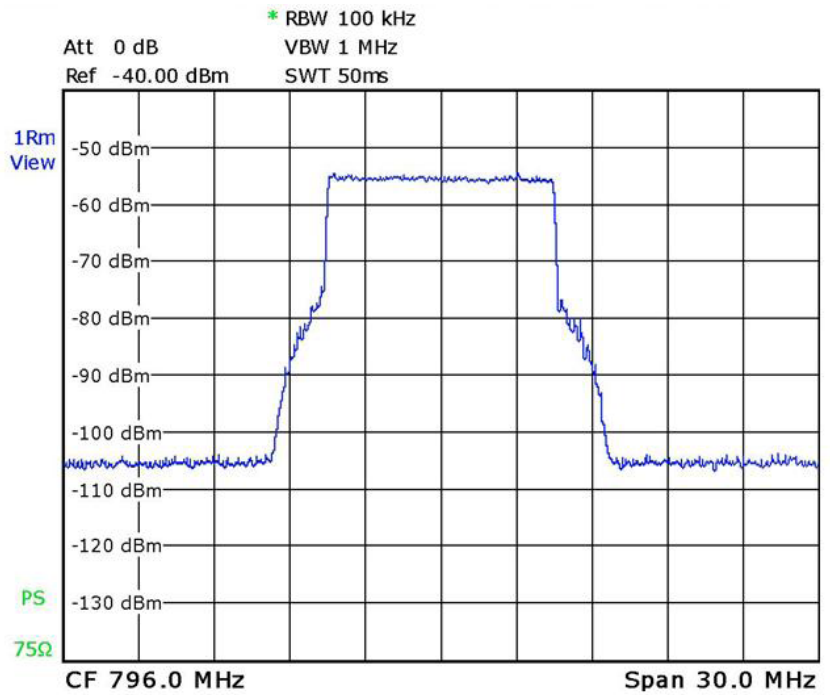
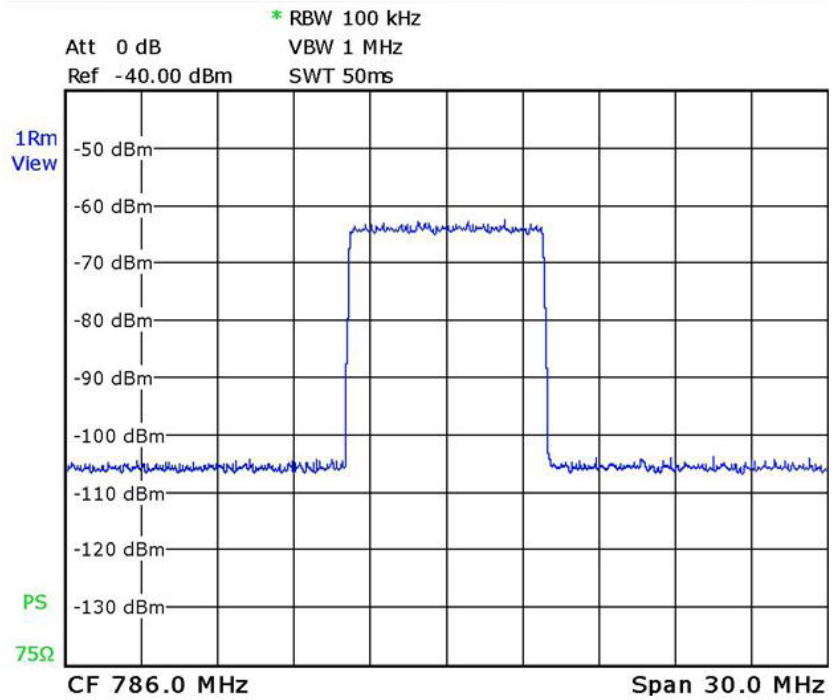


Figura 3.5  
Spettro del segnale del generatore DVB-T

Figura 3.6  
Spettro del segnale del generatore LTE

#### 4. Risultati delle prove in laboratorio

I dati ottenuti durante le prove di laboratorio vengono sintetizzati nel seguito in grafici che mostrano il rapporto I/C (segnale indesiderato LTE/segnale deside-

rato DVB-T) in funzione delle frequenze dei canali televisivi a partire dal canale 60, ultimo canale televisivo utilizzabile e adiacente alla banda LTE. Il rapporto I/C, espresso in decibel, è l'opposto del rapporto di protezione definito in precedenza. La scelta di usare tale rapporto è dovuta esclusivamente ad una maggiore comodità di rappresentazione, inoltre, i valori di frequenza più a sinistra si riferiscono ai canali TV più vicini alla banda LTE.

Le simulazioni si riferiscono agli impianti di antenna senza e con amplificatore ed i confronti tra le situazioni con e senza un filtro LTE, appositamente sviluppato per la limitazione della banda di ricezione dell'impianto al fine di mitigare le interferenze.

E' da tenere presente che i risultati dipendono anche dalle caratteristiche spettrali dei segnali DVB-T e LTE utilizzati, le cui varianti possono quindi portare a conclusioni diverse da quelle ottenute nella sperimentazione.

Ad esempio, per il segnale DVB-T non sono stati presi in considerazione eventuali ulteriori degradamenti per propagazione con cammini multipli.

Mentre per il segnale LTE l'effetto sul canale 60 televisivo è fortemente dipendente dal profilo della spalla inferiore dello spettro (fig. 3.6). Ulteriori degradamenti su gran parte dei canali televisivi possono essere dovuti al peggioramento del rapporto segnale/rumore causato dalla piattaforma di rumore associato al segnale LTE che, per livelli di quest'ultimo particolarmente elevati, emerge sensibilmente dal fondo ed invade la banda UHF.

### Impianti di antenna senza amplificatore

Nei grafici riportati la traccia rossa "□" si riferisce ad un  $C = -64$  dBm, quella blu "◇" ad un  $C = -50$  dBm e quella verde "△" ad un  $C = -35$  dBm misurati all'ingresso del DUT.

La chiave di lettura è semplice. A parità di livello di C, minore è il rapporto I/C, più basso è il livello di I necessario per causare il quadrettamento evidenziando una maggiore debolezza nei confronti dell'interferenza. Le interruzioni delle tracce sono dovute al raggiungimento dei valori massimi del livello che il banco rende disponibile sul DUT e all'impossibilità quindi di ottenere un risultato graficabile.

L'effetto del canale adiacente è evidente nelle figg. 4.1, 4.2, 4.4, mentre risulta minimo nella fig. 4.3 in cui il segnale LTE dista circa 30 MHz dal limite della banda UHF televisiva.

E' possibile notare un abbassamento del rapporto I/C quando la differenza di frequenza tra C ed I risulta di circa 72 MHz, in corrispondenza cioè della frequenza immagine dei ricevitori che utilizzano il sistema a conversione di frequenza con stadi di frequenza intermedia a 36 MHz, denominati comunemente in letteratura di tipo "CAN" [15].

Si nota inoltre l'effetto che si produce nello stesso tipo di ricevitori quando il segnale I ha una frequenza circa uguale a quella dell'oscillatore locale (36 MHz al di sopra della frequenza del segnale C) e la potenza complessiva raggiunge un livello così alto da impegnare la zona di funzionamento non lineare all'ingresso del mixer.

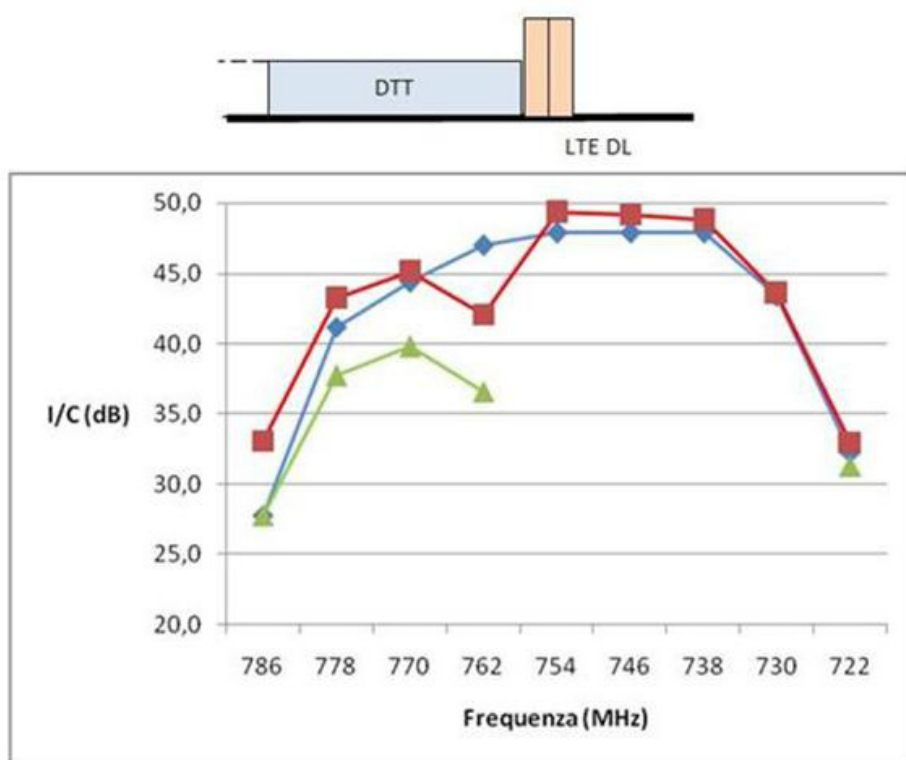


Figura 4.1  
 I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 10 MHz) centrato sulla frequenza 796 MHz

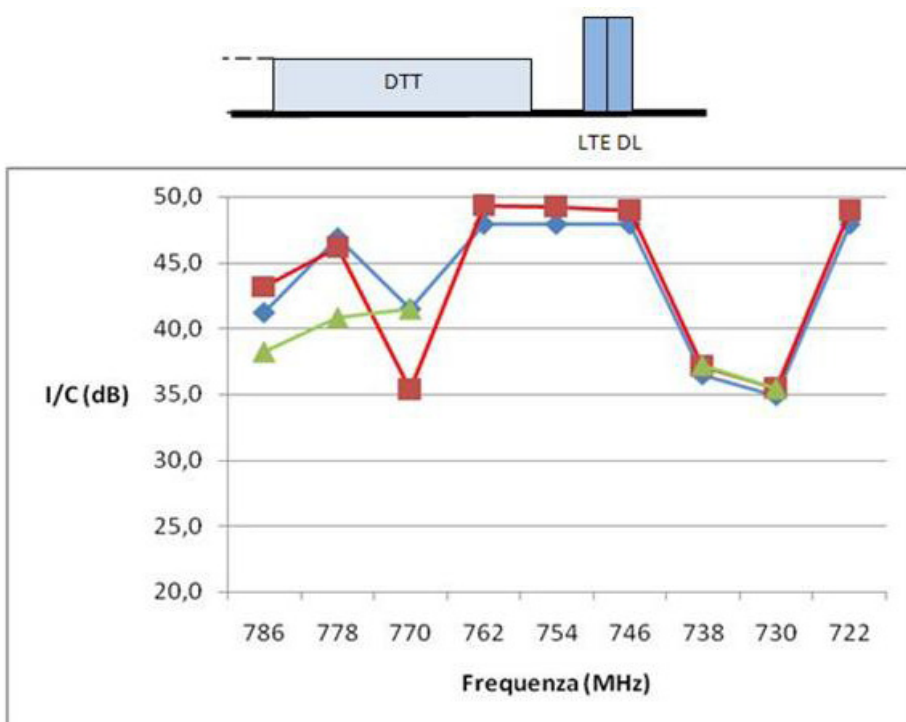


Figura 4.2  
 I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 10 MHz) centrato sulla frequenza 806 MHz

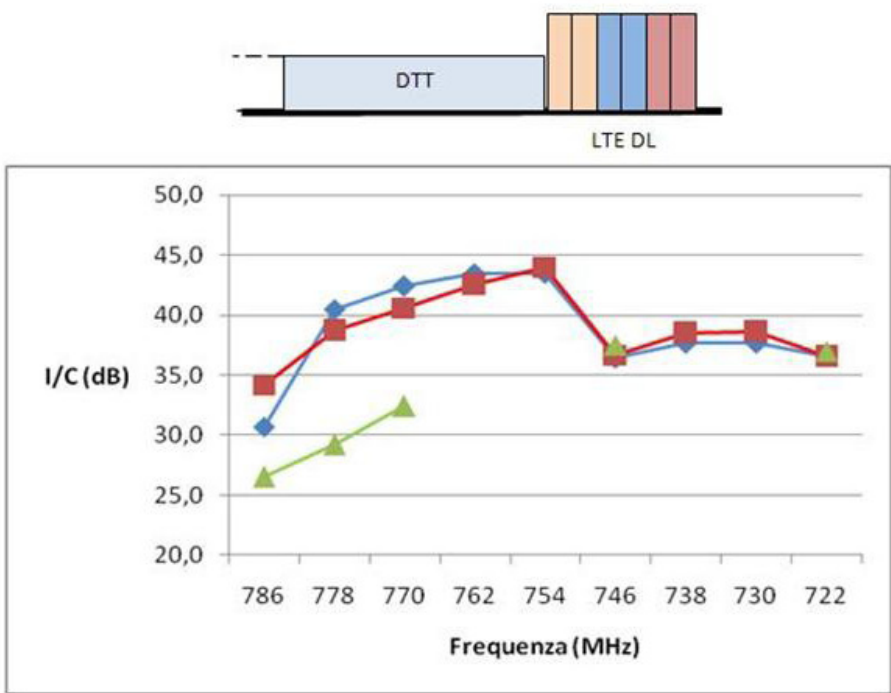
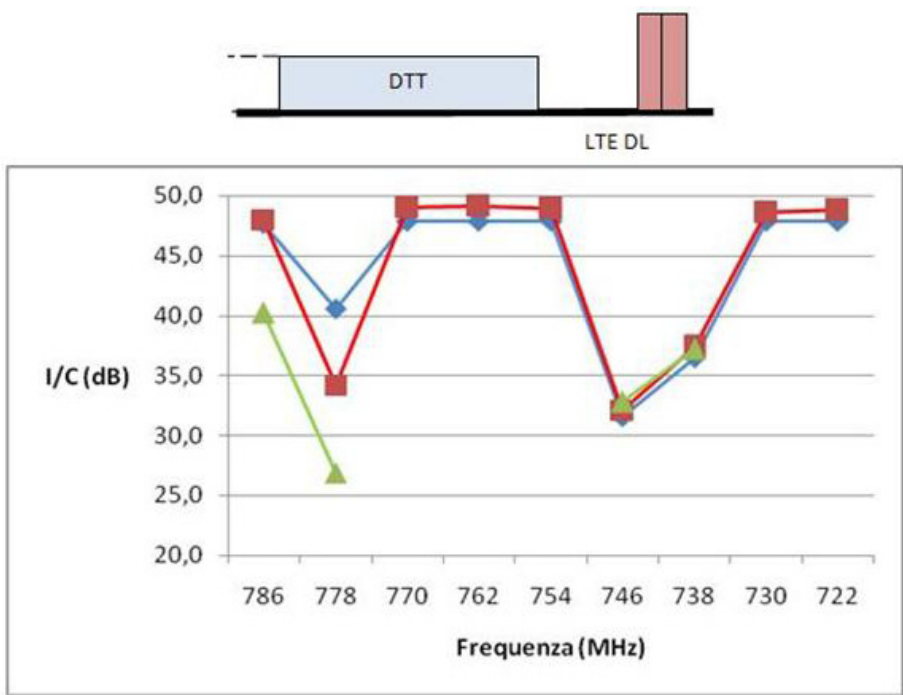
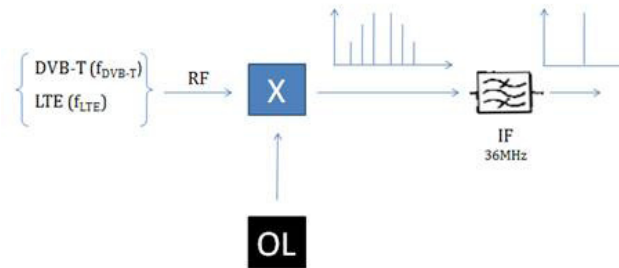


