

DVB-T2 e DVB-T2 Lite:

la sperimentazione in Valle d'Aosta

Andrea Bertella, Arturo Gallo, Silvio Ripamonti, Mirto Tabone
Rai - Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica

Il DVB-T2 Lite è stato introdotto nel luglio 2011 per supportare la ricezione mobile e portatile e per ridurre i costi d'implementazione della rete.

Il profilo Lite, il primo che utilizza i cosiddetti FEF (Future Extension Frame), ha una complessità del 50% inferiore rispetto al DVB-T2.

Il T2-Lite può essere combinato insieme con il T2 base sulle reti esistenti evitando così di realizzare nuove reti dedicate esclusivamente ai servizi mobili.

Rai CRIT ha condotto un'estensiva campagna di misure in laboratorio allo scopo di valutare le prestazioni del T2 Lite nelle più svariate condizioni operative. I risultati dei test, nonostante le prove siano state condotte sui primi prototipi disponibili, sono in linea con quanto previsto dalle simulazioni al computer su tutte le tipologie di canale trasmissivo utilizzate. Nel presente articolo sono sinteticamente riportati i risultati principali ottenuti in laboratorio, in particolare quelli inerenti alle prove su canale mobile.

Nel corso del 2013 il Centro Ricerche Rai, con la collaborazione di Rai Way, ha avviato una sperimentazione in area di servizio per validare le caratteristiche tecniche del sistema, valutare la copertura in mobilità in funzione del livello di campo disponibile e fare esperienza sulla realizzazione di una piccola rete a singola frequenza con le problematiche a essa collegata (sincronizzazione dei trasmettitori, valutazione delle aree di sovrapposizione delle coperture, ritardi statici inseriti per evitare zone d'interferenza ecc.).

La sperimentazione, i cui risultati sono riportati in quest'articolo, si è svolta in Valle d'Aosta utilizzando i centri trasmettenti di Aosta-Gerdaz e di Saint Vincent-Salirod mediante trasmissione sul canale UHF 53.

1. INTRODUZIONE

"La televisione mobile è la televisione ricevibile attraverso dispositivi palmari (telefonini, smartphone, PDA, ecc.) quindi destinata a una fruizione in mobilità", questa è la definizione di TV mobile che è riportata su Wikipedia[1]. Proseguendo nella lettura si scopre che la storia della TV mobile è molto legata all'avvento delle tecnologie di diffusione digitali ma che in realtà l'argomento ha sempre suscitato un grande interesse anche ai tempi della TV analogica. Con la TV analogica, non si poteva certo ambire ad avere un segnale pulito e perfetto e quindi ci si concentrava soprattutto sulla miniaturizzazione dell'apparato ricevente. Insomma ci si "accontentava" di poter riporre in tasca un dispositivo atto a ricevere un segnale televisivo, anche se, mettendosi in movimento, i risultati erano abbastanza sconcertanti.

Dal 1977, quando uscì la "prima" TV mobile, ad oggi, di anni ne sono passati oltre trentacinque ma non possiamo ancora dire di aver raggiunto il risultato sperato. Eppure di standard per la TV mobile ne sono nati (e morti) parecchi. Sempre Wikipedia ci aiuta a ricordarli tutti [2]; qui ci limitiamo a richiamare quello che per un po' di tempo, almeno in Europa, sembrava poter avere un certo successo: il DVB-H [3] [4].

Come Centro Ricerche Rai il DVB-H venne a lungo testato e il culmine della sperimentazione fu raggiunto durante le Olimpiadi Invernali di Torino del 2006 quando, dal centro trasmettente di Torino Eremo e da alcuni impianti della Valle di Susa, si mise in onda un particolare segnale DVB-T che utilizzava la

modulazione gerarchica [5] [6]. Nella parte a bassa priorità, quella ricevibile con l'antenna fissa sul tetto, si trasmetteva il segnale AVC in alta definizione del canale olimpico Rai (era la prima trasmissione al mondo su digitale terrestre con questa codifica); in quella ad alta priorità si trasmetteva lo stesso programma a basso bit rate con una modulazione DVB-H molto robusta (QPSK) adatta a essere ricevuta in movimento. Per ricevere il segnale mobile si utilizzarono dei telefoni Nokia (N93) dotati di tuner e chip di demodulazione DVB-H. modulazione gerarchica [5] [6]. Nella parte a bassa priorità, quella ricevibile con l'antenna fissa sul tetto, si trasmetteva il segnale AVC in alta definizione del canale olimpico Rai (era la prima trasmissione al mondo su digitale terrestre con questa codifica); in quella ad alta priorità si trasmetteva lo stesso programma a basso bit rate con una modulazione DVB-H molto robusta (QPSK) adatta a essere ricevuta in movimento. Per ricevere il segnale mobile si utilizzarono dei telefoni Nokia (N93) dotati di tuner e chip di demodulazione DVB-H. Il risultato fu per certi versi stupefacente ma, nonostante ciò, dopo un periodo in cui alcuni operatori telefonici lanciarono il servizio commerciale, il DVB-H venne abbandonato e la TV mobile continuò a rimanere solo un oggetto di discussione sui tavoli dei tecnici.

Fra i motivi che portarono al fallimento del DVB-H c'è sicuramente il problema legato ai costi di realizzazione della rete. Vero è infatti, come abbiamo sperimentato nel 2006, che il DVB-H poteva essere inserito in una trasmissione DVB-T sfruttando le modulazioni gerarchiche, ma questo tipo di modalità penalizzava la ricezione DVB-T e non permetteva di sfruttare al massimo le caratteristiche del DVB-H (ad esempio l'utilizzo della modalità 4k, buon compromesso per migliorare le prestazioni in presenza di effetto Doppler senza restringere eccessivamente l'intervallo di guardia). Di conseguenza l'utilizzo di una frequenza e di una rete dedicata alla TV mobile diventava una strada obbligata, con i problemi di sostenibilità economica e con le difficoltà di reperire le risorse di frequenza necessarie che questa scelta comportava. Inoltre, proprio negli anni a cavallo delle Olimpiadi 2006, stavano nascendo gli standard satellite e terrestre di seconda generazione che

rappresentavano un notevole passo in avanti in termini di prestazioni rispetto alla prima generazione e aprivano nuovi ed interessanti scenari anche per la TV mobile.

2. DVB-T2: PERCHÉ UN NUOVO STANDARD PER IL DIGITALE TERRESTRE

Il DVB-T2 [7] è nato in ambito DVB nel 2008 sulla scia del successo dello standard di diffusione satellitare DVB-S2, con l'obiettivo di portare all'utente i servizi in Alta Definizione con un uso ottimizzato della risorsa spettrale.

L'esigenza che ha portato alla realizzazione di questo nuovo standard è da cercare principalmente nella possibilità di incrementare la capacità trasmissiva di almeno il 30% sfruttando al massimo lo sviluppo nell'ambito della microelettronica che, dalla nascita del DVB-T nel 1997 all'introduzione del DVB-T2 nel 2008, ha fatto, in quanto a complessità, un salto di un fattore 100. Questo impressionante miglioramento tecnologico ha permesso di impiegare "strumenti" molto più potenti rispetto a quelli adottati nel DVB-T, tanto che il DVB-T2 ha prestazioni vicine all'ottimo teorico. A questo punto un ulteriore passo, un ipotetico DVB-T3, è difficilmente immaginabile, se non a costo di un'esplosione della complessità a fronte di un miglioramento delle prestazioni estremamente ridotto.

Il DVB-T2, rispetto al DVB-T, offre tangibili vantaggi in termini di incremento di capacità trasmissiva a parità di banda occupata (+50%), oppure di copertura del territorio a parità di potenza emessa.

Lo standard DVB-T2 è già stato ampiamente trattato in Elettronica & Telecomunicazioni [8] [9] e quindi qui di seguito ci limiteremo a richiamare solo gli aspetti salienti.

La tecnica di suddivisione dei dati in trame di banda base (BBFRAME) e la codifica di canale (FEC) sono le stesse del sistema di seconda generazione satellitare DVB-S2.

DVB-T2 vs DVB-T		
	DVB-T2	DVB-T
FEC	LDPC + BCH	Viterbi + RS
Code rate	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8
Costellazioni	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
Intervallo di guardia	1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
FFT	1K, 2K, 4K, 8K, 8K ext., 16K, 16K ext., 32K, 32K ext.	2K, 8K
Pilota Scattered	1%, 2%, 4%, 8% del totale	8% del totale
Pilota Continual	0,35% del totale	2,6% del totale
Larghezza di banda	1,7, 5, 6, 7, 8, 10 MHz	5, 6, 7, 8 MHz
Bit rate max	50,34 Mb/s	31,66 Mb/s

Tab. 1 - DVB-T2 e DVB-T a confronto

Il codice FEC è basato sulla concatenazione tra codici LDPC (Low Density Parity Check) e BCH (Bose Chaudhuri Hocquenghem), tecnica che fornisce prestazioni eccellenti.

Le costellazioni sono derivate dal DVB-T (QPSK, 16QAM, 64QAM), con estensione alla 256QAM e introduzione della tecnica delle costellazioni ruotate, per migliorare significativamente le prestazioni del sistema in canali terrestri particolarmente critici.

La tecnica base di modulazione è multi portante OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) con intervallo di guardia, analoga al DVB-T, che garantisce un sistema di trasmissione affidabile su canali terrestri. Il DVB-T2 aumenta la scelta sulla dimensione della FFT (Fast Fourier Transform), da 1K (circa 1000) a 32K (circa 32000) portanti (il DVB-T offre due modi soltanto, 2K e 8K), e congiuntamente sono incrementati i possibili valori degli intervalli di guardia. Tutto ciò per offrire maggiore flessibilità di scelta di configurazione del sistema, in relazione alle caratteristiche della rete di trasmissione, e garantire un'efficienza trasmissiva significativamente più elevata rispetto al DVB-T.

Il DVB-T2 amplia, rispetto al DVB-T, i possibili segnali per la sincronizzazione e la stima del canale RF che possono essere scelti sulla base del particolare ambiente trasmissivo (8 possibili configurazioni di dispersione di celle pilota che possono portare ad un aumento della capacità trasmissiva rispetto al DVB-T fino all'8%).

Per fronteggiare meglio i diversi tipi di degrada-

mento del segnale sul canale terrestre, il DVB-T2 introduce quattro livelli di interlacciamento dell'informazione (Bit, Cella, Tempo e Frequenza). L'interleaving temporale offre una profondità di interlacciamento di almeno 70 ms per i servizi a rate più elevati, con l'opzione di poter estendere tale valore senza necessità di incrementare la memoria del ricevitore. Ciò consente di ottenere una maggiore immunità a disturbi di tipo impulsivo e può consentire una migliore ricezione in condizioni di mobilità a velocità elevate.

Il DVB-T2 può trasportare flussi di ingresso singoli o multipli, di tipo Transport Stream o Generico (ad es. IP), ed ogni flusso (PLP, Physical Layer Pipe) può essere protetto (FEC e interleaving) in modo differente contro il rumore e le interferenze. Ciò consente di trasportare servizi dedicati a terminali riceventi di tipo diverso, contemporaneamente, in modo ottimale per ciascuno, e di introdurre il "Time Slicing" nello strato fisico, per un risparmio energetico nel ricevitore, che può rimanere acceso solo negli intervalli temporali in cui è presente il servizio di interesse. Nel DVB-T il Time Slicing non è presente, ed è stato introdotto nel DVB-H negli strati superiori, per poter consentire un risparmio di batteria nei terminali d'utente.

Ulteriore sostanziale novità del DVB-T2 è la possibilità di trasmissione con antenne multiple, basata sulla tecnica di Alamouti, che consente di migliorare la ricezione grazie alla diversità spaziale offerta dai due trasmettitori. Inoltre, per ridurre il rapporto tra potenza di picco e potenza media del segnale trasmesso (PAPR), tipicamente molto elevato per se-

gnali di tipo OFDM, il DVB-T2 offre due meccanismi (basati l'uno sulla tecnica "Tone Reservation" e l'altro sulla "Active Constellation Extension"), per migliorare lo sfruttamento della potenza dei trasmettitori.

Infine, per poter essere "future proof" il DVB-T2 offre meccanismi (FEF, Future Extension Frame) per permettere in futuro l'introduzione nel sistema di ulteriori tecniche (ad esempio TFS, Time Frequency Slicing), preservandone la compatibilità all'indietro. Si tratta di una sorta di "buco" nel dominio del tempo entro il quale possono essere inseriti altri segnali. Vedremo in seguito che proprio questa caratteristica è stata utilizzata per trasmettere segnali adatti alla ricezione mobile all'interno di un flusso DVB-T2 utilizzato per la trasmissione di contenuti ad alta definizione verso l'utenza fissa.

