L'accordo di cooperazione tra Rai Way e Aeranti-Corallo

La sperimentazione
DAB+ e DMB
a Venezia e a Bologna

Rai Way

AERANTI-CORALLO
le imprese radiotelevisive locali, satellitari e via internet

L'accordo di cooperazione tra Rai Way e Aeranti-Corallo

La sperimentazione
DAB+ e DMB
a Venezia e a Bologna

Indice

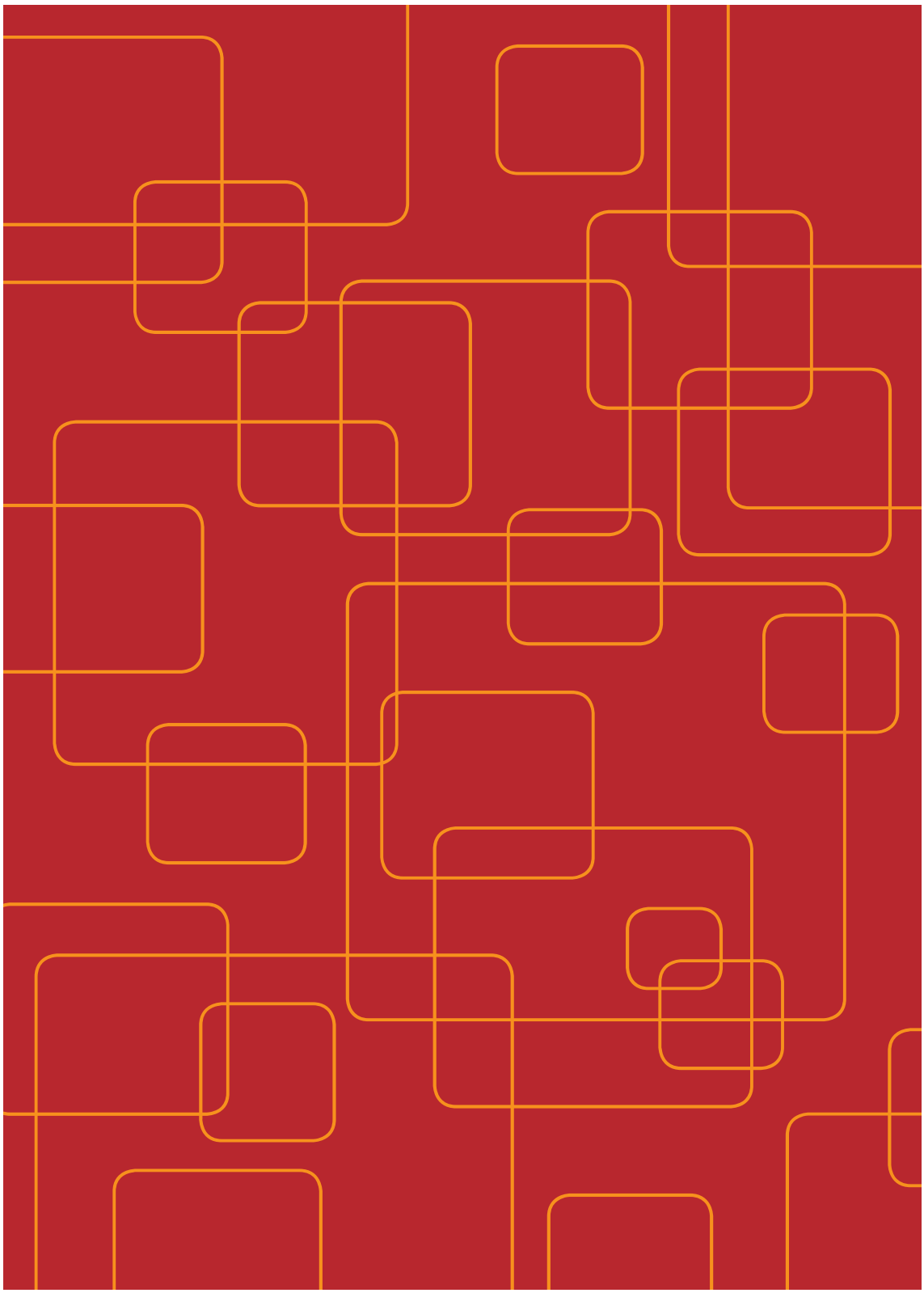
Presentazione 5

1 L'accordo di cooperazione tra Aeranti-Corallo e Rai Way 11
1.1 L'accordo di cooperazione tra Aeranti-Corallo e Rai Way
1.2 La sperimentazione
1.3 Gli investimenti
1.4 Gli obiettivi della sperimentazione