Figura 4.3  
I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 10 MHz) centrato sulla frequenza 816 MHz

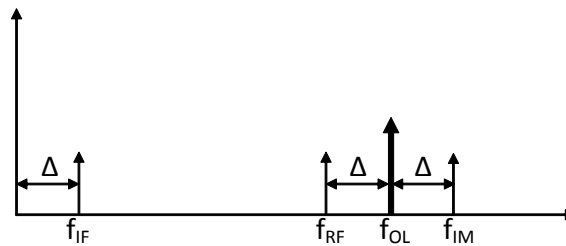
Figura 4.4  
I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 30 MHz) centrato sulla frequenza 806 MHz

Il processo di conversione di frequenza consiste nello sfruttare i prodotti d'intermodulazione del secondo ordine (prodotti di conversione) che avvengono all'interno del mixer il cui comportamento è non lineare tra le porte d'ingresso RF e OL.



Nella conversione in basso viene selezionato il prodotto di conversione a frequenza :

$$\Delta = |f_{OL} - f_{RF}|$$



che costituisce il segnale a frequenza intermedia  $f_{IF} = \Delta$ .

Ma all'uscita del mixer esiste anche il prodotto di conversione a frequenza  $|f_{OL} - f_{IM}| = \Delta$ , dovuto al segnale indesiderato a frequenza  $f_{IM}$ , denominata frequenza immagine, che si trova disposto sull'asse delle frequenze in posizione speculare di  $f_{RF}$  rispetto a  $f_{OL}$  a distanza  $2\Delta$ . Quest'ultimo prodotto di conversione si trova, all'uscita del mixer, sovrapposto al segnale desiderato con la stessa frequenza  $f_{IF}$  e quindi non può essere discriminato dalla catena dei filtri di media frequenza costituendo perciò un problema interferenziale interno al processo di conversione.

Nei ricevitori tradizionali il problema viene risolto grazie ad un filtro a radiofrequenza che, all'ingresso del mixer, provvede alla riduzione a livelli accettabili del segnale immagine prima della conversione.

Un altro fenomeno di conversione può accadere quando il segnale indesiderato ha una frequenza distante  $\Delta$  da  $f_{RF}$  ed un livello così alto da impegnare la zona di funzionamento non lineare della porta d'ingresso RF del mixer. In questo caso il segnale può essere visto come un ulteriore indesiderato oscillatore locale che trasferisce, tuttavia, a media frequenza il suo eventuale contenuto spettrale sovrapponendosi a quello del segnale desiderato.

In commercio si stanno diffondendo ricevitori che non utilizzano gli stadi di frequenza intermedia a 36 MHz, detti di tipo "SILICON" [15], che non risentono della problematica descritta.

I seguenti dodici grafici mettono a confronto l'andamento dell' I/C di tre differenti apparati televisivi (denominati, nei grafici, TV1 e TV2 di tipo 'CAN', TV3 di tipo 'SILICON').

Le figg. 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8 prevedono un segnale DVB-T all'ingresso del DUT pari a -64 dBm.

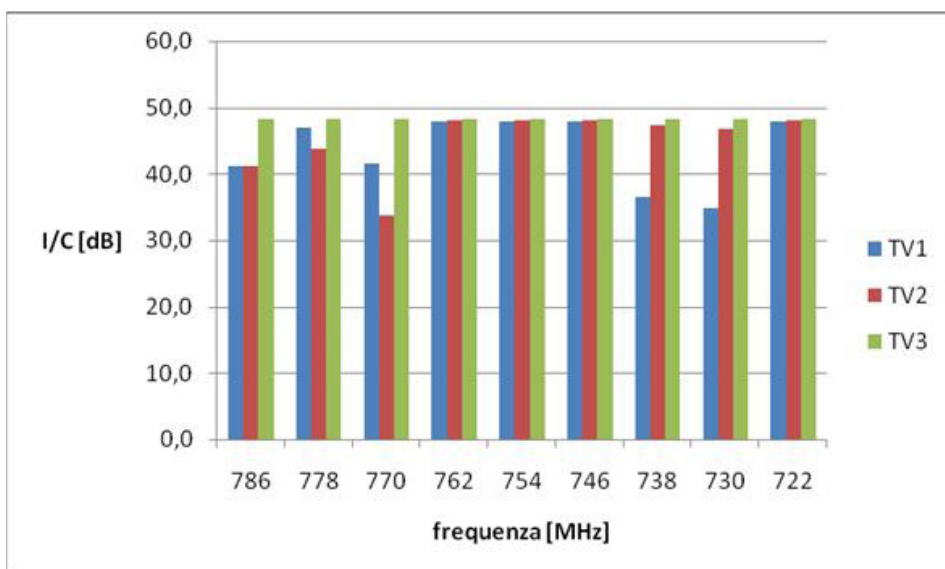
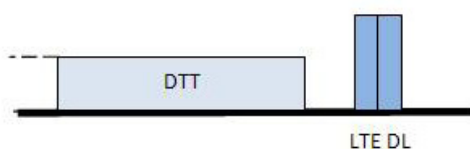
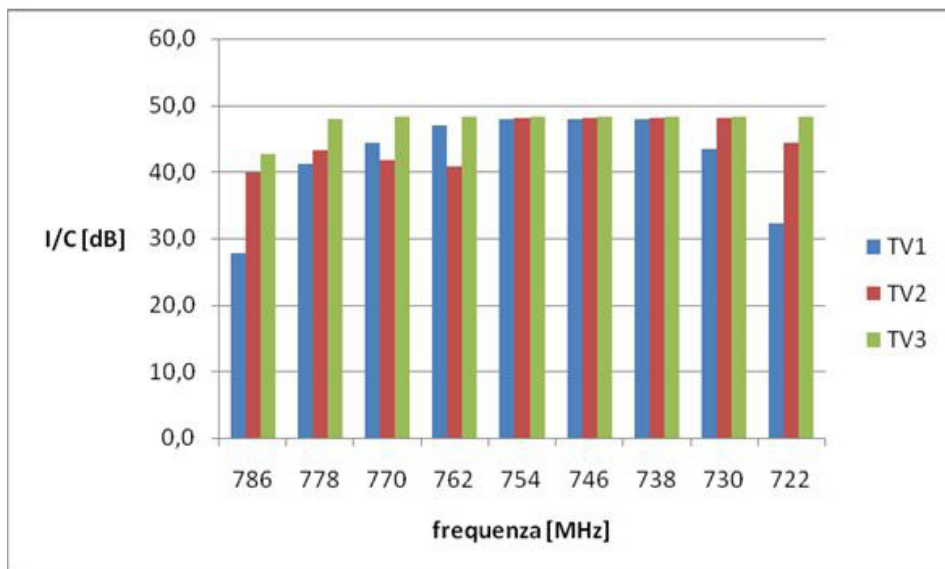
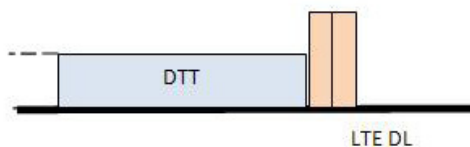


Figura 4.5  
I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 10 MHz) centrato sulla frequenza 796 MHz e C = -64dBm

Figura 4.6  
I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 10 MHz) centrato sulla frequenza 806 MHz e C = -64dBm



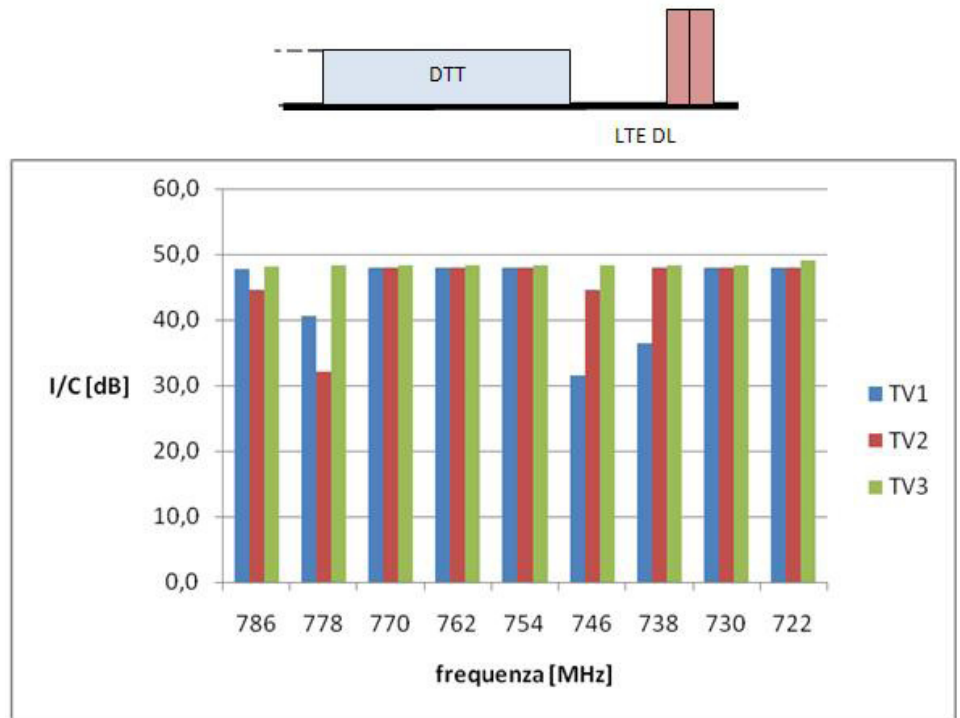


Figura 4.7  
 I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 10 MHz) centrato sulla frequenza 816 MHz e C = -64dBm

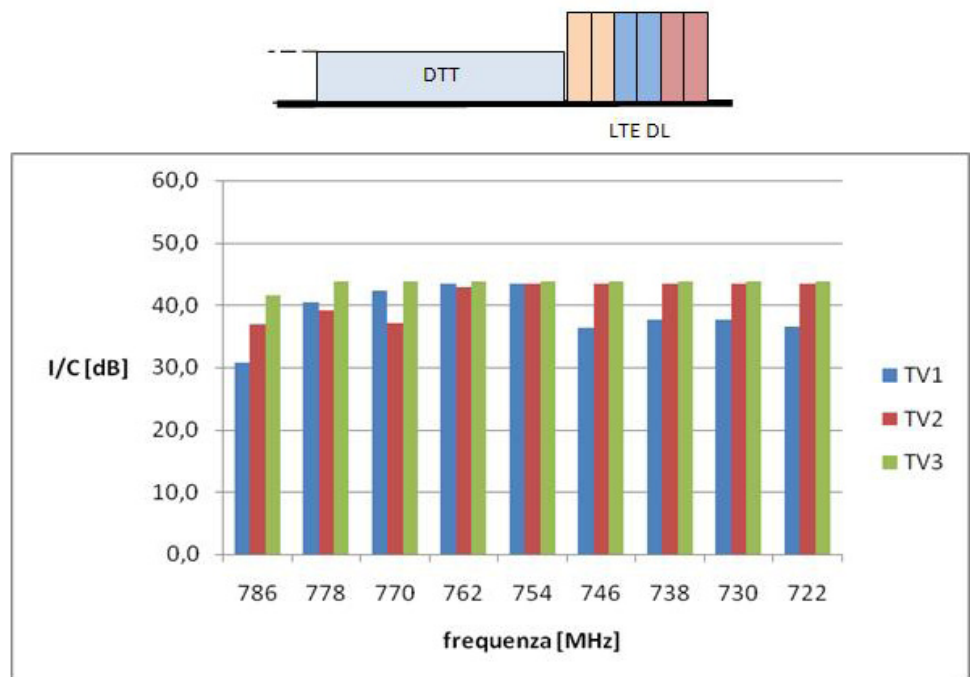


Figura 4.8  
 I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 30 MHz) centrato sulla frequenza 806 MHz e C = -64dBm

Le susseguenti quattro figure (4.9, 4.10, 4.11 e 4.12) si riferiscono a  $C = -50$  dBm.