L'incremento di capacità trasmissiva si può quantificare in quasi il 50% per una rete MFN e fino al 70% per una rete SFN; in prospettiva, con l'introduzione e la diffusione della nuova codifica di sorgente HEVC questo vantaggio diventa schiacciante: ne risulta la possibilità di trasportare otto programmi HD in un canale RF.

3. DVB-T2 LITE: UN PROFILO LEGGERO PER LA RICEZIONE MOBILE

Il DVB-T2 Lite è, a oggi, il candidato migliore per portare segnali televisivi e radiofonici verso dispositivi mobili come smartphone, tablet PC, PC portatili e per la ricezione in automobile, autobus e treno.

In questo numero di E&T trovate un articolo dedicato in modo specifico al DVB-T2 Lite cui rimandiamo per tutti i dettagli tecnici del nuovo profilo [10]. Qui di seguito ci limitiamo a richiamarne le caratteristiche fondamentali (tabella 2) e a vedere i possibili scenari applicativi.

Il DVB-T2 Lite [7] è stato introdotto nel 2011 ed è stato progettato sulla base delle caratteristiche del DVB-T2. Un'attenta selezione di un sottoinsieme di modalità specifiche per la ricezione mobile permette l'implementazione del T2 Lite utilizzando

DVB-T2 Lite	
FEC block size	LDPC 16k
Code rate	1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4
Costellazioni	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM (fino al code rate 3/5)
Rotazione costel.	Solo per QPSK, 16QAM e 64QAM
Intervallo di guardia	Minori possibilità di scelta della FFT, dell'intervallo di guardia e del profilo di portanti pilota
FFT	2K, 4K, 8K, 16K, 16K ext.
Pilota scattered	PPS non permesso
Max Bit rate	4 Mbit/s

Tab. 2 - T2 Lite, caratteristiche fondamentali

dei chip molto più piccoli e più efficienti in termini di consumi energetici rispetto a quanto possibile fare con il DVB-T2. E' evidente che per i dispositivi mobili la durata della batteria e la miniaturizzazione dell'elettronica di bordo rappresentano aspetti fondamentali.

Questo nuovo profilo è definito nella versione 1.3.1 della specifica DVB - T2 ([7], Annex I) e, allo scopo di incoraggiare la sua diffusione, è stato progettato in modo da minimizzare i cambiamenti necessari rispetto agli apparati DVB-T2 esistenti.

Nel capitolo precedente abbiamo visto che il DVB-T2 prevede la possibilità di differenziare la protezione dei servizi mediante l'impiego di più PLP (Multiple PLP o MPLP). Tuttavia, se lo scopo è di raggiungere mediante un PLP l'utenza fissa e tramite un altro PLP l'utenza mobile, il sistema non è pienamente efficiente. Infatti, la modalità MPLP permette di differenziare lo schema di modulazione (costellazione e FEC) utilizzato nei diversi PLP, ma non permette di cambiare il numero di portanti. Generalmente per l'utenza fissa si utilizza il numero massimo di portanti (32k) allo scopo di aumentare l'intervallo di guardia disponibile, permettendo così l'assorbimento di echi provenienti da posizioni molto lontane. Questo consente altresì di realizzare reti SFN molto estese con una spaziatura dei trasmettitori piuttosto ampia. Per i ricevitori mobili, invece, è meglio utilizzare un numero di portanti inferiore (ad esempio 8k) poiché il segnale, vista la maggior spaziatura esistente fra una portante e l'altra, è più robusto nei confronti dell'effetto Doppler.

Questo tipo di approccio del DVB-T2 è perfettamente coerente con quelli che erano i requisiti commerciali alla base del nuovo standard terrestre: broadcasting di segnali in alta definizione con ricezione fissa tramite gli attuali impianti con antenna direttiva sul tetto. Allo scopo di sviluppare uno standard il più possibile pronto a recepire nuove esigenze, il DVB-T2, come abbiamo visto, ha introdotto i FEF, spazi "vuoti" nel tempo in cui possono essere inseriti segnali differenti, come ad esempio il T2 Lite.

Per rendere il DVB-T2 Lite meno "vorace" in termini di energia richiesta rispetto al DVB-T2, il nuovo profilo ha eliminato una serie di caratteristiche non utili alla ricezione mobile:

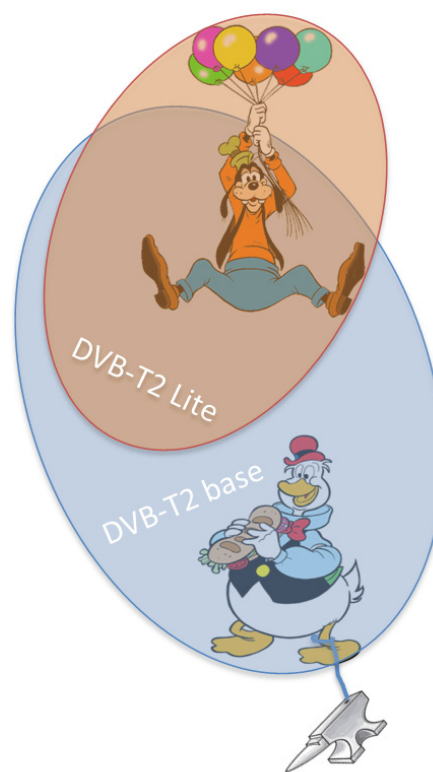
- Eliminazione di FFT 32k e FFT 1k
- Eliminazione della costellazione 256QAM ruotata
- Eliminazione della codifica FEC su blocchi lunghi
- Eliminazione dei FEC 4/5 e 5/6
- Dimezzamento del tempo di Time Interleaving

Allo stesso tempo, per garantire una robustezza maggiore per la ricezione mobile sono stati aggiunti due FEC, 1/3 e 2/5.

Si può dire che il DVB-T2 Lite ha fatto una cura dimagrante e ha rinforzato la muscolatura, diventando così un profilo robusto ma leggero la cui complessità è ridotta del 50% rispetto ai ricevitori DVB-T2.



Fig. 1 - T2 Lite, cura dimagrante e rinforzo della muscolatura



Il T2-Lite può essere trasmesso come segnale a sé stante, in un PLP di un flusso DVB-T2 oppure all'interno dei FEF che trasportano un frame T2 dedicato al servizio mobile e può avere parametri di modulazione diversi dagli altri T2 frame (anche FFT e intervallo di guardia!). Quest'ultima rappresenta, a nostro parere, la modalità più interessante per lo sfruttamento del DVB-T2 Lite perché permette di riutilizzare la rete esistente DVB-T2 che sarà impiegata per la diffusione dei programmi in alta definizione verso l'utenza fissa dotata di antenna sul tetto, senza dover fare scelte di compromesso come accadeva invece con il DVB-H.

Allo stato attuale esistono almeno tre costruttori che producono dei chip T2 + T2 Lite (Sony, Dibcom e Altobeam) ma, a quanto ci risulta, non esiste ancora la versione T2 Lite "stand-alone"... Se questa situazione dovesse permanere, manderebbe in frantumi uno dei grossi pregi del T2 Lite, cioè il ridotto consumo di energia.

4. DVB-T2 LITE: POSSIBILI SCENARI

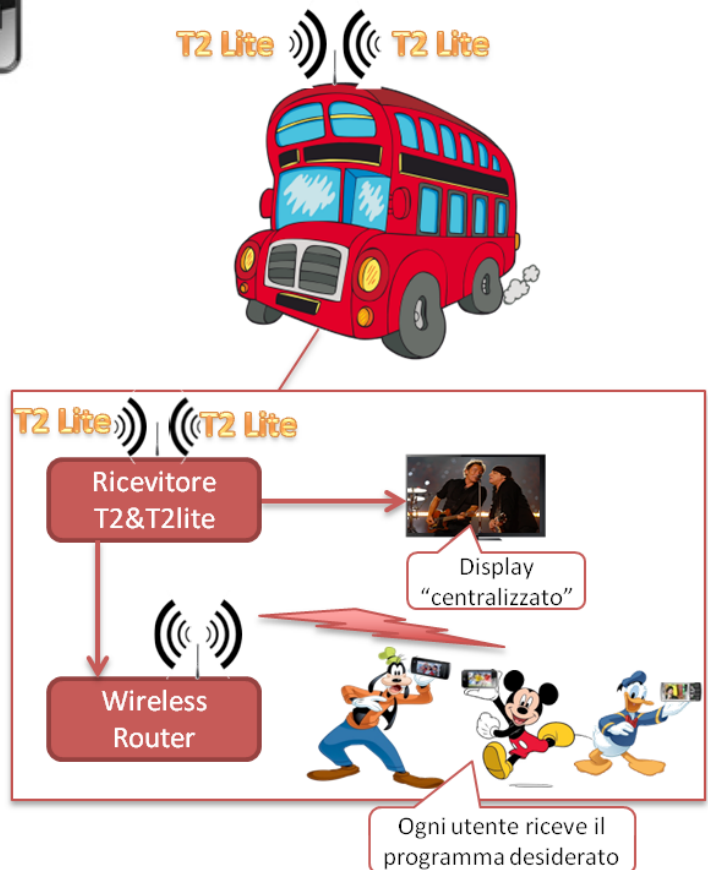
La prima possibilità è quella che tutti noi abbiamo in mente quando parliamo di TV mobile: introdurre all'interno dei dispositivi portatili, come i diffusissimi smartphone, il ricevitore DVB-T2 Lite. Questa è la soluzione più ovvia e pratica anche se può comportare alcune difficoltà. Infatti, i costruttori (e gli operatori telefonici a essi collegati) sembrano abbastanza restii a inserire all'interno dei loro dispositivi un secondo sintonizzatore oltre a quello per la ricezione del segnale di telefonia mobile. Ciò è dovuto sia ad una questione di costi, sia al problema della durata delle batterie anche se, come abbiamo visto, il T2 Lite, mediante il chip appositamente realizzato, cerca in tutti i modi di porre rimedio a questo problema. Esiste inoltre, probabilmente, un criterio squisitamente commerciale: è conveniente per gli operatori telefonici permettere la ricezione mobile di segnali TV senza utilizzare la loro capacità trasmissiva a banda larga?



Una seconda possibilità è legata all'utilizzo di opportuni *dongle* (chiavette USB) che, collegate a dispositivi portatili come tablet PC o Notebook, permettono di ricevere il segnale T2 Lite. In questo caso il consumo delle batterie è un aspetto meno critico e inoltre si svincola il costruttore del dispositivo da quello del ricevitore. Sony e Altobeam sono già in grado di fornire apparati adatti sia a piattaforme Windows sia Android adatte a questo tipo di applicazione.



Esiste anche una terza possibilità in cui la ricezione è fatta a bordo di veicoli in movimento come automobili, autobus e treni. In questo caso si supera completamente il problema del consumo della batteria, rendendo oltretutto ininfluente la realizzazione del chip T2 Lite "stand-alone".



Il segnale video può essere visualizzato su schermi adeguati al tipo di veicolo: nei poggiatesta posteriori per le automobili e su display "centralizzati" per autobus e treni. Inoltre si può pensare di ritrasmettere in Wi-Fi all'interno dei veicoli il segnale ricevuto. In questo modo i singoli utenti potranno fruire dei contenuti che preferiscono utilizzando il dispositivo portatile personale (il proprio smartphone ad esempio) che in questo scenario non avrà bisogno del ricevitore T2 Lite ma soltanto di un player tipo VLC.

Vedremo che questa modalità è stata testata con successo durante la sperimentazione in Valle d'Aosta.