2 La tecnologia sperimentata 17
2.1 Sistemi di codifica
2.2 Network di contribuzione/diffusione
2.3 Aree di servizio

3 I primi risultati della sperimentazione 37
3.1 Parametri di sperimentazione
3.2 Metodologia di misura
3.3 Primi risultati
3.4 Stima di valori di campo minimi per classi di ricezione
3.5 Impatto sulla pianificazione

Bibliografia 87



Presentazione

Presentazione

Alla pari di tutti gli altri sistemi di comunicazione elettronica, anche la radiodiffusione sonora è stata oggetto, negli ultimi quindici anni, di un processo di evoluzione tecnologica incentrato sulla conversione della filiera produttiva radiofonica (dalla cattura del suono alla elaborazione dell'informazione e quindi alla diffusione) dal mondo dei segnali analogici a quello dei segnali numerici, o "digitali".

Questa trasformazione è avvenuta gradualmente, dapprima con la conversione dei supporti musicali (dal vinile al compact disc) e con la possibilità di elaborare in modo informatico i segnali (produzione, postproduzione, archiviazioni interamente numeriche), quindi con la trasformazione in digitale degli impianti di diffusione, adottando standard di codifica e multiplazione in grado di superare le limitazioni della modulazione analogica (in ampiezza o frequenza) tipicamente impiegate nelle trasmissioni in Onda Media e in Modulazione di Frequenza.

In Europa lo standard utilizzato per molti anni è stato il DAB, Digital Audio Broadcasting, le cui prime specifiche sono state descritte nel 1987 nell'ambito del progetto Eureka 147, conclusosi nel 1999 e migrato nell'attuale WorldDAB Forum[1]. L'implementazione delle trasmissioni è stata demandata alle varie organizzazioni nazionali sulla base di piani di sviluppo del servizio fortemente differenziati tra loro, in buona parte influenzati dalle problematiche di coesistenza con i servizi televisivi analogici, dalle limitazioni imposte dalla pianificazione frequenziale internazionale e dagli alti costi iniziali dei terminali riceventi.

Al di là comunque delle difficoltà intrinseche nel processo di affermazione di una nuova tecnologia diffusiva, occorre osservare che lo standard in questione, pur risultando estremamente efficace in termini di resistenza del segnale alle interferenze e di altissimo livello qualitativo dal punto di vista della codifica dell'informazione, non ha messo in condizione il complesso sistema radiofonico italiano di supportarne in pieno l'adozione, a causa delle innegabili limitazioni in termini di efficienza spettrale (numero di segnali radiofonici allocabili all'interno delle scarse risorse frequenziali disponibili).

In pratica, un'ottima soluzione per un sistema "technology driven", ma pessima per un sistema "market driven" come quello italiano, in cui occorre garantire pari opportunità di transizione ad un insieme di oltre 1.000 emittenti radiofoniche pubbliche e private, nazionali e locali, che operano su bacini territoriali fortemente articolati e con capacità economica assai differenziata.

Negli ultimi tre anni hanno però visto la luce due nuovi standard, entrambi evoluzione dell'Eureka 147, rappresentati dal DMB e dal DAB+[2], che hanno fatto propri gli enormi sviluppi nel campo della codifica effettuati in campo televisivo, in particolare in ambito MPEG, permettendone l'adozione anche in radiofonia.

In base a tali standard è ora possibile, a parità di banda, sia allocare più servizi sia arricchire il contenuto multimediale trasmesso.