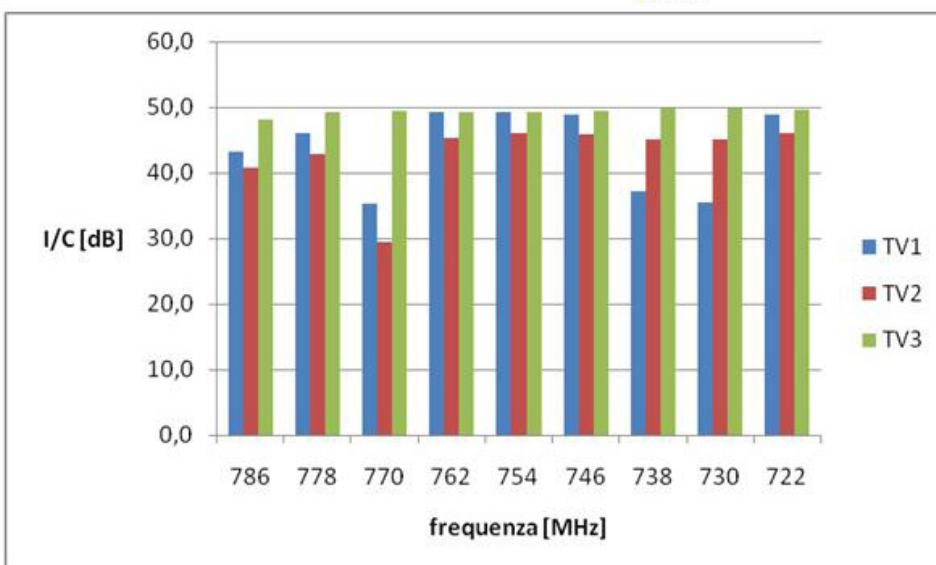
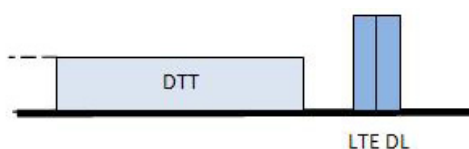
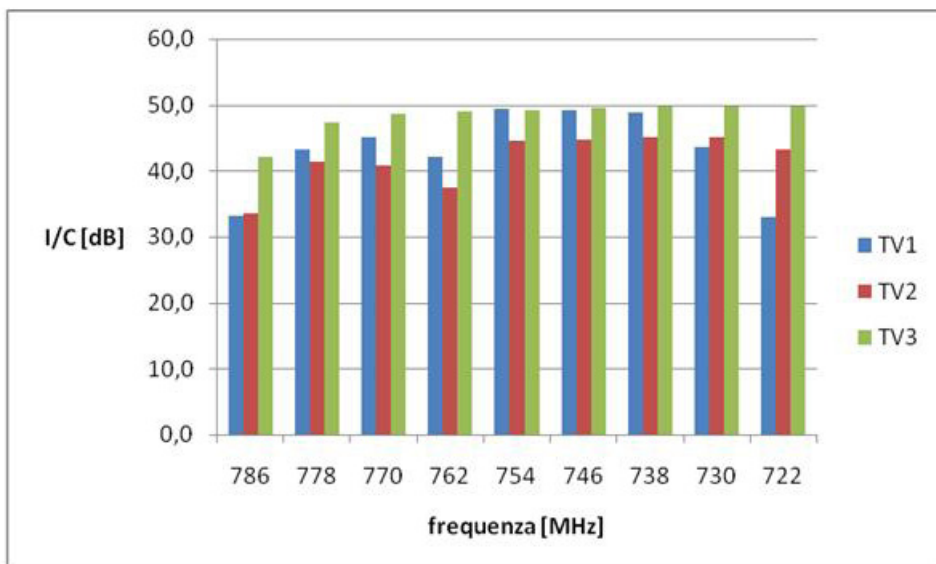
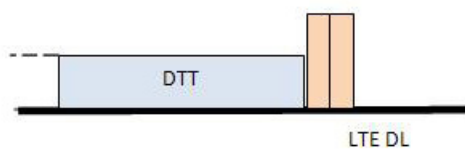


Figura 4.9  
I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 10 MHz) centrato sulla frequenza 796 MHz e  $C = -50$  dBm

Figura 4.10  
I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 10 MHz) centrato sulla frequenza 806 MHz e  $C = -50$  dBm

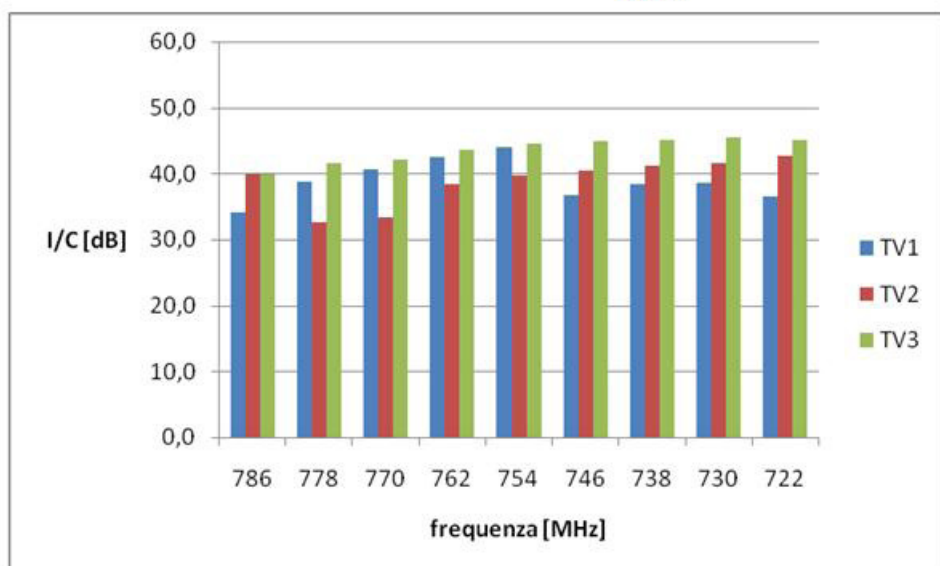
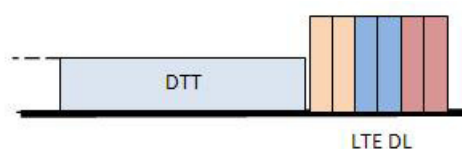
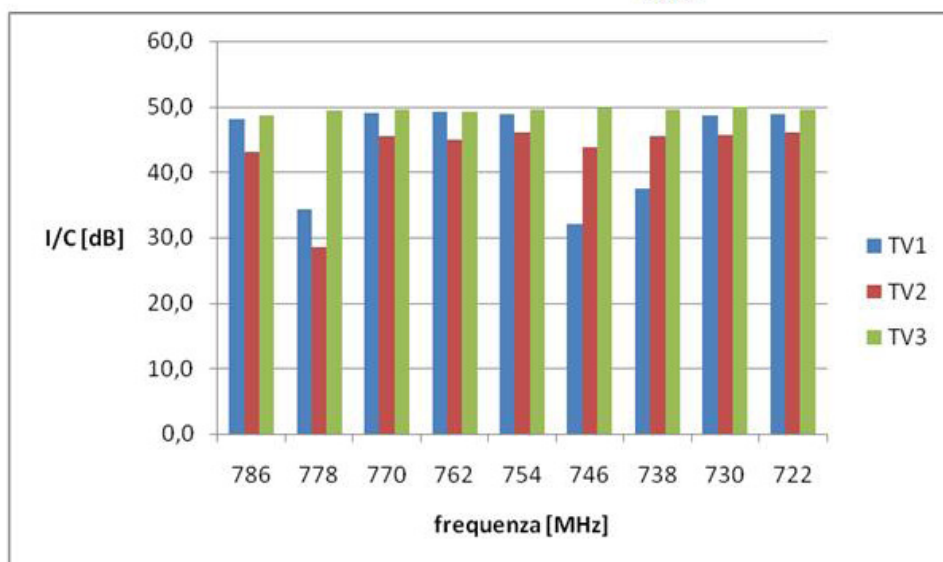
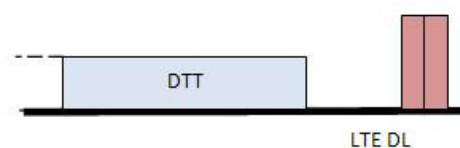


Figura 4.11  
 I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 10 MHz) centrato sulla frequenza 816 MHz e C = - 50 dBm

Figura 4.12  
 I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 30 MHz) centrato sulla frequenza 806 MHz e C = - 50 dBm

Infine le ultime quattro figure (4.13, 4.14, 4.15 e 4.16) si riferiscono a  $C = -35$  dBm.

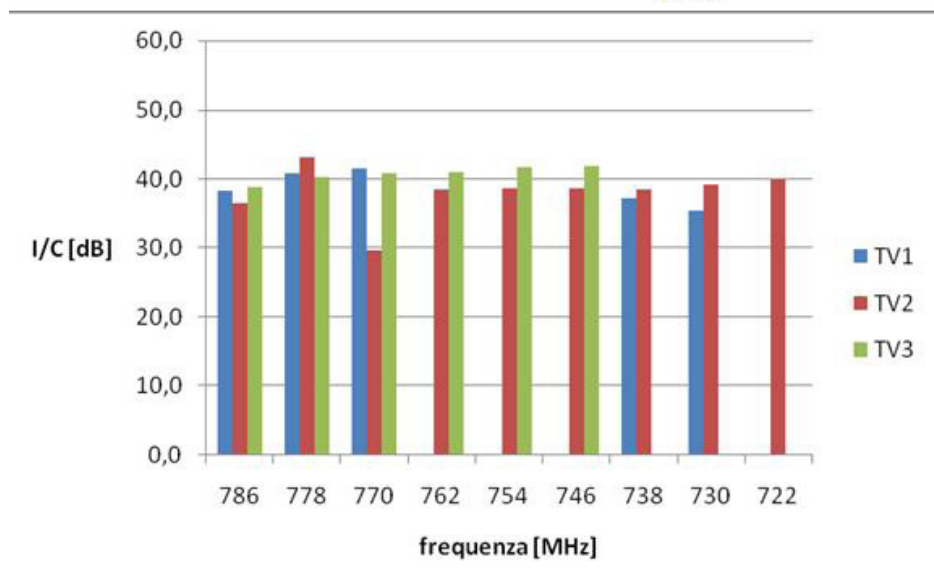
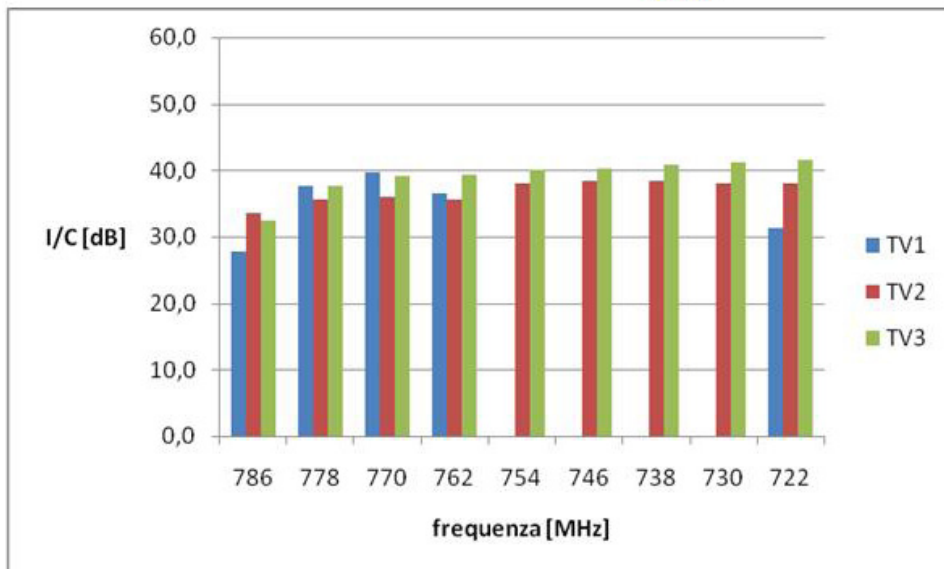
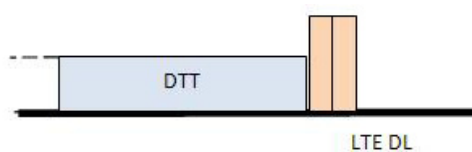


Figura 4.13  
I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 10 MHz) centrato sulla frequenza 796 MHz e  $C = -35$  dBm

Figura 4.14  
I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 10 MHz) centrato sulla frequenza 806 MHz e  $C = -35$  dBm