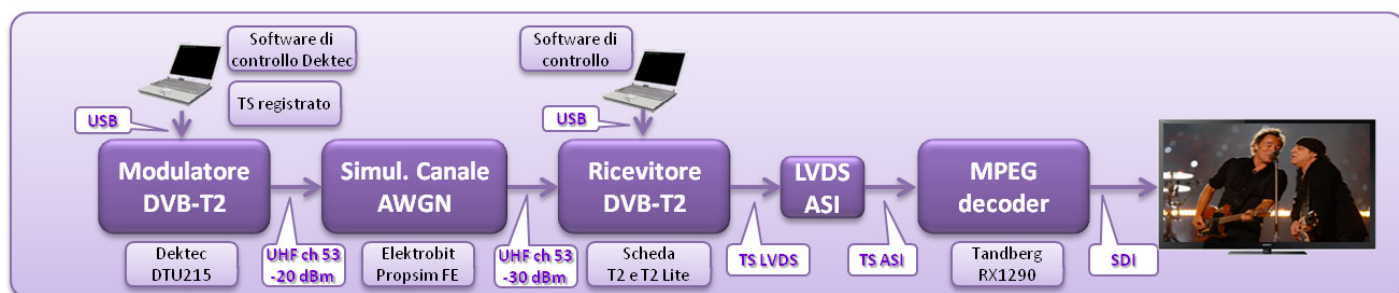


Fig. 2 - Setup di laboratorio

5. DVB-T2 LITE: PROVE DI LABORATORIO

Prima di passare alla descrizione della sperimentazione su campo del T2 Lite ci sembra doveroso descrivere brevemente i risultati della campagna di misura condotta in laboratorio.

Questo lavoro, propedeutico alle prove in area di servizio, ci ha permesso di toccare con mano le enormi potenzialità del sistema e soprattutto di capire come la tecnologia sia già matura per una sua reale introduzione.

I test sono stati condotti su una scheda prototipale equipaggiata con uno dei chip attualmente disponibili in grado di ricevere T2 e T2 Lite.

I test effettuati hanno riguardato tutti gli aspetti che permettono di caratterizzare la "bontà" di una tecnologia e della sua implementazione su silicio: sensibilità del ricevitore, prestazioni in presenza di rumore gaussiano bianco (AWGN), profili di canali Rice e Rayleigh per simulare la ricezione fissa e portatile rispettivamente, eco a 0dB per valutare le

prestazioni in presenza di riflessioni e in reti a singola frequenza, efficacia delle costellazioni ruotate e infine il comportamento in presenza di canali mobili di diverso tipo a differenti velocità (profili COST206 Typical Urban, Hilly Terrain e Rural Area).

Nelle prove di laboratorio abbiamo utilizzato il modulatore Dektec DTU-215 con il software T2Xpress che già in altre occasioni si è dimostrato molto valido e di pratico utilizzo. In contemporanea sono state anche verificate e validate le caratteristiche del modulatore della Screen Service che è stato in seguito installato presso i centri trasmettenti per la sperimentazione su campo. Lo schema di laboratorio utilizzato durante i test è riportato in figura 2.

In quest'articolo riportiamo per brevità, estraendoli dai molti risultati che sono stati ottenuti, solo i dati d'interesse per la successiva sperimentazione in area di servizio. Pertanto la modalità trasmissiva di riferimento prevede l'utilizzo di un segnale "misto" T2+T2 Lite realizzato mediante l'impiego dei FEF. I parametri dello schema di modulazione sono riportati nelle figure 3 e 4.

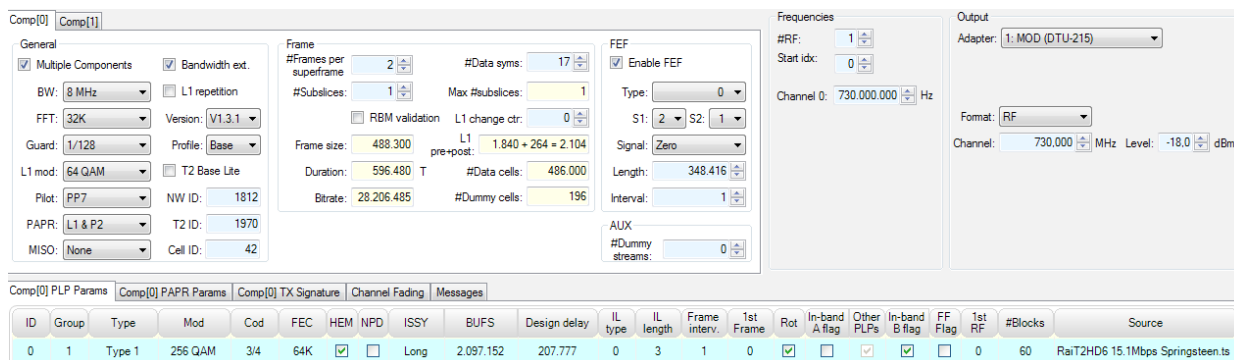


Fig. 3 - Schema di modulazione per T2 Base

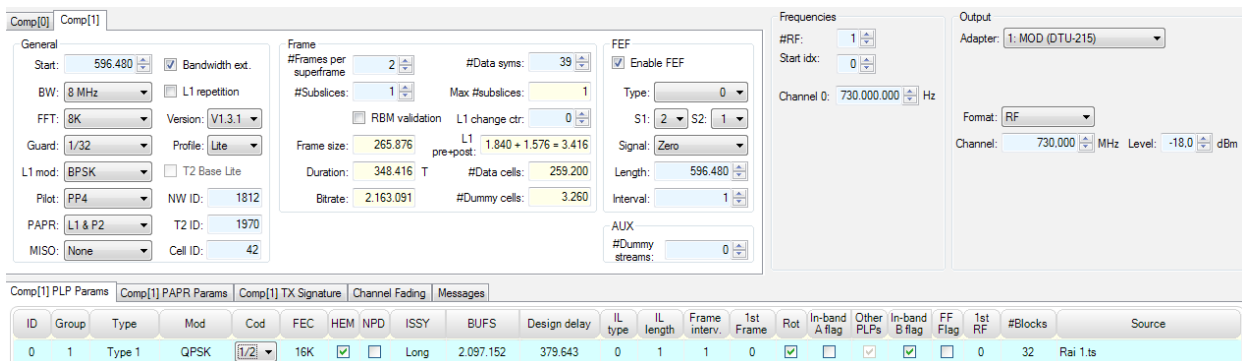


Fig. 4 - Schema di modulazione per T2 Lite

Proponiamo innanzitutto i risultati del DVB-T2 Base su canale gaussiano: i valori di C/N alla soglia di visibilità degli errori a video (Threshold Of Visibility, TOV) ottenuti, e riportati nel grafico di figura 5 sono molto vicini a quanto previsto teoricamente e mediante le simulazioni al computer. Il margine d'implementazione, cioè la perdita rispetto ai valori teorici, è di qualche frazione di dB. Ciò dimostra come la tecnologia DVB-T2 sia già completamente matura e pronta per essere pienamente sfruttata. Si pensi che agli albori del DVB-T il margine d'implementazione dei primi ricevitori professionali era di alcuni dB!

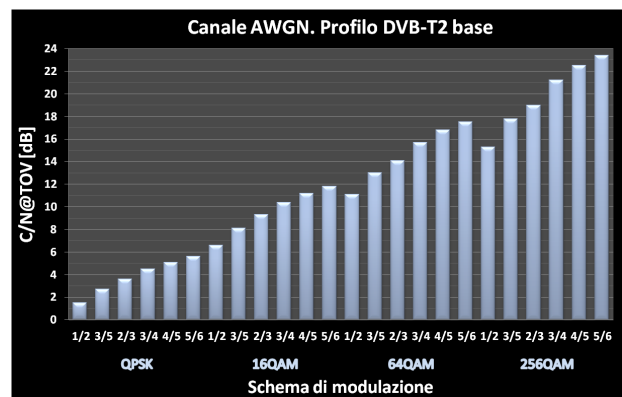


Fig. 5 - Prestazioni del T2 Base su canale gaussiano

Vediamo ora come si comporta il T2 Lite inserito in una trasmissione T2 per mezzo dei FEF. Le prestazioni del T2 Lite in termini di C/N alla soglia di visibilità, limitatamente alle modulazioni più robuste e quindi le più sfruttabili nell'ottica di un utilizzo mobile, sono riportate nel grafico di figura 6.

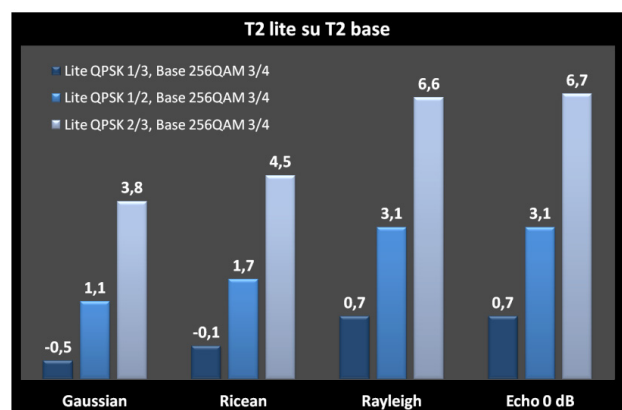


Fig. 6 - Prestazioni del T2 Lite

Anche in questo caso, i valori ottenuti, sono perfettamente in linea con quanto atteso dal punto di vista teorico con margini d'implementazioni molto ridotti. Questo indica che anche il nuovo profilo T2 Lite è stato implementato in maniera molto efficiente. Si noti come nel caso di FEC 1/3 si riesca ad ottenere la ricezione con rapporto segnale su rumore negativo!

I tre FEC che sono indicati nel grafico riportato sono i medesimi che sono stati utilizzati durante le prove in area di servizio.

Durante i test in laboratorio si è osservato che il

tempo di "riaggancio" del ricevitore è veramente limitato: questa è una caratteristica particolarmente apprezzabile nell'utilizzo in movimento vista la natura stessa del canale di propagazione, soggetto a schermature orografiche e artificiali (ponti e tunnel ad esempio) che possono portare ad una repentina perdita del segnale.

Infine riportiamo le prove di laboratorio che simulano il canale mobile. Lo scopo di questo test è verificare la velocità massima che il sistema è in grado di sopportare. In realtà sarebbe più corretto parlare del massimo "Doppler shift" poiché la velocità dipende dalla frequenza di ricezione che si sta utilizzando secondo la seguente formula:

$$v_{max} = \frac{\Delta f \cdot c}{f_0}$$

dove:

Δf = Doppler shift in Hz

c = velocità della luce in m/s

f_0 = centro frequenza del canale utilizzato in Hz

Il grafico riportato in figura 7, per facilitare la comprensione del risultato, riporta la velocità in km/h per il canale UHF 53 ($f_0 = 730\text{MHz}$) che è il canale utilizzato per la sperimentazione in Valle d'Aosta.

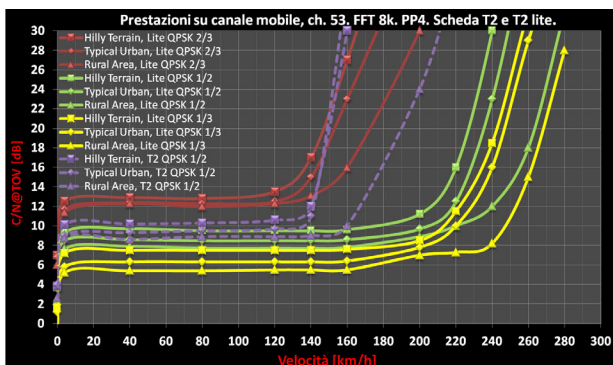


Fig. 7 - Prestazioni del T2 Lite su canale mobile

Da questo grafico si osservi come la massima velocità permessa con FEC 1/2 e 1/3 è intorno ai 240-280 km/h su un canale come il 53 che si trova nella parte alta della banda UHF! Si tratta di una velocità molto elevata compatibile con un utilizzo non solo automobilistico ma che apre anche interessanti prospettive per un impiego sui treni ad alta velocità.

Per ottenere questo risultato si è utilizzato un profilo di portante PP4 che, rispetto al PP7, comunemente utilizzato per la ricezione fissa, comporta una diminuzione del bit rate di circa il 10%, ma permette di ottenere velocità massime quattro volte superiori.

Abbiamo inoltre utilizzato la modalità FFT 8k che riteniamo essere un buon compromesso fra robustezza nei confronti dello shift Doppler e ampiezza dell'intervallo di guardia. Si tenga comunque presente che, se necessario, è possibile utilizzare la modalità FFT 4k o 2k che permettono di raggiungere rispettivamente velocità due e quattro volte superiori rispetto all'8k.

Sono stati comunque eseguiti anche i test con il profilo di portante PP7 che confermano le previsioni sopra indicate. Come vedremo anche i test in area di servizio hanno permesso di convalidare la "veridicità" delle prove effettuate in laboratorio.

La sessione di laboratorio ha quindi confermato la bontà del nuovo profilo T2 Lite, la sua efficacia sul canale mobile e ci ha rassicurato riguardo all'implementazione in hardware.