È quindi immaginabile, anche per il sistema radiofonico italiano, l'adozione di questi nuovi standard, anche attraverso un percorso normativo chiaro ed al passo con i tempi, che sia in grado di sfruttare al meglio le nuove tecnologie.

Per facilitare questo percorso, corroborando lo studio normativo con l'evidenza dei risultati pratici, Aeranti-Corallo e Rai Way hanno iniziato una intensa attività di collaborazione avviando una sperimentazione congiunta in due città italiane, Venezia e Bologna, allo scopo di testare la bontà dei nuovi standard, la loro capacità di permettere un uso efficiente dello spettro radioelettrico con alta qualità di ascolto sia outdoor che indoor, le opportunità offerte dall'associazione di contenuti multimediali alla programmazione radiofonica attraverso le declinazioni DMB-Visual Radio e DAB+ con dati associati, oltre alla possibilità di veicolare informazioni dedicate alla creazione di una "Guida elettronica dei programmi radiofonici" e all'infomobilità.

I risultati dell'attività sperimentale condotta da Aeranti-Corallo e da Rai Way verranno utilizzati per formulare proposte per la regolamentazione delle trasmissioni radiofoniche digitali a regime, il cui avvio dovrà avvenire esclusivamente sulla base di una preventiva regolamentazione da parte della Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni, che permetta a tutti i soggetti attualmente operanti in analogico di avviare il digitale a parità di condizioni. In particolare, tale regolamentazione dovrà far sì che tutti gli attuali operatori analogici (Rai, 1.000 radio locali e 15 radio nazionali private) possano avviare le trasmissioni in tecnica digitale terrestre nello stesso modo.

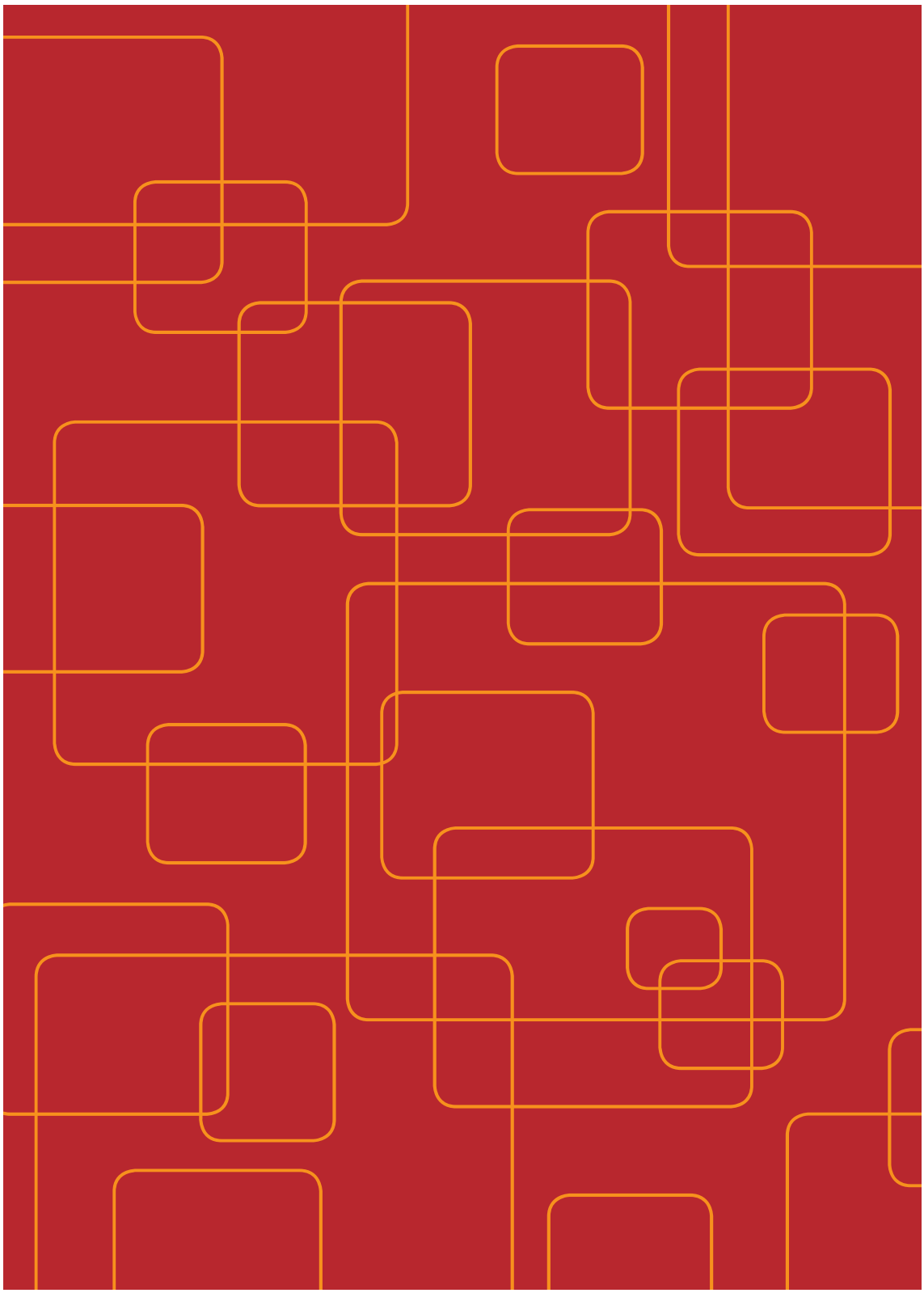
Per far questo è evidente che non è sufficiente il solo canale 12 VHF (che, con la progressiva digitalizzazione delle trasmissioni televisive verrà riservato in via esclusiva alle trasmissioni radiofoniche digitali), ma sarà necessario reperire nuove risorse (il canale 13 VHF nonché un ulteriore canale della banda VHF-III). Solo in tal modo, infatti, le risorse radioelettriche disponibili saranno sufficienti per tutti gli attuali operatori analogici.