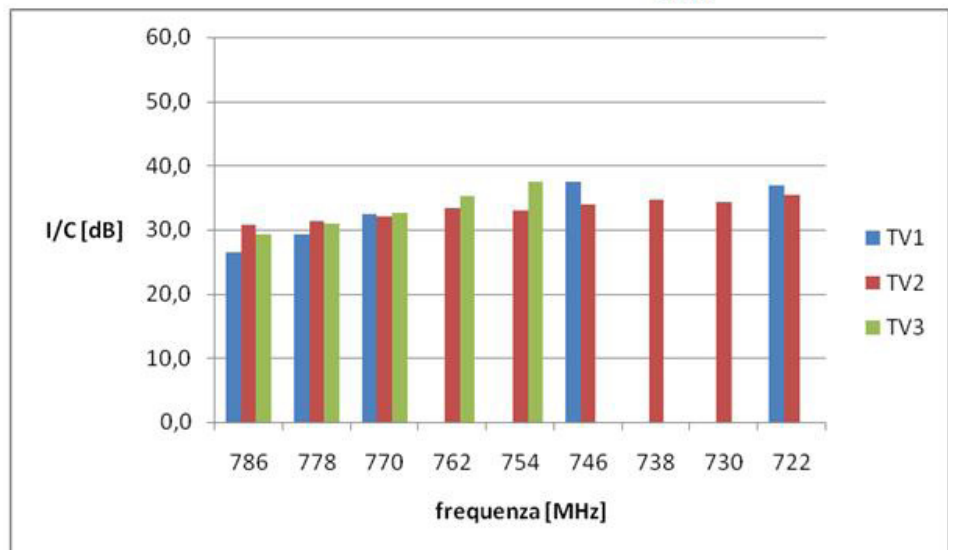
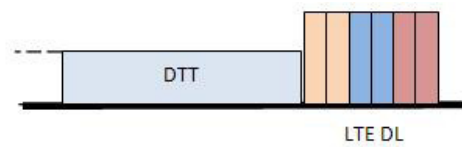
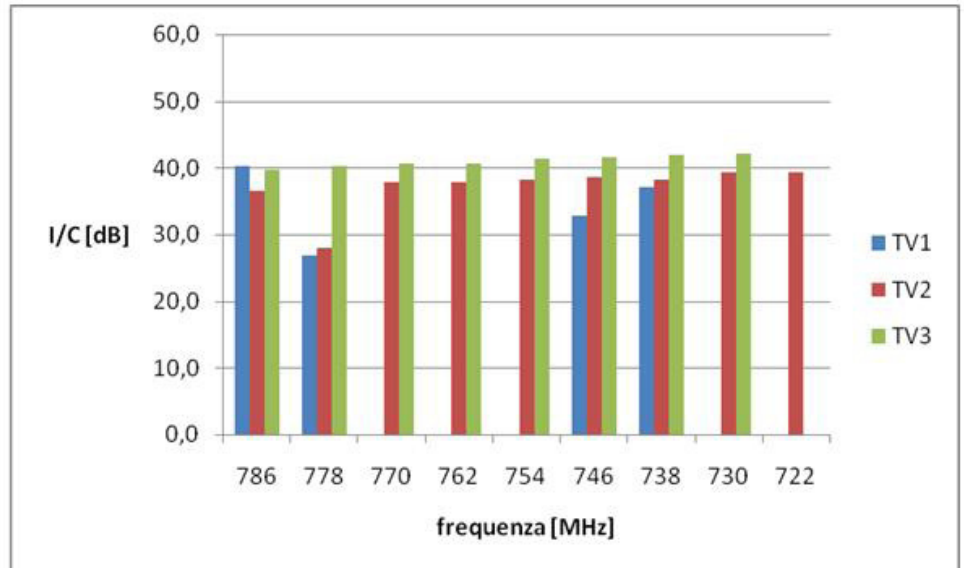


Figura 4.15  
 I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 10 MHz) centrato sulla frequenza 816 MHz e C = - 35 dBm

Figura 4.16  
 I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 30 MHz) centrato sulla frequenza 806 MHz e C = - 35 dBm

Le quattro figure seguenti (4.17, 4.18, 4.19, 4.20) mettono a confronto il comportamento di un ricevitore di tipo "SILICON" in presenza di segnale LTE con traffico al 70% e con traffico nullo (IDLE).

Il livello del segnale DVB-T è di -50 dBm.

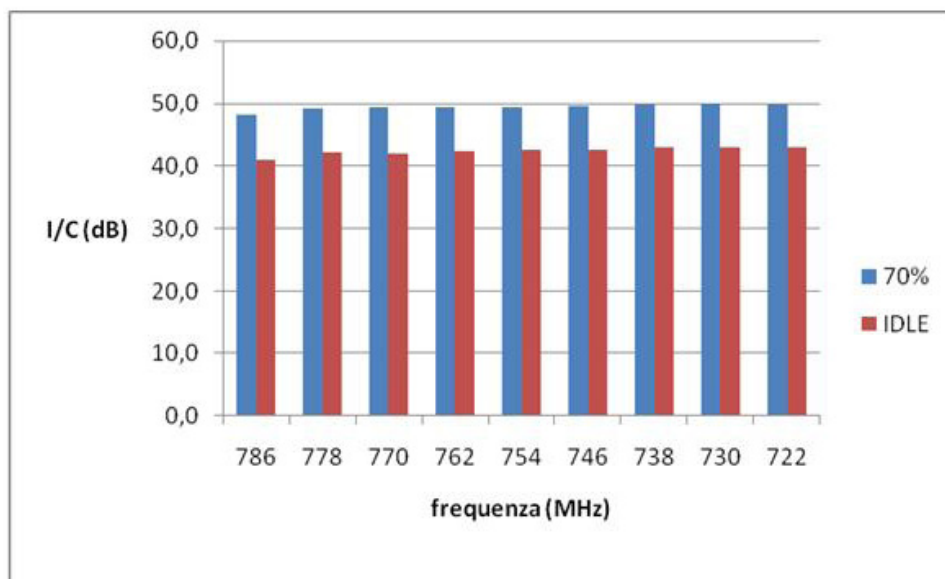
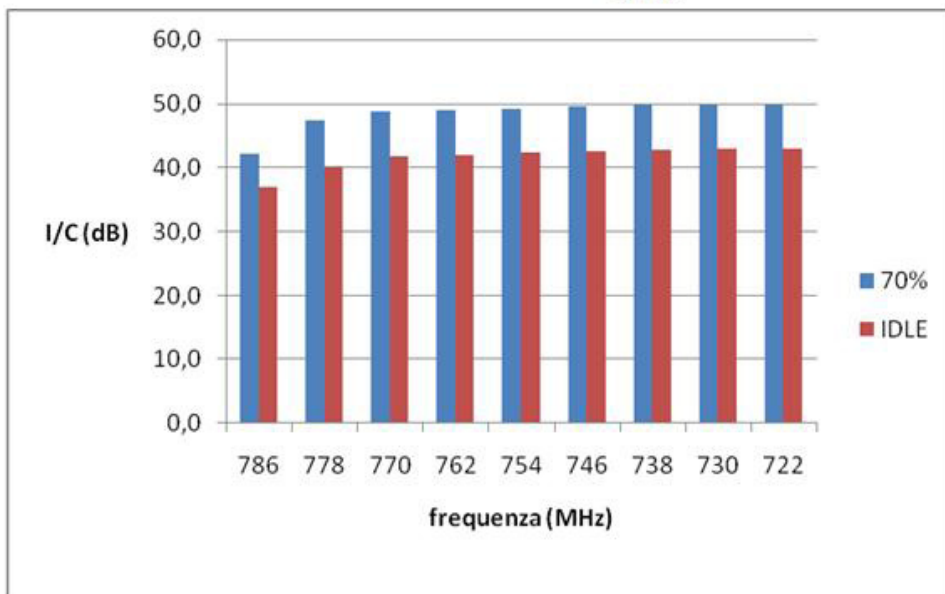
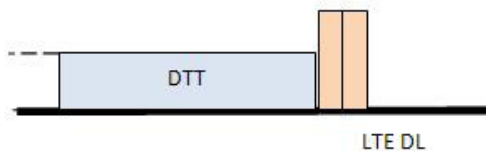


Figura 4.17  
I/C con segnale LTE ( banda 10 MHz)  
centrato sulla frequenza 796 MHz

Figura 4.18  
I/C con segnale LTE ( banda 10 MHz)  
centrato sulla frequenza 806 MHz

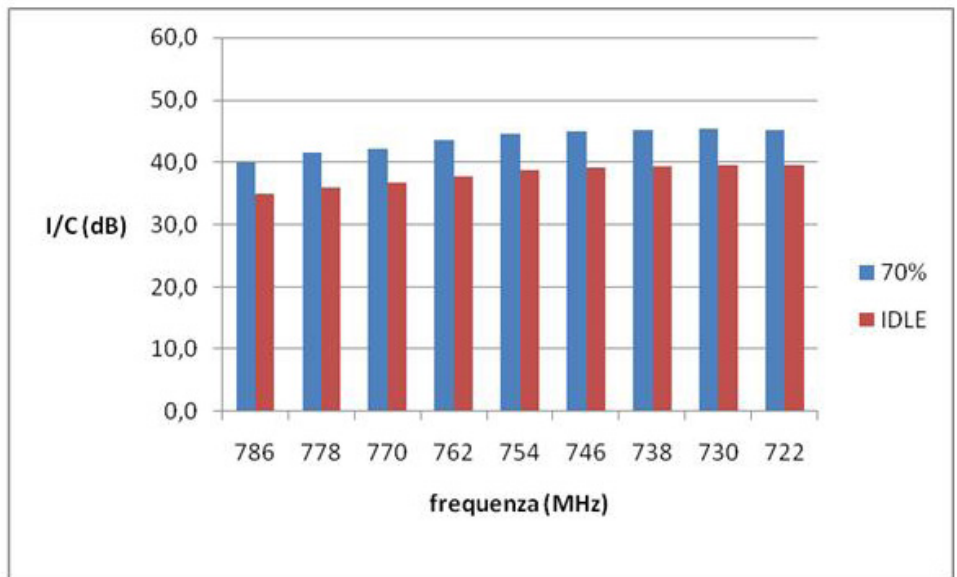
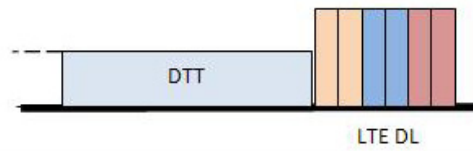
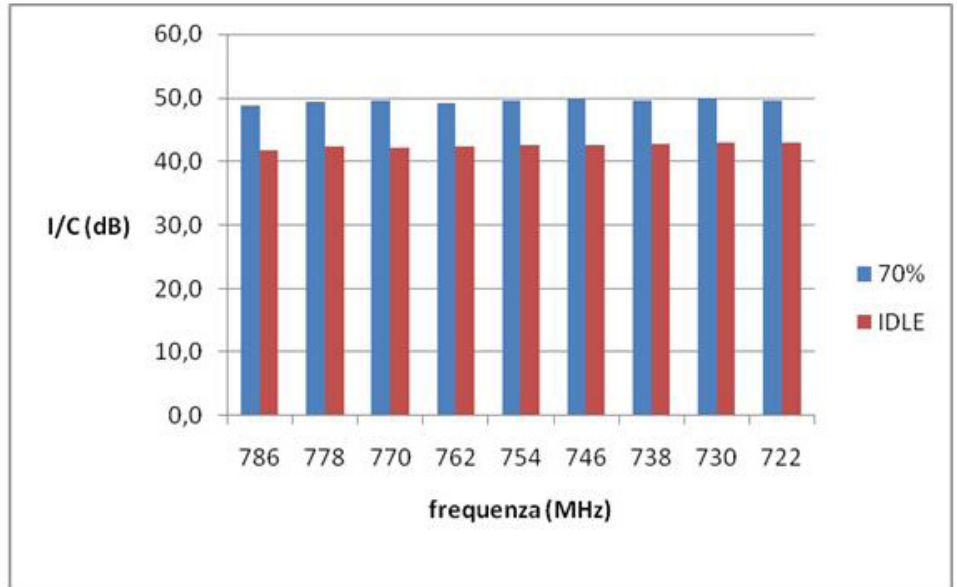
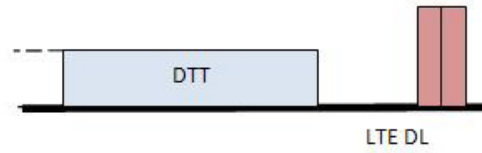


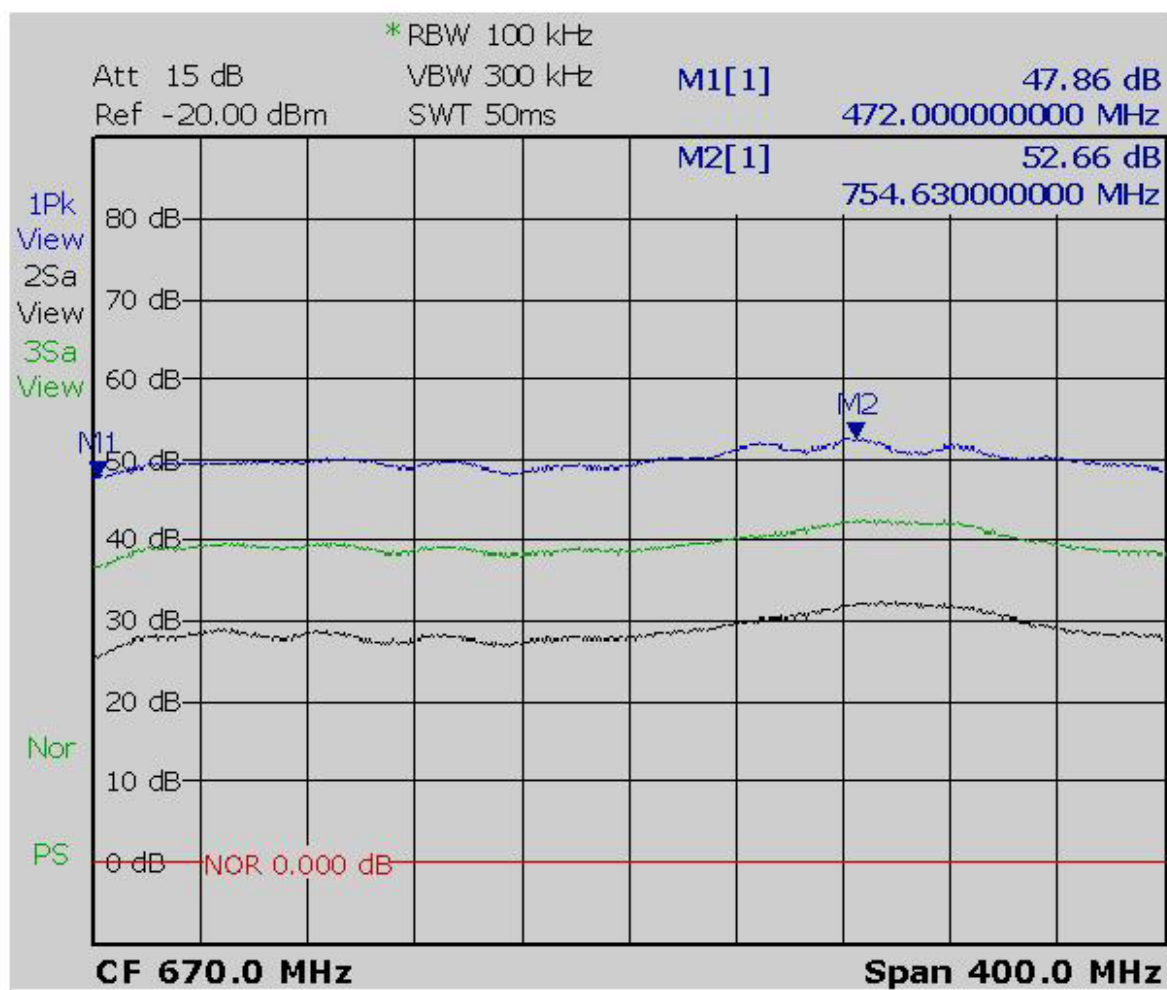
Figura 4.19  
 I/C con segnale LTE ( banda 10 MHz)  
 centrato sulla frequenza 816 MHz

Figura 4.20  
 I/C con segnale LTE ( banda 30 MHz)  
 centrato sulla frequenza 806 MHz

## Impianti di antenna con amplificatore

Gli impianti di antenna che contengono un amplificatore nel terminale di testa, tipico degli impianti di antenna centralizzati condominiali, presentano un comportamento che merita un'attenzione particolare per la peculiarità degli effetti che possono essere prodotti.