6. LA SPERIMENTAZIONE IN VALLE D'AOSTA

6.1 CONTESTO E OBIETTIVI DELLA SPERIMENTAZIONE

La regione Valle d'Aosta è stata spesso il teatro di numerose sperimentazioni del Centro Ricerche Rai, specialmente con l'avvento del digitale negli anni '90. Per esempio nel 1995-96, agli albori della radio digitale, fu condotta un'intensa campagna di misure sul DAB di cui si può ripercorrere la storia in [11]; quando il digitale terrestre muoveva i primi passi, sul finire degli anni '90, si sperimentò la possibilità di trasferire sui ponti radio analogici il segnale DVB-T [12]; ancora, nei primi anni del 2000 si svolsero in Valle d'Aosta importanti test pre-operativi del digitale terrestre [13].

Il motivo di questo connubio Rai CRIT- Valle d'Aosta va cercato nella particolarità di questa regione che, a causa della sua orografia, offre un ambiente particolarmente complesso dal punto di vista della diffusione e della ricezione dei segnali. Le numerose vallate laterali e il cospicuo numero d'impianti che sono necessari per coprire il territorio rendono la Valle d'Aosta perfetta per testare in maniera approfondita le reti a singola frequenza. Inoltre la possibi-

lità di percorrere una fitta rete stradale secondaria, accanto a quella principale dei fondo valle, che spesso s'inerpica su scoscesi versanti montuosi frequentemente nascosti dai trasmettitori, rappresenta un banco di prova straordinario per la ricezione di segnali in movimento (si pensi alla radio digitale DAB o alla TV mobile come nel caso in questione). Infine, la Valle d'Aosta, essendo così ben "schermata" dal resto del territorio nazionale, grazie alle sue imponenti vette montuose, e avendo, rispetto al resto del Paese, un numero limitato di canali occupati, ha una maggior flessibilità nell'assegnazione di frequenze per la sperimentazione.

Per questi motivi, all'inizio del 2013, dopo aver verificato in laboratorio le prestazioni del T2 Lite e la possibilità di utilizzare con profitto il ricevitore T2-T2 Lite montato su una scheda prototipale è partita la sperimentazione in area di servizio.

L'obiettivo del progetto era l'attivazione di un test-bed DVB-T2+DVB-T2 Lite mediante l'accensione di due trasmettitori in località Gerdaz e Salirod in rete a singola frequenza (SFN).

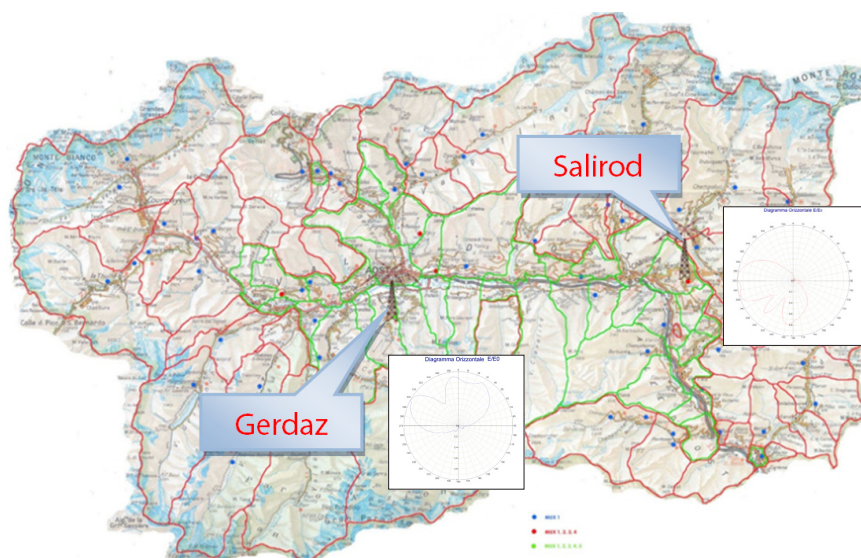
Lo scopo della campagna di misure consisteva nella valutazione delle caratteristiche tecniche del sistema T2+T2 Lite in area di servizio e della copertura in mobilità utilizzando vari schemi di modulazione

in funzione del livello di campo disponibile. Inoltre questa sperimentazione era un'ottima occasione per fare esperienza sulla realizzazione di una piccola rete a singola frequenza in "ambiente ostile" con le problematiche ad essa collegata: sincronizzazione dei trasmettitori, valutazione delle aree di sovrapposizione delle coperture, ritardi statici inseriti per evitare zone di interferenza, ecc.

Il progetto si è sviluppato in 5 fasi, ognuna delle quali prevedeva installazioni infrastrutturali:

- **Fase 1:** allestimento dell'Head-End presso la Sede Regionale Rai di Aosta
- **Fase 2:** attivazione del trasmettitore situato in località Gerdaz (TX1) in modalità T2 Lite; allestimento dell'automezzo per le misure ed esecuzione dei test fissi e mobili in area di servizio;
- **Fase 3:** attivazione di un secondo trasmettitore T2 Lite situato in località Salirod (TX2) ed esecuzione dei test fissi e mobili nell'area di servizio con il TX1 spento
- **Fase 4:** attivazione della rete SFN e ottimizzazione
- **Fase 5:** test su strada in modalità SFN nella congiunta area di servizio dei due trasmettitori

Nei paragrafi che seguono ripercorreremo le varie fasi.



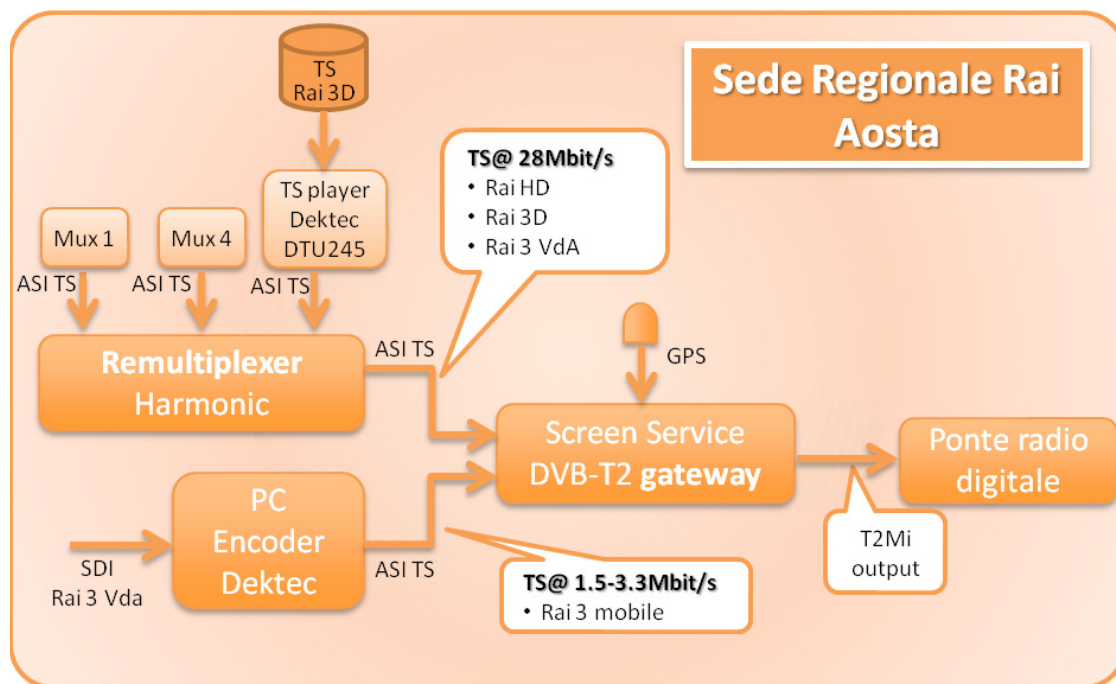


Fig. 8 - Head-End di generazione del segnale

6.2 HEAD-END E DISTRIBUZIONE DEI SEGNALI VERSO I CENTRI TRASMITTENTI

L'Head-End di generazione del segnale da distribuire verso gli impianti trasmissivi è stato installato presso la sede regionale Rai di Aosta. Lo schema di principio è riportato in figura 8.

Per la parte DVB-T2 Base sono stati prelevati i segnali Rai 1 HD dal Mux 4 del DVB-T (video AVC alta definizione) e Rai 3 TGR VDA dal Mux 1 (video MPEG2 definizione standard). Inoltre abbiamo generato localmente, mediante un player Transport Stream, un segnale 3D attingendo dalla ormai ampia produzione Rai di eventi ripresi con tecnica stereoscopica.

I tre contributi sono stati multiplexati in modo da generare un flusso TS avente un bit rate complessivo pari a 28 Mbit/s in modo tale da essere compatibile con lo schema di modulazione impiegato sul T2 Base.

Per quanto riguarda la parte T2 Lite si è prelevato

nuovamente il flusso Rai 3 TGRVDA, ma a differenza di quanto fatto per il T2 Base, dove si è utilizzato il flusso TS proveniente dalla catena di codifica del Mux 1 del DVB-T, abbiamo impiegato direttamente il segnale video SDI con audio embedded per alimentare un encoder software. È stato così generato un flusso TS a basso bit rate (fra 1,5 e 3,3 Mbit/s in funzione della scheda di modulazione usata durante la sperimentazione T2 Lite) dove la codifica video è stata fatta in AVC definizione standard.

I due flussi TS ottenuti sono stati inviati verso il T2 Gateway della Screen Service appositamente realizzato per la gestione di un flusso T2+T2 Lite. Mediante quest'apparato sono stabiliti i parametri di modulazione dei flussi T2 e T2 Lite in base ai rispettivi bit rate che si desiderano allocare.

Nel caso in questione sono stati utilizzati gli schemi di modulazione indicati in maniera dettagliata nelle figure 3 e 4 e in forma sintetica in figura 9.

Per la parte T2 Base si è deciso di utilizzare la costellazione 256QAM con FEC 3/4 perché permette di avere un'ottima capacità trasmissiva richiedendo un C/N intorno ai 20 dB: tale valore è di poco superiore

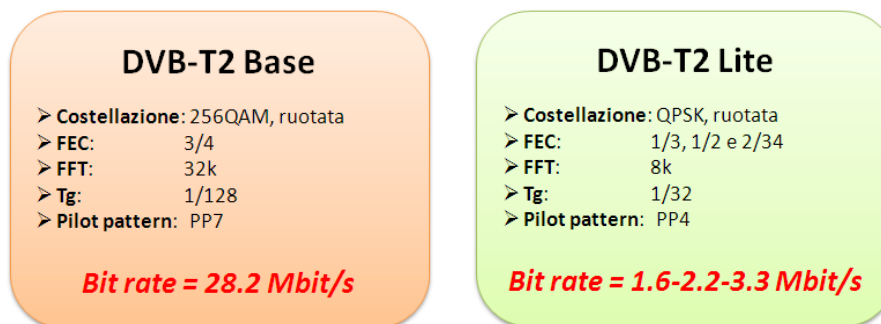


Fig. 9 - Parametri di modulazione

a quanto oggi è necessario per ricevere un segnale DVB-T. Come profilo di portante si è optato per il PP7 poiché la parte base è dedicata alla ricezione fissa con antenna direttiva. Abbiamo infine utilizzato la modalità 32k in modo da massimizzare la durata dell'intervallo di guardia a parità di valore di Tg.

Per la parte T2 Lite si è scelta la costellazione QPSK e abbiamo deciso di effettuare i test, almeno in una prima fase, con tre valori di FEC: 1/3, 1/2 e 2/3. Per la ricezione mobile, come visto nelle prove di laboratorio, la scelta che ci pare ottimale per quanto concerne il profilo delle portanti è il PP4, che garantisce un'ottima robustezza anche ad elevate velocità. Infine, abbiamo utilizzato la modalità 8k che è un buon compromesso fra robustezza in presenza di shift Doppler e ampiezza dell'intervallo di guardia.

Il valore di Tg è stato scelto in modo tale da garantire che nella zona di intersezione della copertura dei due trasmettitori non ci sia interferenza intersimbolica. Dall'analisi delle coperture previste e in base alla distanza dei trasmettitori si è visto che 28 μ s di intervallo di guardia erano sufficienti. Nel capitolo dedicato all'allestimento dei trasmettitori ritorneremo su questo argomento in quanto è stato necessario introdurre un ritardo statico sul trasmettitore di Gerdaz.

Il gateway genera il flusso T2-MI contenente tutte le informazioni necessarie ai modulatori posti presso gli impianti trasmettenti per generare il segnale T2-T2 Lite mediante i FEC, come descritto nei paragrafi precedenti. Inoltre, con l'ausilio dei riferimenti di

tempo 1pps e di frequenza 10MHz ottenuti mediante il GPS, fornisce anche tutte le informazioni di sincronizzazione necessarie alla realizzazione della rete a singola frequenza. I dettagli relativi all'interfaccia T2-MI si possono trovare in [14].

Il flusso T2-MI viene inviato al ponte radio digitale per la distribuzione verso gli impianti trasmettenti. La struttura portante della rete in ponte radio utilizzata per la sperimentazione è la stessa che alimenta i trasmettitori dell'attuale rete regionale DVB-T. E' gestita da Raiway ed è centrifuga, con punto di generazione regionale proprio nella sede Rai di Aosta. La tecnologia di questa rete è SDH (Synchronous Digital Hierarchy).

L'installazione dell'Head End T2-T2 Lite nella stessa sede del centro di distribuzione del segnale SDH ha risolto molte delle criticità tecniche proprie dell'iniezione del segnale generato nella rete di trasporto.

In una rete in ponte radio il requisito fondamentale ai fini del trasporto è la vista ottica tra testata di trasmissione e di ricezione. Il sito trasmittente di Gerdaz è in portata ottica con la sede regionale Rai di Aosta ed è raggiunto in modo diretto. Al contrario, il sito trasmittente di Salirod non è in vista ottica con la Rai sede regionale di Aosta; inoltre, purtroppo, non è in portata ottica nemmeno con il trasmettitore di Gerdaz. Il raggiungimento avviene pertanto per mezzo di una triangolazione con il sito trasmittente di Saint-Nicolas, centro ubicato all'incirca a metà strada fra Aosta e Courmayeur, che è in portata ottica con Gerdaz e Salirod.

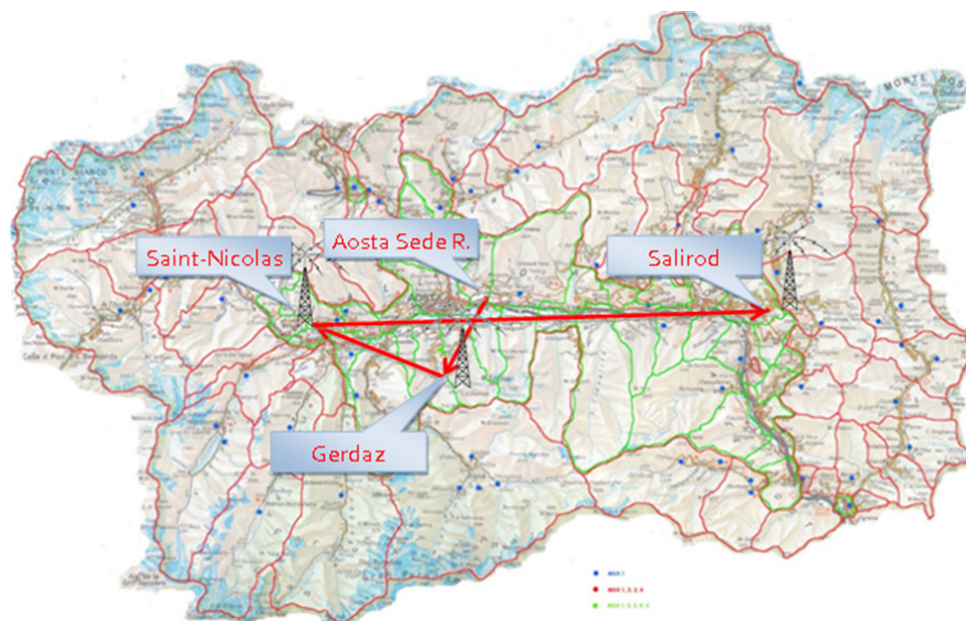


Fig. 10 - Distribuzione dei segnali in ponte radio

Il flusso dati complessivo T2+T2 Lite è pari a 31,5 Mb/s (vedere figura 9, 28,2 + 3,3) e il suo instradamento nella rete è garantito dal Centro Nazionale di Controllo (CNC) di Roma di Raiway.

In figura 10 è visibile lo schema di collegamento degli impianti.

6.3 IMPIANTI TRASMITTENTI

Gli impianti trasmettenti utilizzati durante questa sperimentazione sono ubicati presso Gerdaz (comune di Gressan), 14 km a sud di Aosta ad un'altitudine di 1370m, e Salirod (comune di Saint Vincent), 8 km a est del comune ad una quota di 1090m.

Il flusso T2-MI, giunto agli impianti trasmettenti di Gerdaz e Salirod mediante la rete di ponti radio digitali, è dato in ingresso al modulatore della Screen Service. In realtà, allo stato attuale, l'inserimento della componente T2 Lite all'interno dei FEF del segnale T2 Base è fatto utilizzando un secondo modulatore che agisce in modo perfettamente sincrono al primo. In sostanza i due modulatori generano i segnali T2 e T2 Lite con tecnica "a divisione di tempo" (TDM, Time Domain Multiplexing) utilizzando, per la sincronizzazione le informazioni di servizio rela-

tive ai FEF ricevute tramite il flusso T2-MI. Il segnale RF uscente dal modulatore T2 Lite viene passato al modulatore T2 Base che genera il segnale che scaturisce dalla somma T2+T2 Lite. A questo punto il segnale complessivo è pronto per essere inviato all'amplificatore di potenza che genererà il segnale da mandare in antenna.

Lo schema di principio dei due trasmettitori è illustrato in figura 11.

Per garantire la sincronizzazione della rete SFN anche i modulatori, al pari del T2 Gateway, utilizzano i riferimenti di tempo 1pps e di frequenza 10 MHz ottenuti dal GPS.

Il canale utilizzato durante la sperimentazione è il 53 UHF con larghezza di banda 8 MHz in polarizzazione orizzontale. I parametri dei due trasmettitori sono i seguenti:

TX 1: Gerdaz

$P_{out} = 40W$
 $ERP_{real} = -8,3dBk$
 $Pol = H$

TX 2: Salirod

$P_{out} = 100W$
 $ERP_{real} = -2dBk$
 $Pol = H$

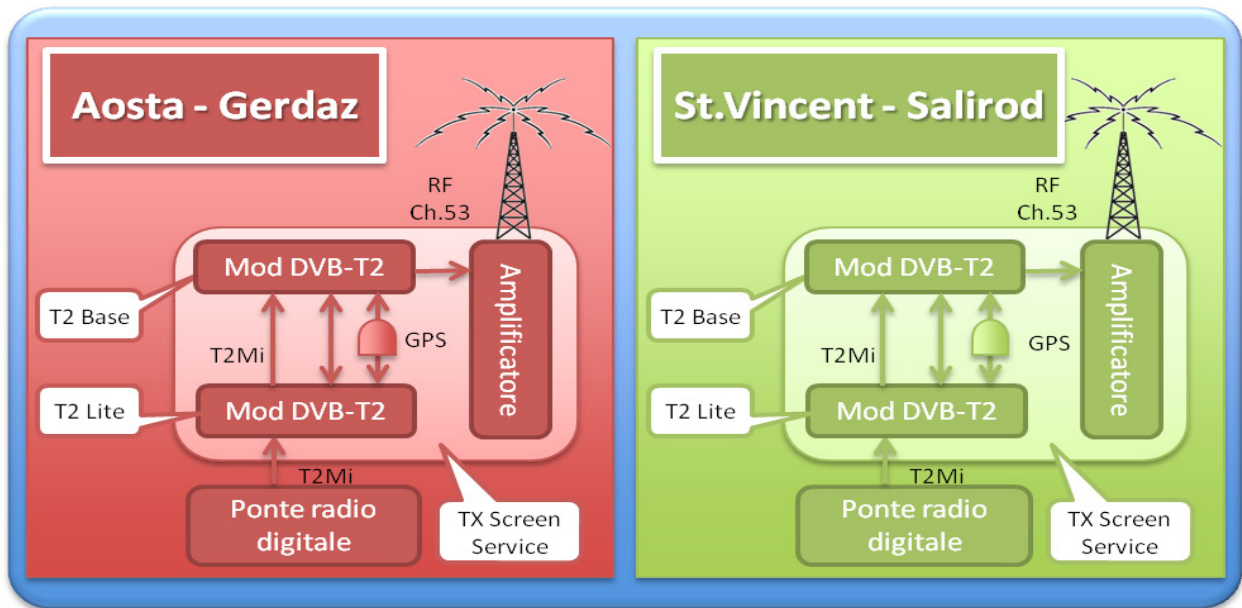


Fig. 11 - Set-up dei trasmettitori

Il sistema radiante utilizzato nell’impianto di Gerdaz è in condivisione con gli attuali MUX del servizio regolare DVB-T, mentre per l’impianto di Salirod è stato necessario progettare e installare un nuovo sistema radiante adatto allo scopo.

Le simulazioni relative alle coperture previste dai due trasmettitori ci hanno permesso di individuare l’area di sovrapposizione dei segnali che si

attesta all’incirca fra Aosta centro e Nus. Per evitare interferenza intersimbolica abbiamo inserito sul trasmettitore di Gerdaz un ritardo statico di 72 μ s. In questo modo l’area di potenziale interferenza viene spostata in zone dove i due segnali non sono mai sovrapposti. Nelle zone “a rischio” invece siamo all’interno dell’intervallo di guardia prescelto che, come visto, è pari a 28 μ s. La cartina riportata in figura 12 aiuta a chiarire il risultato ottenuto.

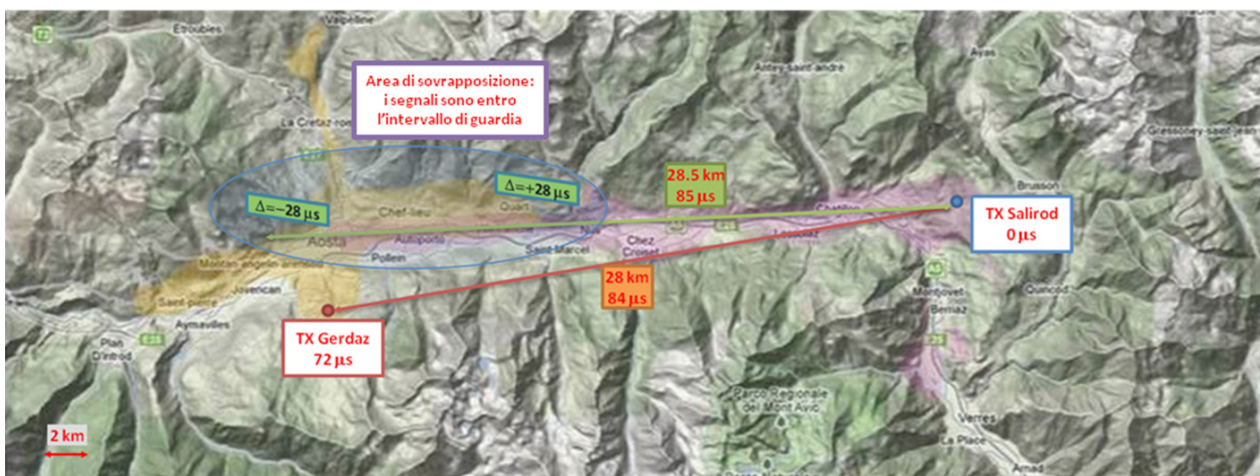


Fig. 12 - Set-up della rete

6.4 ALLESTIMENTO DEI MEZZI DI MISURA

Le prove in area di servizio sono state effettuate mediante due mezzi appositamente attrezzati: un'automobile per le misure in movimento e un furgone dotato di palo telescopico per le misure in punti fissi.

Lo scopo delle misure mobili era quello di valutare l'area di copertura e di rilevare la mappa dei livelli di campo all'altezza del tetto dell'automobile, in modo da avere i dati necessari per una futura pianificazione delle reti. Il set-up dell'automobile prevedeva di conseguenza la seguente attrezzatura:

- Sistema di ricezione: è costituito da un'antenna UHF omnidirezionale larga banda in polarizzazione orizzontale (modello usato normalmente sui camper) avente un guadagno di 2,5 dBi sul Canale 53. Il segnale ricevuto viene filtrato mediante un filtro di canale sintonizzato sul canale UHF 53 e amplificato con un amplificatore a basso rumore Mini-Circuits ZHL-1010-75 in modo da compensare le perdite dovute al successivo partitore, inserito in modo da inviare il segnale verso la scheda di ricezione T2 Lite e verso il misuratore di campo.
- Ricevitore DVB-T2 Base e Lite: riceve l'ingresso RF proveniente dall'antenna e fornisce l'uscita Transport Stream. Mediante USB e grazie al software di controllo permette di effettuare l'acquisizione dei parametri di ricezione da cui abbiamo potuto desumere la disponibilità del servizio in movimento.
- Decoder AVC, distributore video e display: l'uscita Transport Stream proveniente dal ricevitore T2 Lite viene decodificata mediante il decoder Tandberg RX1290 che fornisce in uscita il segnale video composito e l'audio. Il video è stato inviato, mediante un distributore, ad un display integrato nella plancia della vettura e ad uno posizionato sotto la capotta per i passeggeri seduti posteriormente. L'audio invece è stato inserito nell'impianto stereo dell'automobile.