Gli amplificatori, disponibili in commercio prima della migrazione del servizio radiomobile in banda UHF televisiva, presentano un'amplificazione pressoché costante fino a 862 MHz, come illustrato nell'esempio di fig. 4.21, che oggi risulta inutile ed anzi dannosa.



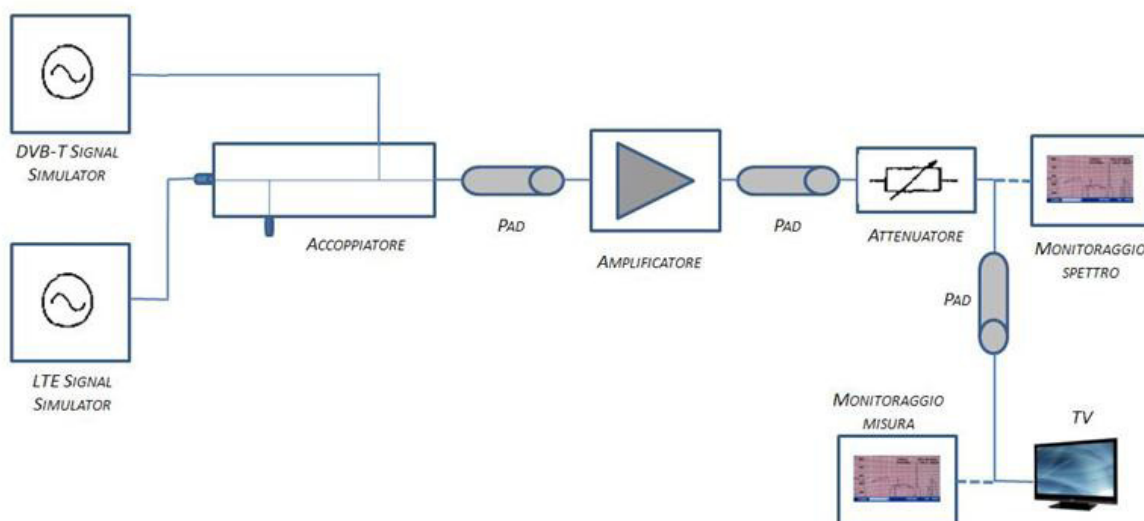
Dati caratteristici:

- Cifra rumore: 8 dB
- Liv.Uscita: 126 dB $\mu$ V (+17dBm)
- Guadagno: 53 dB max

Infatti, un segnale LTE irradiato in prossimità dell'antenna TV e raccolto da essa, se non opportunamente limitato, potrebbe portare in saturazione l'amplificatore e generare prodotti d'intermodulazione di livello elevato su parte o tutta la banda televisiva UHF con la possibile conseguenza di accecare i relativi canali DVB-T.

Figura 4.21  
Misura di guadagno di un amplificatore  
tipico ad alto guadagno in banda UHF





Utilizzando il banco mostrato in fig. 4.22 sono state effettuate prove in laboratorio con l'amplificatore tipico in due diversi esempi di regolazione del guadagno effettuata prima dell'attivazione delle stazioni radio-base LTE:

- Guadagno amplificatore: 43 dB con un segnale DVB-T in ingresso di -26 dBm oppure di -31 dBm
- Guadagno amplificatore: 53 dB con un segnale DVB-T in ingresso di -36 dBm oppure di -75,6 dBm

come illustrato nella fig. 4.23.



Figura 4.22

Schema banco di prove di simulazione delle interferenze su impianto TV

Fig. 4.23

Regolazione di guadagno dell'amplificatore in relazione al segnale d'ingresso DVB/T

Tramite attenuatori di valore opportuno è stato mantenuto costante a -50 dBm il livello all'ingresso dell'apparato televisivo.

E' da tenere presente che la riduzione del guadagno dell'amplificatore peggiora la sua cifra di rumore e di conseguenza rende non ricevibili segnali DVB-T di livello inferiore ad una soglia valutabile, in questo esempio, in circa -65 dBm.

I risultati sono stati raggruppati e riportati nelle figg. 4.24, 4.25, 4.26 e 4.27 per ciascuno dei segnali I considerati:

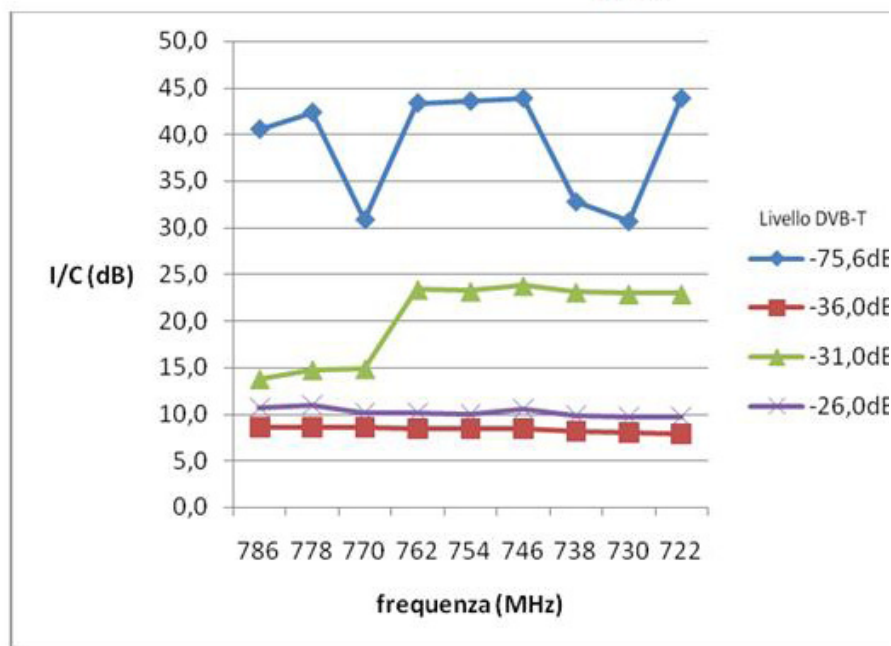
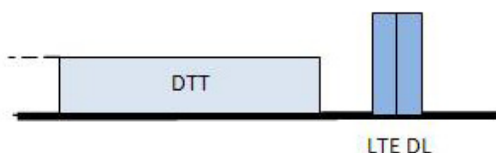
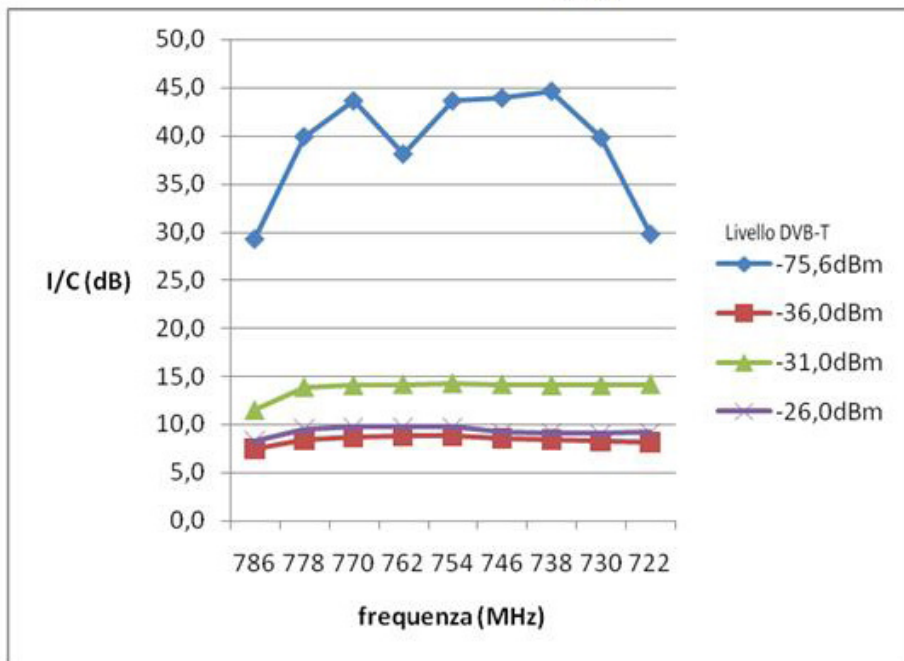
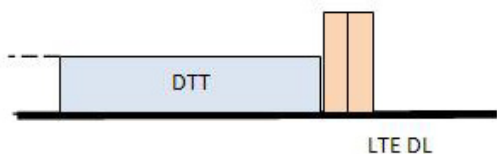


Figura 4.24  
I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 10 MHz centrato sulla frequenza 796 MHz)

Fig. 4.25  
I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 10 MHz centrato sulla frequenza 806 MHz)

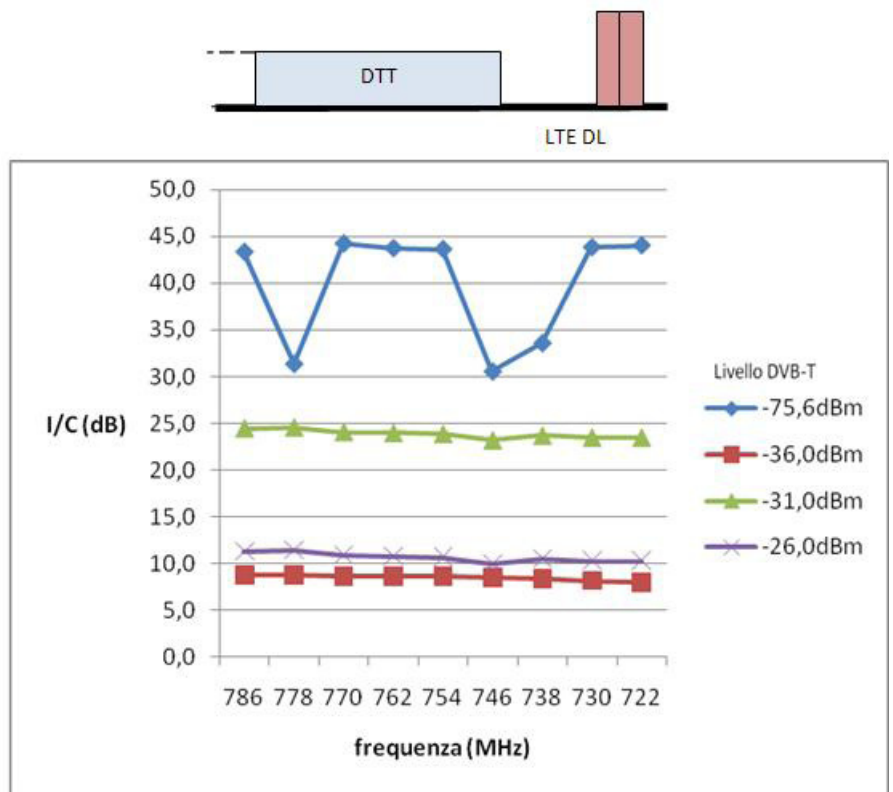


Fig. 4.26  
 I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 10 MHz centrato sulla frequenza 816 MHz)

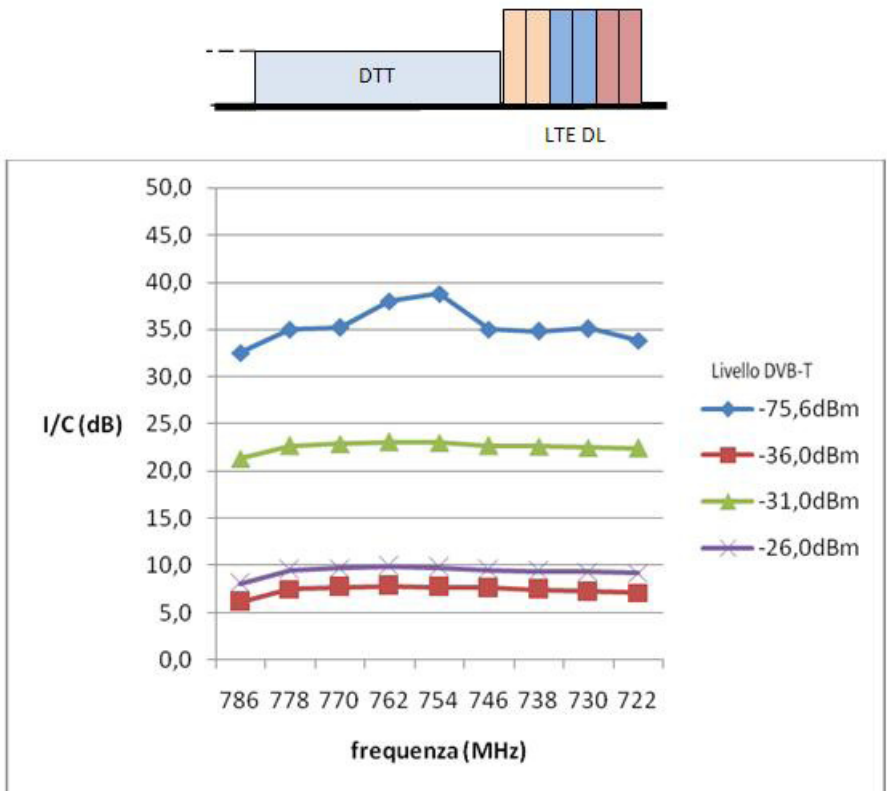


Fig. 4.27  
 I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 30 MHz centrato sulla frequenza 806 MHz)

Dall'esame dei grafici si può notare:

1. Per livelli DVB-T bassi l'interferente agisce prevalentemente sull'apparato televisivo, come mostrato dall'andamento dell'I/C che ripercorre quello già riscontrato durante le prove sugli impianti d'antenna senza amplificatore.