- Misura campo di precisione Rohde&Schwarz ESVB: permette di misurare il livello della potenza d'ingresso. Mediante le caratteristiche dell'antenna si risale al campo ricevuto.
- GPS e odometro: permettono di registrare la posizione e la velocità del veicolo in ogni istante.
- Convertitore TS ASI-IP e wireless router: il TS proveniente dal ricevitore T2 Lite è stato anche inviato, previa conversione in un flusso multicast IP, ad un wireless router per la ritrasmissione all'interno del veicolo. Questo segnale è ricevuto mediante un Ipad dotato di un opportuno player multicast.

Il sistema di acquisizione dei parametri di campo, posizione e velocità è gestito da un software appositamente sviluppato in ambiente Labview. Questo software, controlla un ricevitore Rohde&Schwarz ESVB, un GPS prodotto da Garmin ed un'interfaccia della National Instruments che legge gli impulsi odometrici della vettura. L'assenza di questi impulsi, impedisce che più letture vengano acquisite quando questa è ferma.

Una visione d'insieme del mezzo mobile è riportato in figura 13.

Lo scopo delle misure fisse era quello di rilevare, in alcune posizioni dell'area di servizio, il livello del campo disponibile, in modo da verificare la con-



Fig. 13 - Allestimento del mezzo usato per le misure

cordanza con le previsioni ottenute mediante le simulazioni al computer. Questo permette di capire se la trasmissione avviene nel modo previsto oppure se ci sono dei problemi sull'impianto radiante o sugli apparati stessi. Queste misure hanno anche permesso di valutare il margine di ricezione sul segnale T2 Base. Oltre a ciò, con il mezzo attrezzato per le misure fisse, abbiamo potuto verificare la sincronizzazione della rete SFN, verificandone i parametri in maniera molto accurata.



Fig. 14 - Il mezzo per le misure fisse

Per effettuare queste prove il furgone (figura 14), dotato di palo estensibile fino a 15 m agl, è stato attrezzato con:

- Sistema di ricezione: è costituito da un'antenna Log- Periodica Rohde&Schwarz HL223 in polarizzazione orizzontale montata sul palo estensibile avente un guadagno di 6.2 dBi sul canale 53. Il cavo di discesa, lungo 20 m, ha un'attenuazione ben nota (9 dB) in modo da poterne tenere conto in fase di elaborazione dei dati.
- Ricevitore professionale T2-T2 Lite Rohde&Schwarz ETL: permette di valutare e memorizzare la potenza in ingresso, il MER, la costellazione, il margine alla soglia e la risposta all'impulso. Permette inoltre di visualizzare il video sia della parte T2 che di quella T2 Lite.
- Ricevitore DVB-T2 Humax: ci ha permesso di visionare i programmi ricevuti e di valutare, mediante attenuazione, il margine di servizio.

6.5 MISURE MOBILI IN AREA DI SERVIZIO

Nella prima fase della campagna di misure mobili abbiamo verificato la copertura T2 Lite dei singoli trasmettitori con tre diversi valori di FEC: 1/3, 1/2 e 2/3. Per ognuno di essi abbiamo percorso oltre 400km rilevando la disponibilità del servizio grazie alle informazioni relative ai parametri di ricezione registrate mediante il software di controllo della scheda T2 Lite. Con questi dati, rilevati una volta al secondo circa, messi in relazione con la posizione del mezzo, monitorata e registrata dal GPS, abbiamo ottenuto delle mappe molto dettagliate.

Le prove hanno confermato le ottime prestazioni del sistema T2 Lite che erano state ottenute in laboratorio. Le differenze riscontrate nella disponibilità di servizio al cambiare del FEC sono piuttosto limitate fra 1/3 e 1/2 e lievemente più accentuate con FEC 2/3.

Il trasmettitore di Gerdaz offre una copertura che si estende fra Nus e Arviere nella vallata principale e fino a Valpelline e quasi fino all'abitato di Entroubles nelle vallate a nord di Aosta. Risulta coperta anche la parte a sud del trasmettitore fino all'abitato di Pila. Il trasmettitore di Salirod copre la vallata principale fra Arnad e Aosta centro, la Valtournanche fino ad Antey Saint André e alcune zone intorno a Saint Barthélemy.

Nel complesso abbiamo riscontrato un'ottima copertura su tutti i tipi di strada (autostrada, strade principali e secondarie); le aree urbane di Aosta, Saint Vincent e Chatillon, anche nelle zone ad alta densità abitativa, hanno dato risultati eccellenti, con assenza assoluta di sganci del ricevitore, anche in alcune gallerie. In autostrada, fino alla velocità massima consentita di 130 km/h, non abbiamo riscontrato alcun problema. A questo proposito abbiamo anche effettuato un test cambiando il profilo di portante da PP4 a PP7 e in questo caso, viaggiando a velocità superiori a 70-80 km/h in direzione radiale rispetto

al trasmettitore, il ricevitore sganciava. Questo conferma pienamente i risultati ottenuti in laboratorio su canale mobile. Confortati da questo riscontro si può ragionevolmente ipotizzare che con la modalità T2 Lite prescelta il sistema dovrebbe reggere fino a velocità intorno ai 250 km/h, aprendo così interes-

santi prospettive di utilizzo sui treni ad alta velocità.

Nelle figure 15 e 16 sono riportate, a titolo di esempio, le coperture dei trasmettitori di Gerdaz e Salirod rispettivamente con FEC 1/2.

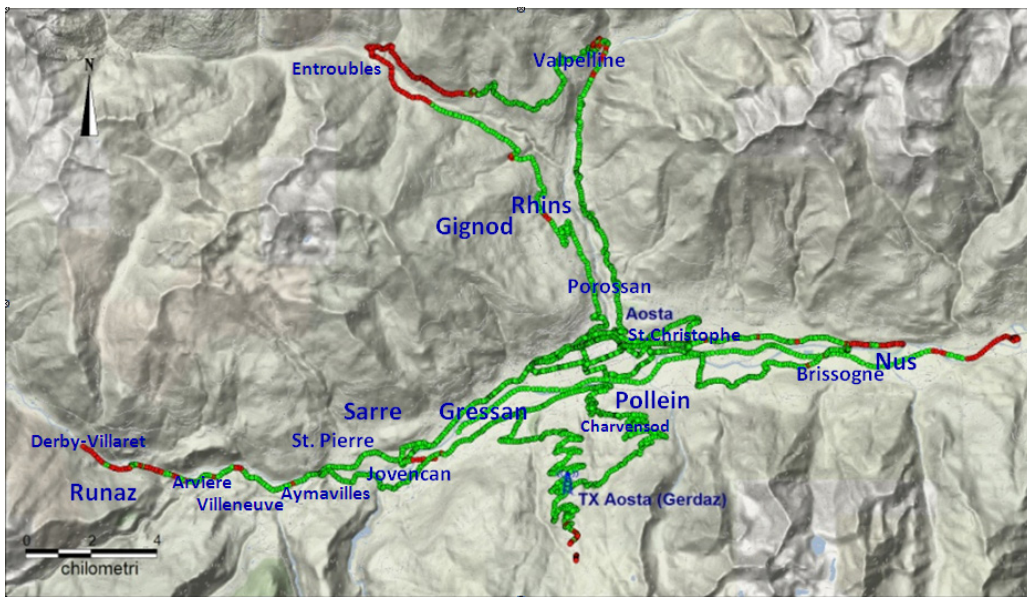


Fig. 15 - Disponibilità di servizio T2-Lite. TX Gerdaz, FEC 1/2

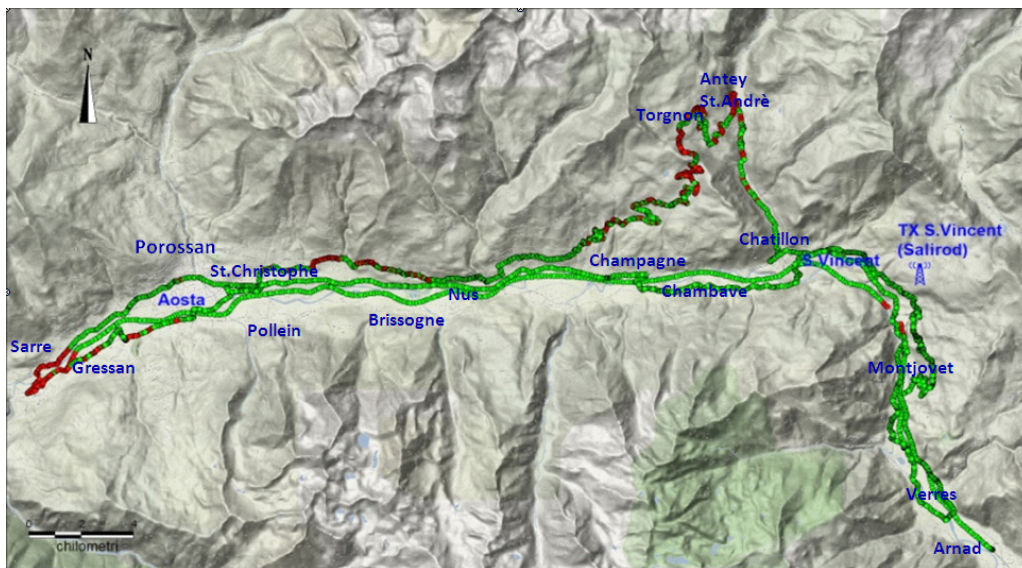


Fig. 16 - Disponibilità di servizio T2-Lite. TX Salirod, FEC 1/2

Mediante il misura campo ESVB, è stata rilevata la potenza d'ingresso del ricevitore da cui, mediante le caratteristiche dell'antenna, si è ricavato il campo disponibile. Anche in questo caso i dati sono stati acquisiti e associati alla posizione e alla velocità del mezzo ottenuti mediante il GPS e l'odometro. In fase di elaborazione dei dati si è calcolato il campo elettromagnetico al 95% su segmenti misurati di 300m: si tratta del valore di campo oltre il quale, nel tratto considerato, cadono il 95% dei dati raccolti. Tali valori sono stati mappati sulla carta geografica con colori che richiamano la ricevibilità del segnale, ottenendo così un'indicazione fra il valore di campo elettromagnetico e la disponibilità del servizio. Questa informazione diventa cruciale in fase di pianificazione delle rete, in cui, sapendo la copertura che si desidera ottenere si può progettare e dimensionare opportunamente il sistema trasmittente e radiante.

Terminate le prove dei singoli trasmettitori si è passati ai test con la rete a singola frequenza. Dopo un necessario periodo di verifica del corretto funzionamento della rete (si veda il capitolo relativo alle misure fisse) siamo passati alla valutazione della disponibilità di servizio mobile. Viste le differenze

minime di copertura ottenute con FEC 1/3 e 1/2 abbiamo deciso di utilizzare per questa fase solo quest'ultimo FEC, ritenendolo un ottimo compromesso fra robustezza e capacità trasmissiva. Sono stati ripercorsi gli stessi itinerari utilizzati nelle prove precedenti ottenendo così una mappa della disponibilità del servizio dell'intera rete (figura 17).