2. Per livelli DVB-T alti l'interferente agisce prevalentemente sull'amplificatore che tende verso la saturazione, come mostrato dai relativi andamenti dell'I/C particolarmente piatti; gli effetti infatti risultano distribuiti uniformemente sui canali presi in considerazione.

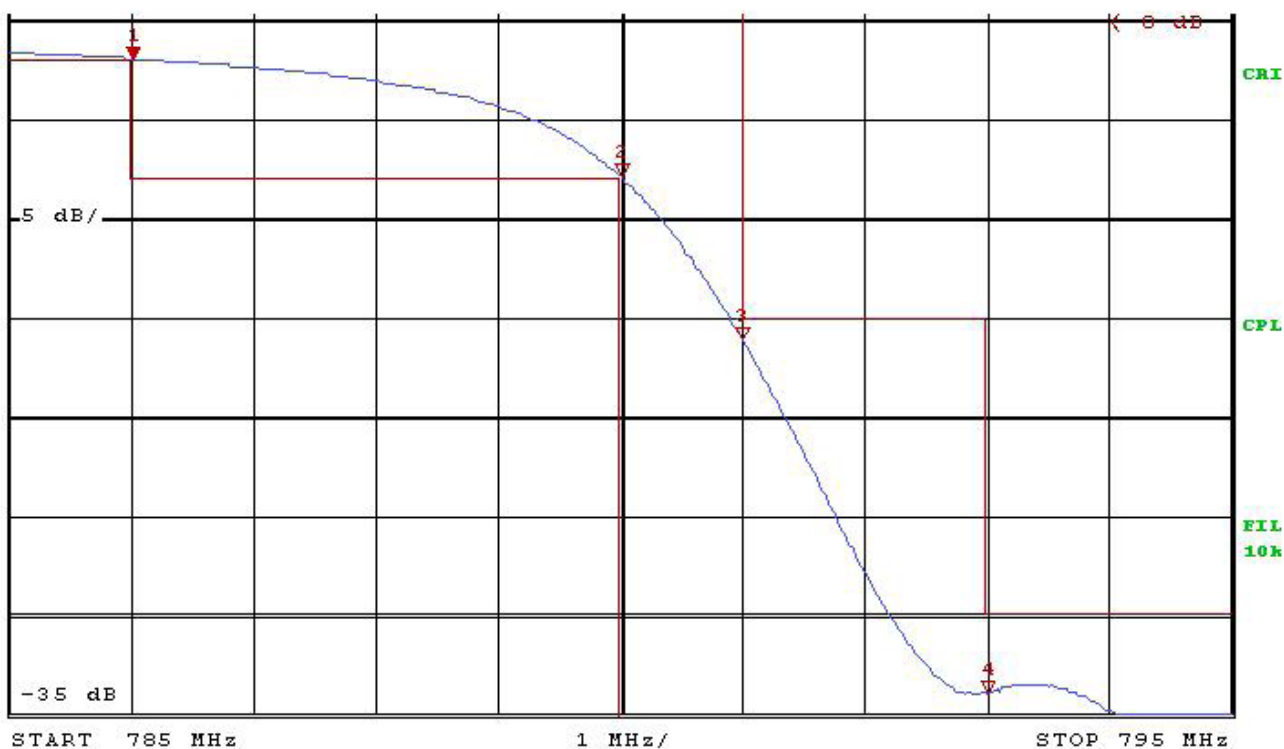
### Adozione di un filtro LTE

Gli inconvenienti illustrati dimostrano la necessità di proteggere gli impianti di ricezione televisiva. Di quest'argomento se n'è occupato il sottocomitato 100D del CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano) che, dopo un approfondito studio, ha prodotto una serie di indicazioni, inserite nella guida CEI 100-7 [8], tra cui l'aggiustamento dell'orientamento dell'antenna ricevente, la riduzione del guadagno dell'amplificatore di testa oppure l'adozione di tecniche di amplificazione canalizzata. La mitigazione delle interferenze può essere ottenuta anche con l'introduzione di un apposito filtro, di cui la guida ne dà le caratteristiche, con lo scopo di limitare la banda di ricezione dell'impianto a quella che è attualmente attribuita al servizio di radiodiffusione.

Un esempio di risposta di un filtro del genere, limitatamente alla banda di frequenze di confine tra i due servizi, in banda UHF, è riportata in fig. 4.28.

Allo scopo di evidenziare il miglioramento di I/C, dovuto all'introduzione del filtro LTE, il banco di simulazione è stato integrato con l'inserimento di un ap-

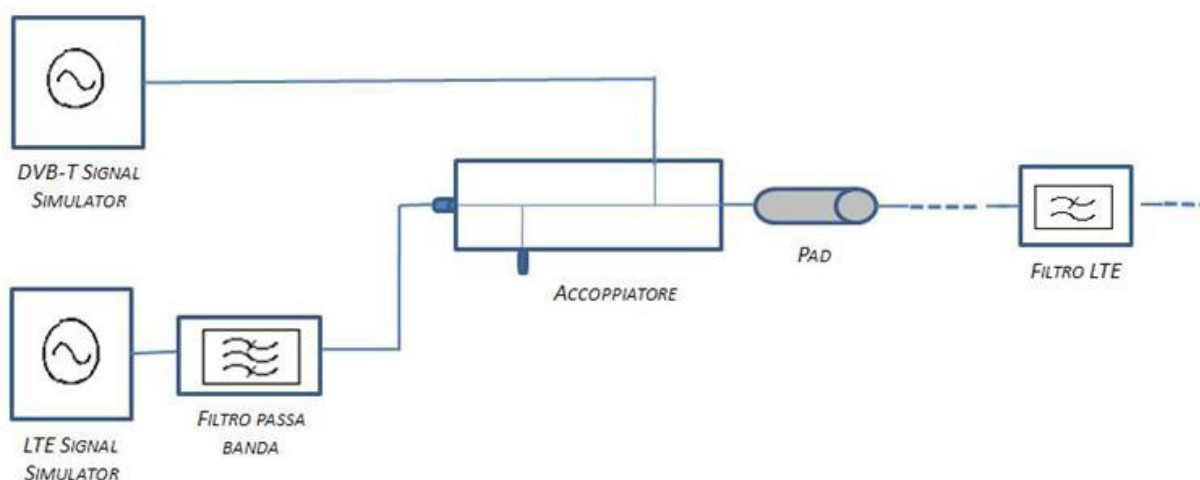
Fig. 4.28  
Risposta di un filtro, 785 MHz - 795 MHz



posito filtro passa banda sull'uscita del generatore di segnali LTE con la funzione di ridurre la piattaforma di rumore che altrimenti avrebbe alterato in modo inaccettabile i risultati.

La normativa tecnica europea [16], che non detta un limite predefinito sulle emissioni fuori banda delle stazioni radio-base LTE per la protezione del servizio di radiotelevisione digitale terrestre, prevede che tale limite venga dichiarato dal costruttore.

La costituzione del banco modificato è illustrata in fig. 4.29.



In fig. 4.30 è riportata la risposta in frequenza del filtro passa banda.

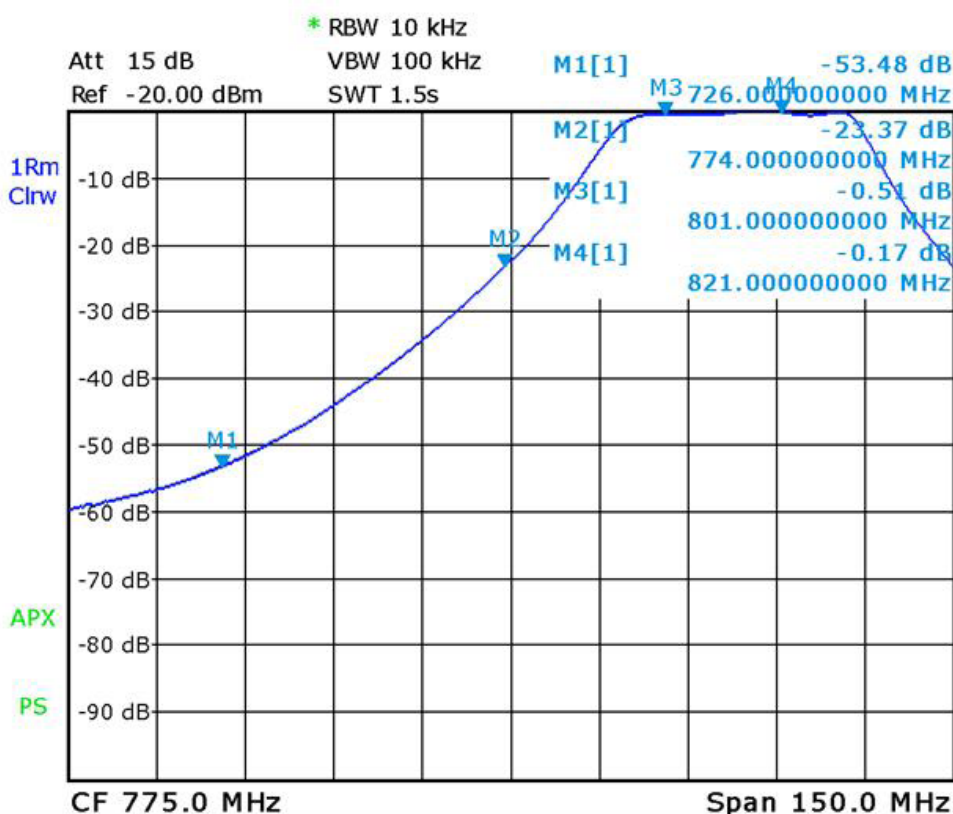
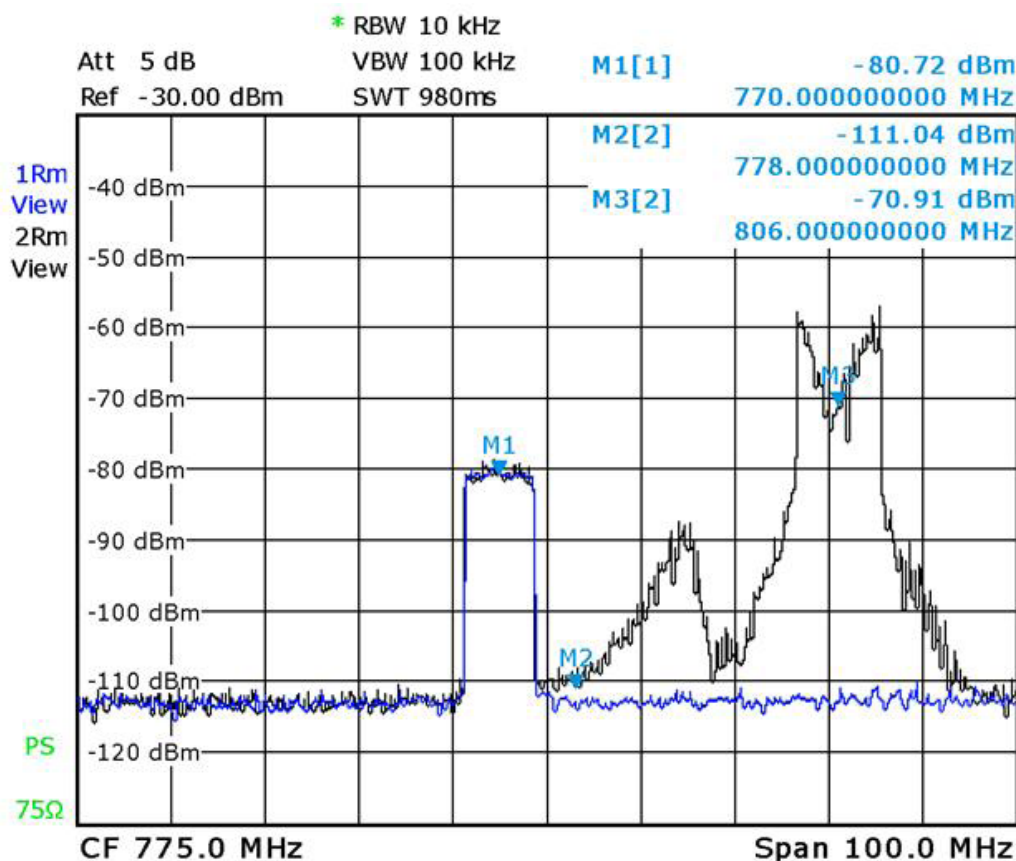


Fig. 4.29  
 Banco con filtro passa banda sul generatore di segnali LTE

Fig. 4.30  
 Risposta in frequenza del filtro passa banda posto all'uscita del generatore di segnale LTE

A causa della pendenza in banda attenuata della risposta del filtro, è stato possibile eseguire simulazioni riguardanti solo il secondo blocco LTE (frequenza centrale 806 MHz, banda 10 MHz), il terzo (frequenza centrale 816 MHz, banda 10 MHz) ed i canali televisivi dal 58 a scendere per i quali l'attenuazione sulla piattaforma di rumore risulta maggiore di 23 dB.

L'effetto migliorativo dovuto all'inserzione di un filtro LTE risulta evidente nella fig. 4.31 dove è rappresentata la situazione della presenza contemporanea del segnale DVB-T (canale 58) e del segnale LTE (secondo blocco), con un I/C valutato in circa 57 dB.



I risultati ottenuti, con questa nuova configurazione, non sono direttamente confrontabili con quelli precedenti (figg. 4.1 ÷ 4.20) che, allo scopo di consentire prove d'interferenza prodotta anche dal primo blocco LTE, erano stati ottenuti senza l'introduzione del filtro passa banda sul generatore di segnali LTE.