Il risultato complessivo è di una disponibilità del servizio del 99%. La copertura è perfetta lungo l'autostrada A5, la statale SS26 e nelle strade secondarie, anche in vallate laterali. In Aosta e nei principali centri urbani il segnale è perfettamente ricevibile ovunque (comprese alcune gallerie). Nella zona di Saint Barthelemy (cerchiata in rosso in figura 17) i segnali provenienti dai due trasmettitori sono oltre l'intervallo di guardia e quindi si interferiscono. Infatti, confrontando la figura 16 (trasmettitore Salirod) con la figura 17 (SFN) si nota un netto peggioramento. Si tratta comunque di una zona che non rientrava nell'area di servizio ma che rappresenta comunque un buon punto di test per future prove di ricezione modificando opportunamente l'intervallo di guardia. Anche per la rete SFN, elaborando la misura della potenza in ingresso al ricevitore e

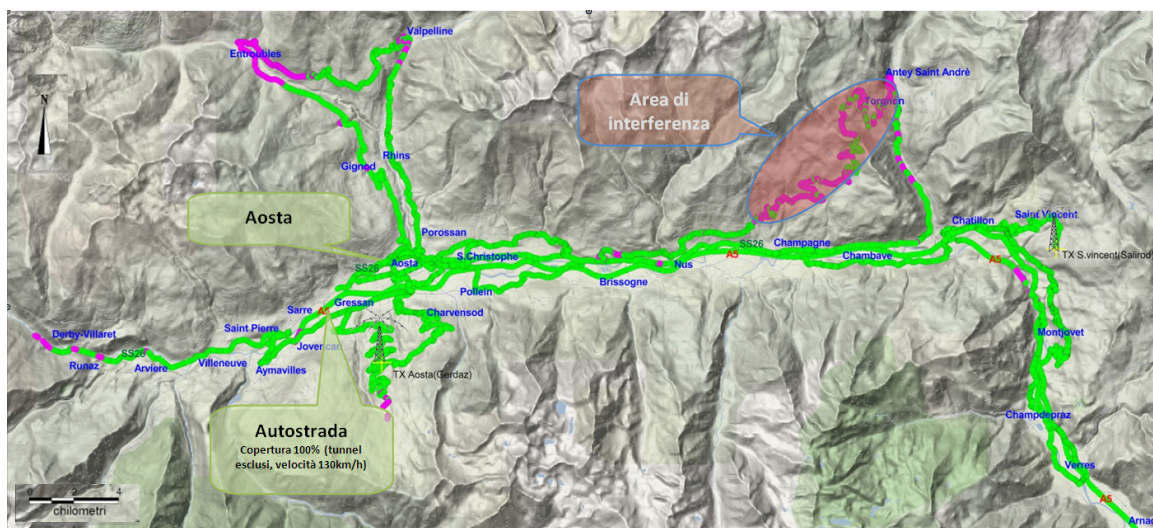


Fig. 17 - Disponibilità di servizio T2-Lite. SFN, FEC 1/2

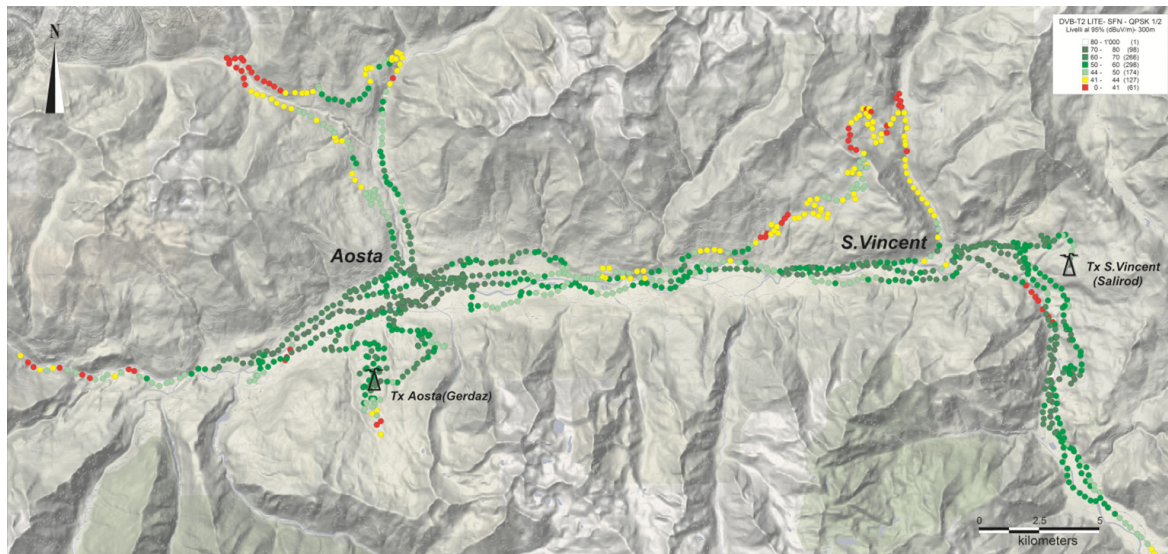


Fig. 18 - Copertura potenziale T2-Lite. SFN

combinandola con i dati del GPS, si è calcolato il campo elettromagnetico al 95% su segmenti misurati di 300m. La mappa della copertura potenziale è riportata in figura 18.

Durante le prove in movimento, il wireless router installato a bordo dell'automobile ritrasmetteva in multicast il flusso Transport Stream generato dal ricevitore T2 Lite nell'abitacolo. Questo segnale è stato ricevuto con successo mediante un Ipad dotato del player multicast Goodplayer.

6.6 MISURE FISSE IN AREA DI SERVIZIO

Le misure fisse, eseguite con il furgone attrezzato precedentemente descritto, hanno permesso di rilevare il livello del campo disponibile all'interno dell'area di servizio. Questo dato ha consentito la verifica del funzionamento degli impianti trasmit-

tenti sulla base delle previsioni di campo ottenute in simulazione, la valutazione del margine di ricezione della parte T2 Base e di controllare la sincronizzazione della rete a singola frequenza.

Analogamente a quanto fatto con le misure mobili, nella prima fase si è proceduto attivando un trasmettitore alla volta.

Nei punti di misura prescelti, usando la tecnica della stratificazione, si è rilevato il campo elettromagnetico a diverse quote in modo da trovare il valore di massimo. Inoltre, in tutti i punti, sono stati misurati e registrati i parametri di ricezione: MER, costellazione, risposta all'impulso, ecc. in modo da avere precise indicazioni riguardo al segnale ricevuto e alle eventuali anomalie presenti.

I principali dati rilevati sono riassunti in figura 19.

Tx Gerdaz (45°42'07.18" - 7°18'33.64")				
Punto di misura	Coordinate	CEM [dBµV/m]	MER [dB]	Margine [dB]
Saint Christophe rotonda	45°44'21,29" 7°21'14,57"	90,5	32,6	40
Aosta cimitero	45°43'50,57" 7°17'34,10"	91,6	32,5	37
Quart cimitero	45°44'32,98" 7°23'13,35"	83,5	31,2	29
Quart stazione Ff. SS.	45°44'28,39" 7°24'51,53"	55,8	NA	NA
Saint Pierre Hotel Chateau	45°42'32,94" 7°13'37,50"	85,3	31,0	31
Jovenan parcheggio scuola	45°42'53,15" 7°16'29,67"	89,2	32,9	35
Roisan-Rhins peso pubblica	45°47'28,86" 7°18'23,24"	18,0	31,4	27
Porossan-La Chapelle parcheggio	45°45'17,05" 7°19'35,29"	85,6	31,2	31

Tx Salirod (45°44'37.60" - 7°40'40.76")				
Punto di misura	Coordinate	CEM [dBµV/m]	MER [dB]	Margine [dB]
Saint Christophe rotonda	45°44'21,29" 7°21'14,57"	73,1	27,9	18
Brissogne Palafent	45°44'13,7" 7°24'59,6"	77,0	29,7	20
Nus campo sportivo	45°44'29,22" 7°28'30,66"	75,0	30,9	20
Chambave cimitero	45°44'36,44" 7°32'56,18"	79,7	32,3	25
Chatillon Perolles area camper	45°44'56,51" 7°37'25,17"	85,0	30,0	30
Montjovet Bivio per Oley Meran	45°42'24,84" 7°40'05,05"	87,5	NA	32
Champdepraz Piazza Foy	45°41'08,49" 7°39'49,52"	87,0	NA	32

Fig. 19 - Misure fisse in area di servizio. Trasmettitori accesi singolarmente

I valori di campo misurati rispecchiano molto fedelmente le simulazioni al computer, indice questo di un corretto funzionamento degli impianti trasmettenti. Come si può osservare, in area di servizio i valori del campo elettromagnetico sono molto elevati e permettono un margine di ricezione molto ampio.

Terminata la prima fase, i due impianti sono stati accesi contemporaneamente. Per prima cosa si è verificata la sincronizzazione della rete mediante la risposta all'impulso rilevata in alcuni punti del territorio. Mediante un software sviluppato dai colleghi di Rai Way, conoscendo le coordinate del punto di misura e gli eventuali ritardi statici presenti sui trasmettitori, è possibile ottenere il valore del ritardo relativo fra i due segnali. Il confronto fra

quanto previsto e il valore ottenuto mediante la risposta all'impulso ha permesso di validare la rete. In seguito, per ognuno dei punti di misura, sono stati rilevati e registrati per mezzo dello strumento di misura ETL della Rohde&Schwarz, lo spettro del segnale, la risposta all'impulso, una visione d'insieme, complessiva dei parametri di ricezione (MER, schema di modulazione, C/N, potenza ecc.) e la costellazione, sia della parte T2 Base sia di quella T2 Lite, ruotando l'antenna del mezzo ricevente in più posizioni. In questo modo i punti di misura prescelti danno un'indicazione delle eventuali criticità di ricezione presenti sul territorio.

Un esempio dei dati raccolti in questa fase della campagna di misure è riportato in figura 20.

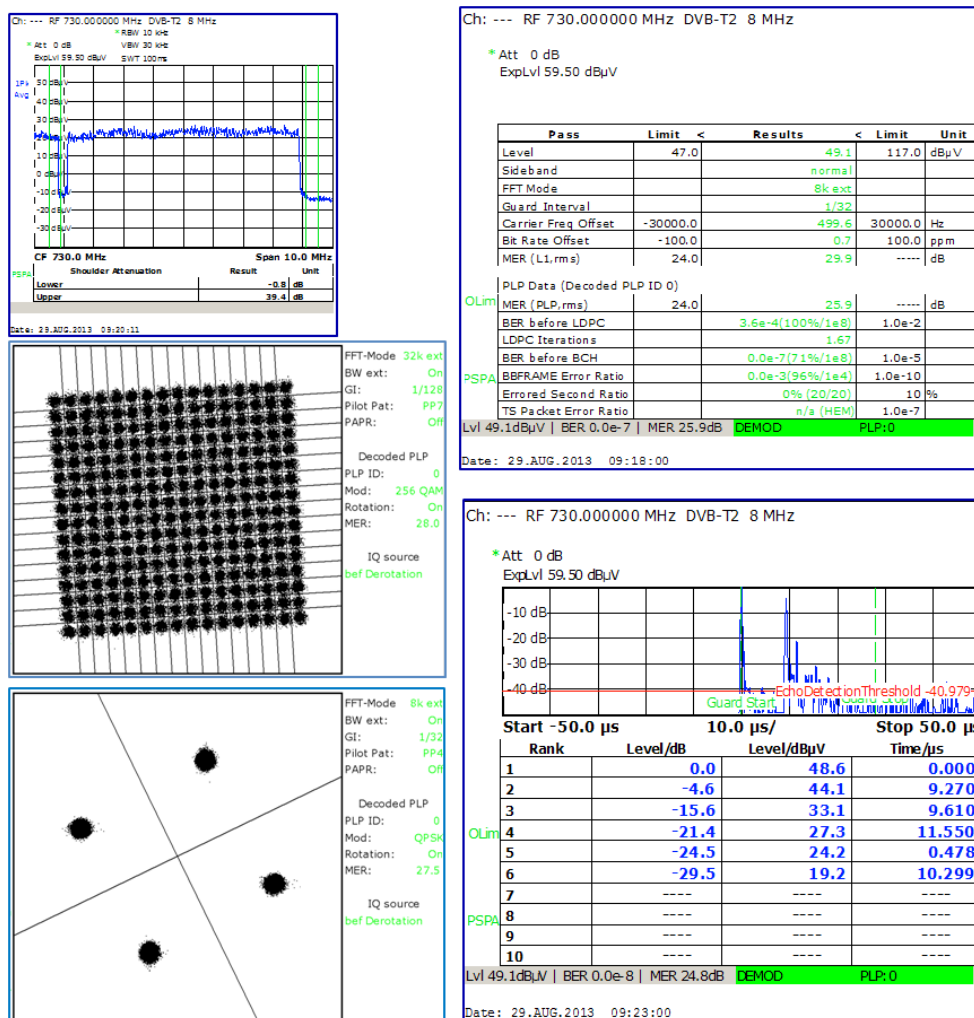


Fig. 20 - Esempi di misure fisse in rete SFN

6.7 CONCLUSIONI

Grazie alla sperimentazione T2-T2 Lite in Valle d'Aosta, condotta da Rai Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica con il supporto e la collaborazione di Rai Way, sul canale 53 UHF in polarizzazione orizzontale dagli impianti di Gerdaz e Salirod, è stato costruito un dimostratore funzionante e di grande impatto, per la TV mobile.

Il DVB-T2 Lite ha dimostrato sia durante i test in laboratorio sia, soprattutto, su campo una robustezza enorme: la capacità di "reggere" nelle condizioni di ricezione più severe è davvero impressionante!

Più in generale possiamo dire che gli obiettivi che c'eravamo posti in fase di pianificazione della sperimentazione sono stati ampiamente raggiunti e questi mesi di lavoro, impegnati in progettazione, allestimento della rete, misure su campo ed elaborazione e analisi dei risultati hanno rappresentato per noi un'eccezionale palestra di esperienze che non mancheranno di avere importanti ricadute sulle nostre attività future.

In particolare abbiamo potuto allestire l'Head-End per la realizzazione di una rete mista T2-T2 Lite utilizzando i FEF e attivare una rete a singola frequenza costituita da due impianti affrontando i relativi problemi di sincronizzazione.

Le prove su campo, che hanno comportato la percorrenza di circa 3000 km sulle strade della Valle d'Aosta e l'utilizzo del mezzo per le misure fisse in decine di test-point, hanno permesso di verificare l'accuratezza dei software di simulazione che forniscono ritardo e campo, la validità, come strumento di previsione delle prestazioni del sistema, delle misure di laboratorio in condizione di ricezione mobile e di toccare con mano la grande robustezza del T2 Lite in area di servizio in una regione caratterizzata da un territorio complesso, dove spesso barriere naturali e artificiali ostacolavano la vista dei trasmettitori. Le medesime considerazioni valgono anche per le prove cui è stato sottoposto il sistema T2 Lite nelle zone urbane densamente abitate (Aosta, Saint Vincent), nelle numerose gallerie che

costellano i percorsi e nelle condizioni di Doppler particolarmente severe che s'incontrano sull'autostrada incastonata fra imponenti declivi montuosi percorsa a velocità superiori ai 100 km/h in presenza di echi naturali e "artificiali" (SFN).

La sperimentazione, inoltre, ci lascia un'enorme quantità di dati concernenti i valori di campo ottenibili a livello del tetto dell'automobile correlati alla ricevibilità del segnale: questo rappresenterà uno strumento formidabile per la futura pianificazione delle reti per ottenere la copertura mobile desiderata.

Infine, un risultato inatteso ma che crediamo sia da sottolineare, è che il nostro test-bed è stato (e sarà) utilizzato da diversi costruttori (Altobeam, Sony JP e Daimler) per effettuare delle prove sui loro ricevitori T2 e T2 Lite.

6.8 ...E NON FINISCE QUI: SVILUPPI FUTURI

Finita questa fase della sperimentazione, ci siamo posti come obiettivo l'estensione e il miglioramento della rete allo scopo di arrivare ad avere quello che si potrebbe definire un servizio pre-operativo. Per giungere a questo risultato pensiamo siano necessari i seguenti passi:

- Sviluppo dell'Head-End. Per quanto riguarda la parte T2 Base trasmetteremo tre servizi "live" in alta definizione. Per questo motivo pensiamo di allestire una catena di codifica costituita da tre encoder AVC (e in futuro, quando disponibili, HEVC) che operano in Multiplex statistico. Sulla parte T2 Lite porteremo tre programmi codificati con AVC a basso bit rate grazie ad un nuovo software che Dektec sta sviluppando ad-hoc per quest'applicazione. L'Head-End risultante è riportato in figura 21 (i programmi indicati rappresentano un esempio e non una scelta definitiva).
- Estensione della copertura. La parte bassa della Valle d'Aosta (verso Pont Saint Martin) e quella alta (Courmayeur) non sono attualmente coperti dalla sperimentazione. Per ottenere una

copertura ottimale di tutto il fondo valle, da Quincinetto fino al confine di Stato, con importanti estensioni nelle vallate laterali è sufficiente attivare altri due trasmettitori, Tete d'Arpy e Col Courtil, con potenze simili a quelle impiegate presso Gerdaz (50 W). Si veda figura 22.

- Aumento della complessità della rete a singola frequenza. Per "stressare" maggiormente la rete abbiamo pensato di inserire un ulteriore trasmettitore nella zona di Aosta. Blavy, già

utilizzato a questo scopo in altre circostanze, è il sito adatto per quest'operazione.

- Test con ricevitori commerciali e con panel di utenti. Alcuni costruttori, come Altobeam e Sony, hanno oramai a disposizione degli apparati T2-T2 Lite pronti a essere commercializzati. E' quindi interessante testare questi prodotti e vedere l'effetto che essi hanno su degli utenti "veri".

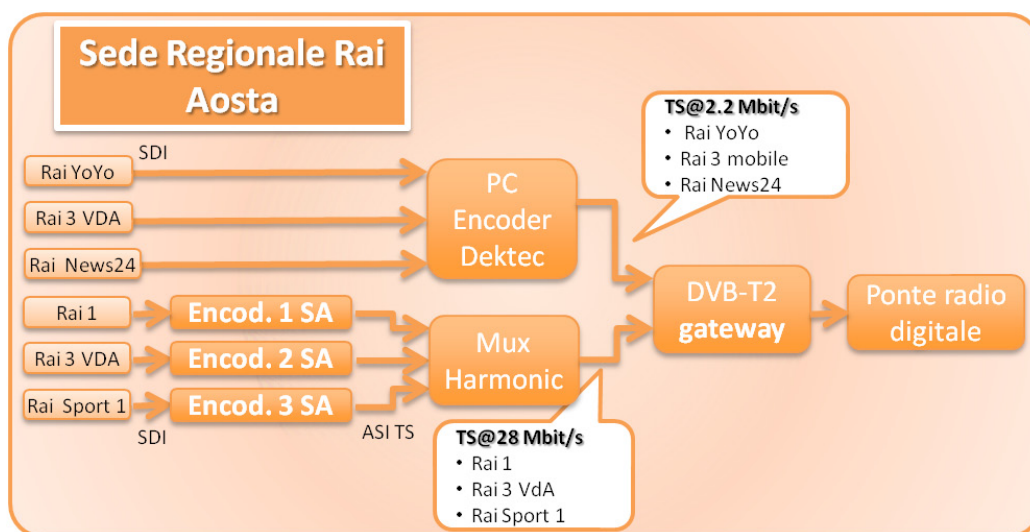


Fig. 21 - Evoluzione dell'Head-End

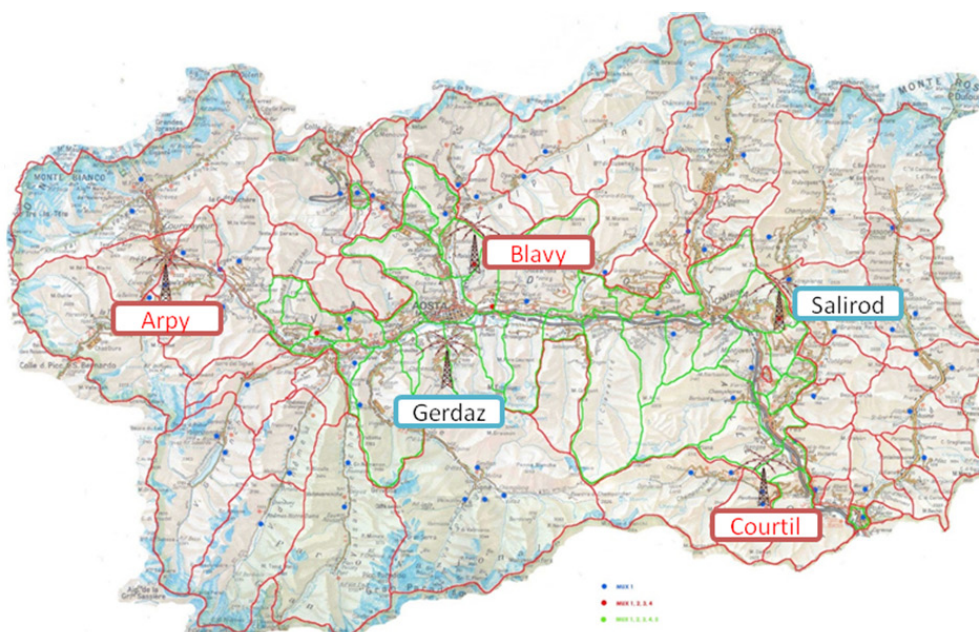


Fig. 22 - Estensione della copertura

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare i colleghi del Centro Ricerche Bruno Sacco, Vittoria Mignone, Giovanni Bongiovanni, Gianpaolo Placidi, Enrico Cavallini e Alberto Ciprian per il supporto fornito in fase di pianificazione e di svolgimento della sperimentazione e durante l'elaborazione dei dati.

Esprimiamo inoltre la nostra gratitudine ai colleghi Rai Way della sede Rai di Aosta Corrado Gigliotti, Michelino Gigliotti, Paolo Merlet, Pietro Del Fino, Diego Verthuy, Erik Jorrioz, Enrico Lachin, Stefano Grigoletto, Andrea Marquet e Andrea Mazzola che in tutti questi mesi di prove su campo, con grande dedizione e professionalità, ci hanno seguito fornendoci un aiuto non solo logistico ma anche di pianificazione e sono spesso intervenuti nelle situazioni di "emergenza" che una sperimentazione inevitabilmente comporta.

Ringraziamo "Oscar" Hu Zhong e *Giordano Godizzi* di Screen Service per la costante assistenza che ci hanno fornito nella gestione dei trasmettitori e per l'abilità che hanno dimostrato nel saper gestire e risolvere le problematiche concernenti macchine prototipali ancora in fase di sperimentazione.

BIBLIOGRAFIA

- [1] http://it.wikipedia.org/wiki/Televisione_mobile
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_television
- [3] ETSI EN 302 304 V1.1.1 (2004-11), [Digital Video Broadcasting \(DVB\); Transmission System for Handheld Terminals \(DVB-H\)](#)
- [4] A. Bertella, P. Casagrande, D. Milanese, M. Tabone, [Il sistema DVB-H per la TV mobile](#), in "Elettronica e Telecomunicazioni", Anno LIV, Numero 3, Dicembre 2005, pp 23-42
- [5] MB, NS, [HDTV e TV Mobile, scintille di passione a Torino](#), in "Elettronica e Telecomunicazioni", Anno LV, Numero 1, Aprile 2006, pp 5-20
- [6] A. Morello, G. Alberico, M. Stroppiana, *Rai HDTV and DVB-H Trials during the Turin Winter Olympics*, IBC 2006 Conference, Amsterdam, September 2006
- [7] ETSI EN 302 755 V1.3.1 (2012-04), [Digital Video Broadcasting \(DVB\); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system \(DVB-T2\)](#)
- [8] V. Mignone, A. Morello, G. Russo, P. Talone, [DVB-T2, la nuova piattaforma di diffusione della TV digitale terrestre](#), in "Elettronica e Telecomunicazioni", Anno LVII, Numero 3, Dicembre 2008, pp 14-44
- [9] A. Bertella, V. Mignone, B. Sacco, M. Tabone, [Il digitale terrestre di seconda generazione](#), in "Elettronica e Telecomunicazioni", Anno LVIII, Numero 2, Agosto 2009, pp 33-40
- [10] V. Mignone, *T2-Lite: il nuovo profilo "leggero" del DVB-T2 per la TV mobile*, in *Elettronica e Telecomunicazioni*, questo stesso numero, pp 7-11
- [11] AA.VV., [Articoli vari](#), in "Elettronica e Telecomunicazioni", Anno XLV, Numeri 2 e 3, 1996
- [12] A. Bertella, S. Berto, S. Mina, M. Tabone, *DVB-T: test sul collegamento in ponte radio analogico St. Vincent-Gerdaz*, Relazione Tecnica Rai-CRIT N° 99/13, Marzo 1999
- [13] P. B. Forni, S. Ripamonti, V. Sardella, [Sperimentazione pre-operativa DVB-T in area di servizio](#), in "Elettronica e Telecomunicazioni", Anno LI, Numero 1, Aprile 2002, pp 49-62
- [14] ETSITS 102 773 V1.3.1 (2012-01), [Digital Video Broadcasting \(DVB\); Modulator Interface \(T2-MI\) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system \(DVB-T2\)](#)