### Impianti d'antenna senza amplificatore e con filtro LTE

L'inserzione del filtro LTE ha determinato situazioni per cui non è stato possibile individuare il rapporto I/C di soglia, in tutti i canali televisivi fino ad ora considerati, in quanto sarebbe stato necessario avere una potenza di segnale LTE superiore a quella disponibile (circa +7 dBm) nel banco di simulazione.

Le prove sono state effettuate con livelli del segnale DVB-T di -64 dBm, -50 dBm e -35 dBm.

Gli unici risultati misurabili ottenuti con l'inserzione del filtro LTE sono quel-

Figura 4.31  
Effetto dell'inserzione del filtro LTE

li in corrispondenza della frequenza immagine dell'apparato televisivo di tipo "CAN", con un segnale DVB-T pari a -64 dBm, come da figg. 4.32 e 4.33, dove l'assenza delle colonne verticali evidenzia queste situazioni.

Le prove sono state ripetute con gli stessi livelli DVB-T d'ingresso con un apparato televisivo di tipo "SILICON" ottenendo risultati non graficabili a causa della limitazione del banco già citata.

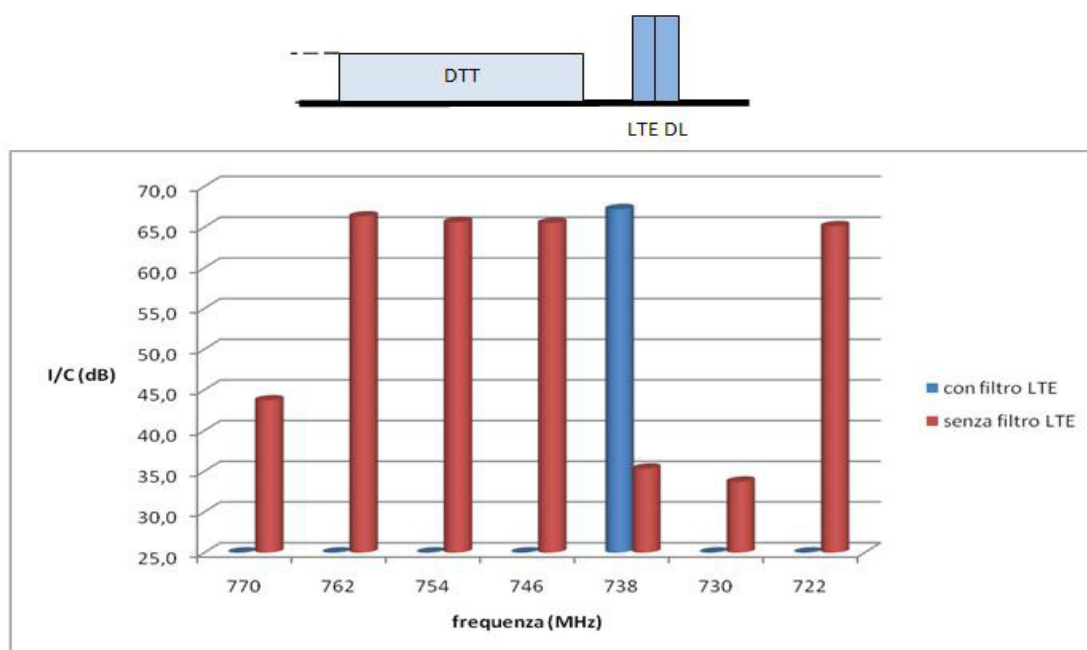


Figura 4.32  
 I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 10 MHz centrato sulla frequenza 806 MHz)

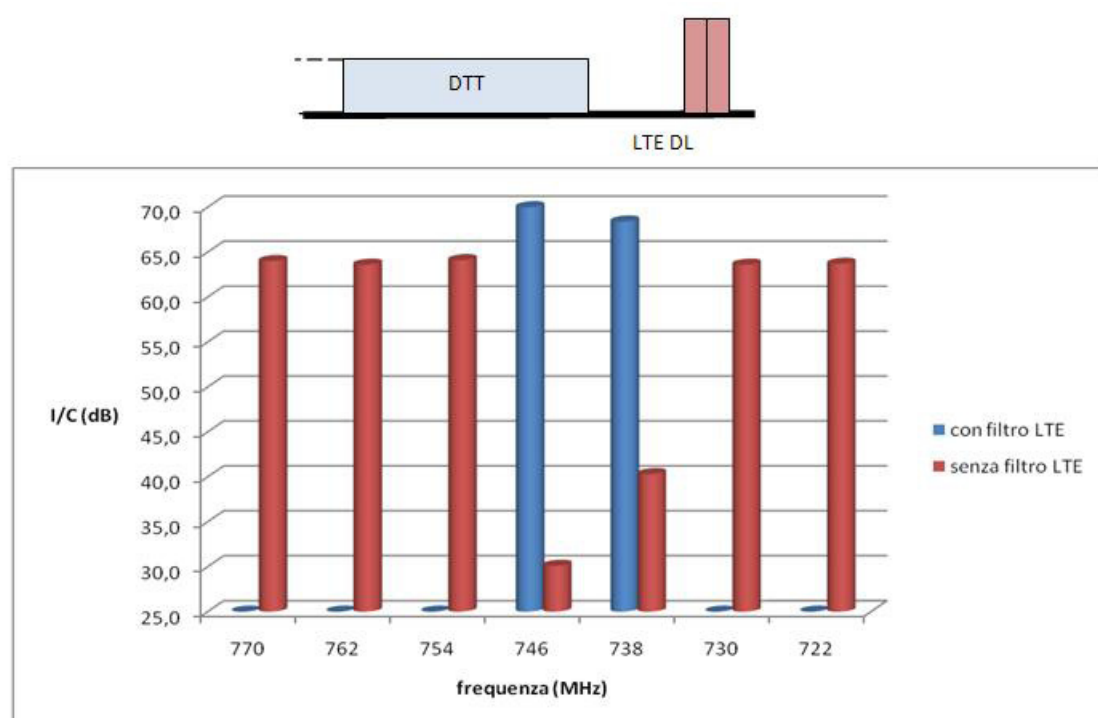
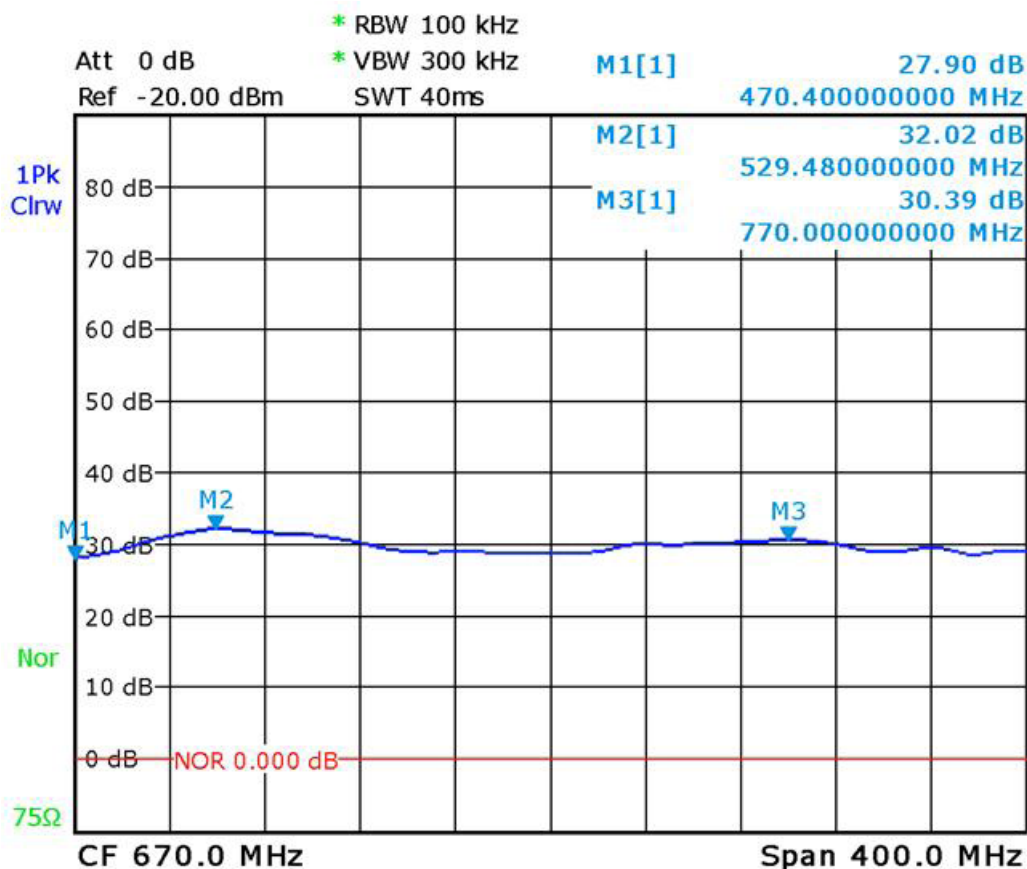


Figura 4.33  
 I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 10 MHz centrato sulla frequenza 816 MHz)

Le prove di simulazione su impianti d'antenna dotati di amplificatore sono state effettuate facendo uso di un esemplare con i seguenti dati caratteristici di targa:

- Liv.Uscita: 119 dB $\mu$ V (+10 dBm)
- Guadagno: 30 dB max (in fig. 4.34 il risultato della misura di laboratorio)

ed inviando al suo ingresso un livello di DVB-T di -55 dBm e -64 dBm.



Il livello all'ingresso dell'apparato televisivo è stato mantenuto costante a -50 dBm tramite attenuatori di valore opportuno.

Anche in questo caso, per l'apparato televisivo di tipo "CAN", gli unici risultati misurabili ottenuti con l'inserzione del filtro LTE sono quelli di interferente in corrispondenza della frequenza immagine, con un segnale DVB-T pari a -64 dBm, come da figg. 4.35 e 4.36, dove l'assenza delle colonne verticali per le altre frequenze televisive evidenzia questa situazione.

Parimenti, per l'apparato televisivo di tipo "SILICON", le prove hanno prodotto risultati non graficabili.

Dall'esame dei grafici precedenti risulta evidente il miglioramento introdotto dal filtro LTE in termini di innalzamento del rapporto I/C. Tale rapporto appare pressoché costante anche sui ricevitori di tipo "CAN" nei quali l'effetto frequenza immagine è notevolmente mitigato.

Figura 4.34  
Misura di guadagno dell'amplificatore  
con dati caratteristici:  $G_{max} = 30$  dB e  
 $Liv_{out} = 119$  dB  $\mu$ V (+10 dBm)



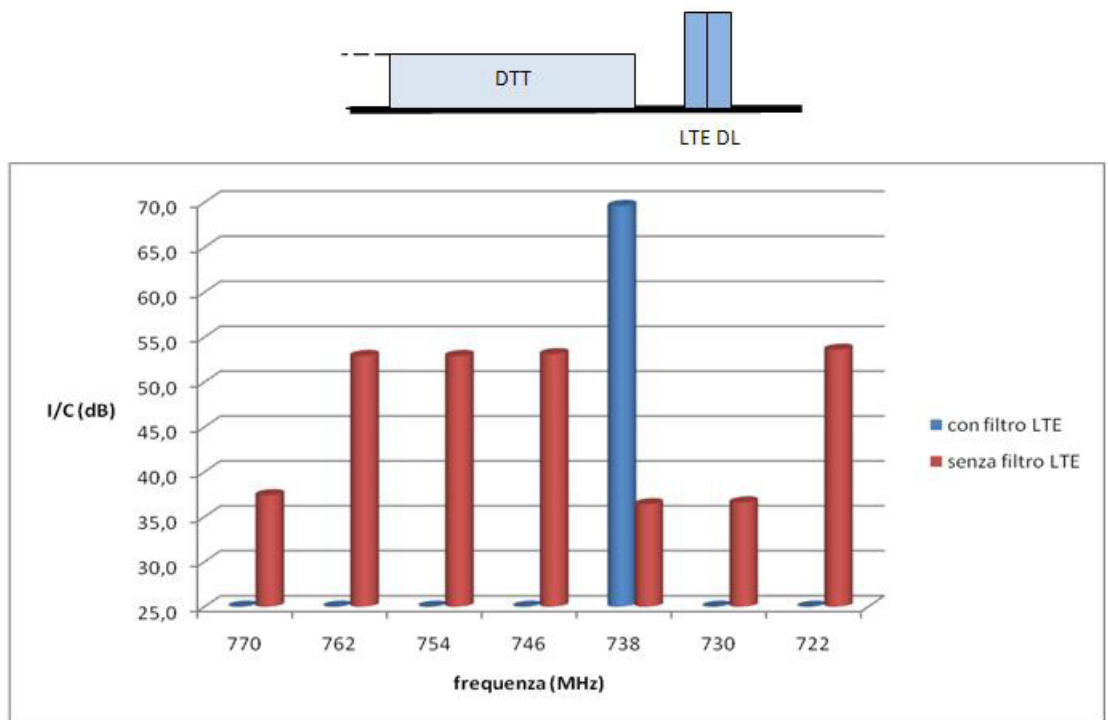


Figura 4.35 I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 10 MHz) centrato sulla frequenza 806 MHz

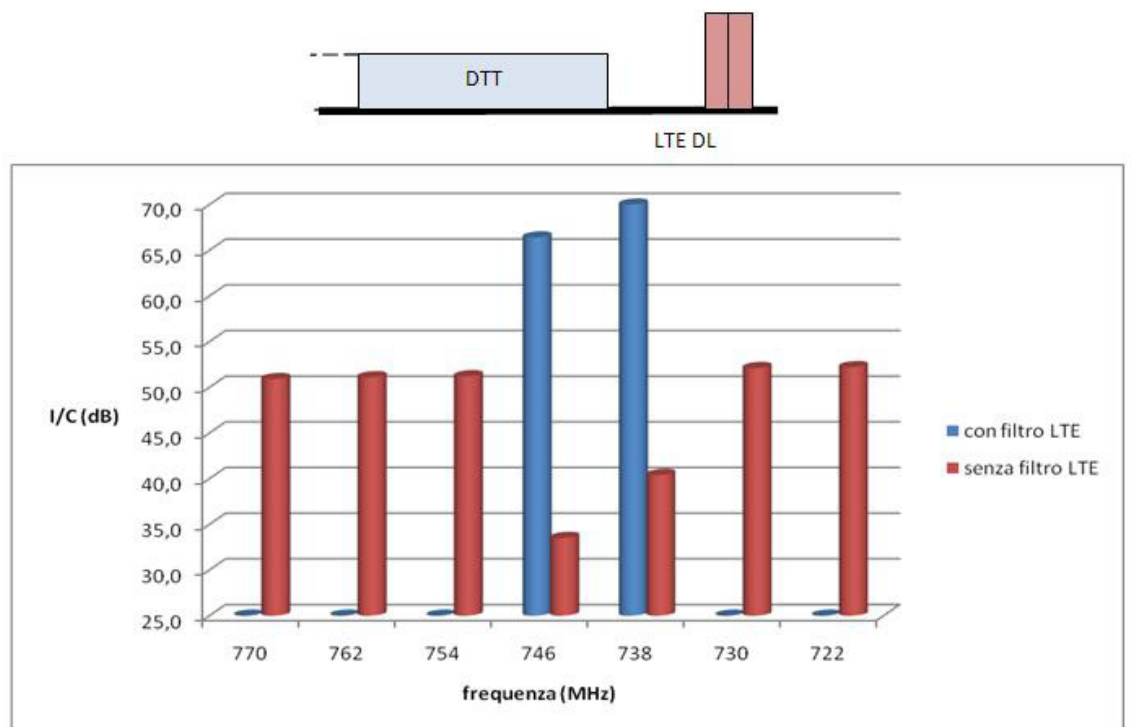


Figura 4.36 I/C con segnale LTE (traffico 70%, banda 10 MHz) centrato sulla frequenza 816 MHz

Alcune prove, estese fino al canale 60, hanno evidenziato un miglioramento anche nei casi di interferenza da canale adiacente (portante LTE a 796 MHz con banda 10MHz e portante LTE a 806 MHz con banda 30 MHz) pur confermando la delicatezza di tale situazione che, come già detto, dipende in grande misura dalle caratteristiche spettrali del segnale LTE nel limite inferiore della sua banda.

## 5. Conclusioni

Sono stati presentati i risultati di una serie di prove eseguite in laboratorio, tramite un banco realizzato appositamente, per simulare l'introduzione del servizio radiomobile LTE nella parte alta della banda UHF televisiva e gli eventuali conseguenti effetti interferenziali.

Lo studio, relativo al comportamento degli impianti riceventi televisivi domestici nelle configurazioni ipotizzate più probabili, prende in considerazione le trasmissioni della stazione radio-base in down-link, 791 MHz ÷ 821 MHz.

I risultati, in termini di rapporto di protezione I/C, sono stati rappresentati prevalentemente in forma grafica e da essi è possibile desumere, almeno in prima approssimazione, il valore limite del rapporto tra la potenza irradiata (EIRP) massima LTE e la distanza minima delle stazioni radio base dalle antenne riceventi televisive, per la salvaguardia della qualità della ricezione televisiva.

A tale scopo, per brevi distanze ed in assenza di ostacoli tra le antenne, assumendo valida l'ipotesi di propagazione in spazio libero, è abbastanza agevole ricavare come conclusione qualche dato concreto.

Immaginando una configurazione come illustrata nella fig. 5.1

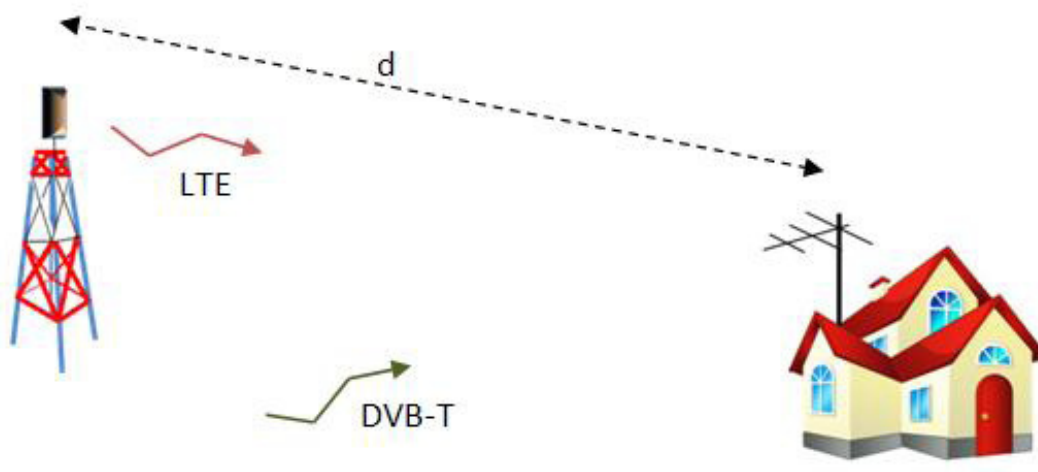


Figura 5.1  
Scenario interferenziale: downlink LTE su antenna TV

vengono definiti i seguenti parametri:

- o **EIRP**: potenza equivalente irradiata isotropicamente dall'antenna LTE nella direzione verso l'antenna TV (dBm);
- o **d**: distanza tra l'antenna LTE e l'antenna ricevente TV (m);
- o **f**: frequenza di lavoro LTE (MHz);
- o **G<sub>r</sub>**: guadagno dell'antenna ricevente riferito ad antenna isotropa alla frequenza f e nella direzione verso l'antenna LTE (dBi);
- o **A<sub>p</sub>**: perdita per disadattamento di polarizzazione (dB);
- o **A<sub>c</sub>**: attenuazione del cavo dell'impianto d'antenna TV (dB);
- o **A<sub>f</sub>**: attenuazione dell'eventuale filtro aggiuntivo LTE (dB);
- o **I**: livello del segnale LTE all'ingresso del DUT (apparato televisivo o amplificatore del terminale di testa) in corrispondenza del valore di I/C critico (soglia di degradamento) (dBm).

La relazione, che lega i valori di salvaguardia della potenza EIRP e della distanza d, con gli altri parametri su elencati è la seguente:

$$EIRP[dBm] - 20\log(d)[m] =$$

$$= I[dBm] - G_r[dBi] + 20\log(f)[MHz] + A_p[dB] + A_c[dB] + A_f[dB] - 27,6$$

I valori dell'EIRP e del guadagno dell'antenna ricevente si intendono misurati nella direzione in cui le due antenne (LTE e TV) si guardano.

Un eventuale margine sulla soglia di degradamento può essere tenuto in conto tramite un termine da aggiungere a secondo membro.

Ovviamente la casistica è estremamente numerosa, esclusivamente a titolo di esempio le tabelle che seguono riportano il risultato approssimato del calcolo in alcuni casi ipotizzati con margine nullo.

### A) Impianti di antenna senza amplificatore (con TV tipo "CAN")

CASO A.1 : LTE f=796 MHz (adiacente al canale 60), BW= 10MHz  
 TV Canale 60, 786 MHz, I/C = 28 dB, C = -50dBm, I = -22 dBm (fig. 4.1)

- G<sub>r</sub> = 9 dBi
- f = 796 MHz
- A<sub>p</sub> = 3 dB (45°)
- A<sub>c</sub> = 3 dB
- A<sub>f</sub> = 0 dB (senza filtro LTE)

LTE EIRP (dBm)	d (m)
55	300
50	170
45	100
40	50

CASO A.2 : LTE  $f=806$  MHz, BW = 10MHz  
 TV Canale 53, 730 MHz, I/C = 35 dB, C = -50dBm, I = -15 dBm (fig. 4.2)

$G_r = 9$  dBi  
 $f_r = 806$  MHz  
 $A_p = 3$  dB ( $45^\circ$ )  
 $A_c = 3$  dB  
 $A_f = 0$  dB (senza filtro LTE)

LTE EIRP (dBm)	d (m)
55	130
50	70
45	40
40	20

CASO A.3 : LTE  $f=816$  MHz, BW = 10MHz  
 TV Canale 55, 746 MHz, I/C = 32 dB, C = -50dBm, I = -18 dBm (fig. 4.3)

$G_r = 9$  dBi  
 $f_r = 816$  MHz  
 $A_p = 3$  dB ( $45^\circ$ )  
 $A_c = 3$  dB  
 $A_f = 0$  dB (senza filtro LTE)

LTE EIRP (dBm)	d (m)
55	190
50	100
45	60
40	30

### B) Impianti di antenna con amplificatore (con TV tipo "CAN")

CASO B.1 : LTE  $f=796$  MHz (adiacente al canale 60), BW = 10MHz  
 TV Canale 60, 786 MHz, I/C = 7 dB, C = -36 dBm, I = -29 dBm (fig. 4.24)

$G_r = 9$  dBi  
 $f_r = 796$  MHz  
 $A_p = 3$  dB ( $45^\circ$ )  
 $A_c = 3$  dB  
 $A_f = 0$  dB (senza filtro LTE)

LTE EIRP (dBm)	d (m)
55	670
50	380
45	210
40	120

CASO B.2 : LTE  $f=806$  MHz, BW= 10MHz

TV Canale 52, 722 MHz, I/C = 8 dB, C = -36 dBm, I = -28 dBm (fig. 4.25)

$$G_r = 9 \text{ dBi}$$

$$f = 806 \text{ MHz}$$

$$A_p = 3 \text{ dB (45}^\circ\text{)}$$

$$A_c = 3 \text{ dB}$$

$$A_f = 0 \text{ dB (senza filtro LTE)}$$

LTE EIRP (dBm)	d (m)
55	590
50	330
45	190
40	110

CASO B.3 : LTE  $f=816$  MHz, BW= 10MHz

TV Canale 55, 746 MHz, I/C = 8 dB, C = -36 dBm, I = -28 dBm (fig. 4.26)

$$G_r = 9 \text{ dBi}$$

$$f = 816 \text{ MHz}$$

$$A_p = 3 \text{ dB (45}^\circ\text{)}$$

$$A_c = 3 \text{ dB}$$

$$A_f = 0 \text{ dB (senza filtro LTE)}$$

LTE EIRP (dBm)	d (m)
55	580
50	330
45	190
40	100

Gli elementi discussi nel presente lavoro non esauriscono certamente gli argomenti della materia esaminata che contiene numerosi altri aspetti meritevoli di approfondimento.

Queste prime esperienze hanno comunque consentito di acquisire elementi preziosi di conoscenza dei fenomeni, utili per il proseguimento dell'attività di laboratorio.

Le attività di laboratorio in genere sono molto apprezzate in quanto spesso indispensabili ogni qualvolta occorre dimostrare la validità di ciò che, anche se studiato accuratamente in via teorica, necessita del vaglio della prova strumentale.

Si ringrazia l'ing. Piergiorgio Masullo e l'ing. Massimo Celidonio (Fondazione Ugo Bordoni) per la fattiva collaborazione dimostrata durante le prove di laboratorio, nonché il Sig. Roberto Dal Molin (ISCTI) per la generosa assistenza prestata.

## Bibliografia

- [1] (2008/2099(INI)) - Risoluzione Parlamento europeo del 24 settembre 2008 «Trarre il massimo beneficio dal dividendo digitale in Europa: un approccio comune all'uso dello spettro liberato dal passaggio al digitale»
- [2] COM(2009) 586 - Comunicazione della commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni: «Trasformare il dividendo digitale in benefici per la società e in crescita economica»
- [3] Decisione 2010/267/UE della Commissione del 6 maggio 2010 relativa all'armonizzazione delle condizioni tecniche d'uso della banda di frequenze 790-862 MHz per i sistemi terrestri in grado di fornire servizi di comunicazioni elettroniche nell'Unione europea
- [4] Decreto 4 maggio 2011 del Ministero dello Sviluppo Economico - Modifica del decreto 13 novembre 2008, e successive modificazioni, recante il piano nazionale di ripartizione delle frequenze (PNRF) – pubblicato, in data 22 giugno 2011, nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, n. 143
- [5] Legge 220 del 13 dicembre 2010 - Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (legge di stabilità 2011) - Art.1, C.8
- [6] Resolution 232 [COM5/10] (World Radiocommunication Conference) - Use of the frequency band 694-790 MHz by the mobile, except aeronautical mobile, service in Region 1 and related studies – Ginevra 2012
- [7] Decreto 22 gennaio 2013 del Ministero dello Sviluppo Economico - Regole tecniche relative agli impianti condominiali centralizzati d'antenna riceventi del servizio di radiodiffusione – pubblicato, in data 30 gennaio 2013, nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, n. 25
- [8] Guida CEI 100-7 – Guida per l'applicazione delle norme sugli impianti di ricezione televisiva – Dicembre 2012
- [9] Decreto 9 agosto 2013, n. 165, del Ministero dello Sviluppo Economico - Regolamento recante misure e modalità d'intervento da parte degli operatori delle telecomunicazioni per minimizzare interferenze tra servizi a larga banda mobile ed impianti per la ricezione televisiva domestica – pubblicato, in data 22 febbraio 2014, nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, n. 44
- [10] European Technical Standard Institute, EN 300 744, “Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television“;
- [11] B. Floch, M. Alard, C. Berrou, “Coded orthogonal frequency division multiplex,” IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 48, no. 11, pp. 3052–3061, Maggio 2000;
- [12] Leon W. Coach “Fondamenti di telecomunicazioni”, 2001 ed. Apogeo;
- [13] D. Turi, R. Borroni “La TV digitale terrestre”, 2007 ed. Franco Angeli;
- [14] AGCOM delibera n. 15/03/CONS, “Relazione illustrativa al piano nazionale di assegnazione delle frequenze per la radiodiffusione televisiva in tecnica digitale (PNAF DVB-T)”;
- [15] Recommendation ITU-R BT.1368-9 “Planning criteria, including protection ratio, for digital terrestrial television services in the VHF/UHF bands” – Dicembre 2011
- [16] ETSI EN 301 908-14 V6.2.1 - IMT cellular networks; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive; Part 14: Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Base Stations (BS) - (2013-10)