Marco Rossignoli
(Aeranti-Corallo)

Stefano Ciccotti
(Rai Way)

1 Per approfondimenti si suggerisce l'articolo di Franc Kozamernik, apparso sulla Technology Review dell'EBU nel 2004, e scaricabile da http://www.ebu.ch/en/technical/trev/trev_297-kozamernik.pdf

2 Per approfondimenti si suggerisce l'articolo di Frank Hermann et al., apparso sulla Technology Review dell'EBU nel 2007, e scaricabile da http://www.ebu.ch/en/technical/trev/trev_311-dab_dmb.pdf



L'accordo di cooperazione tra Aeranti-Corallo e Rai Way

1

1.1 L'accordo di cooperazione tra Aeranti-Corallo e Rai Way

1.2 La sperimentazione

1.3 Gli investimenti

1.4 Gli obiettivi della sperimentazione

1.1 L'accordo di cooperazione tra Aeranti-Corallo e Rai Way

La collaborazione tra Aeranti-Corallo e Rai Way, finalizzata alla realizzazione di un progetto comune di transizione alla radiofonia digitale terrestre, prende il via con la sottoscrizione di uno specifico accordo di cooperazione, in data 31 luglio 2007.

Tale accordo prevede, tra l'altro, la costituzione di un tavolo di confronto avente i seguenti obiettivi:

a. proposizione di un quadro regolamentare che permetta a tutti gli attuali operatori radiofonici analogici, pubblici e privati, locali e nazionali, di avviare le trasmissioni digitali, a parità di condizioni, in termini di tipologie di frequenze utilizzabili e di capacità trasmissiva spettante pro-capite;
b. approfondimento e sperimentazione degli standard DAB+ e DMB;
c. adozione di modelli operativi realizzabili con investimenti compatibili con le dimensioni imprenditoriali della emittenza radiofonica locale.

In questo contesto, Aeranti-Corallo e Rai Way hanno avviato, congiuntamente, una sperimentazione radiofonica digitale terrestre DAB+ e DMB Visual Radio nelle aree di Venezia e di Bologna.

1.2 La sperimentazione

In particolare, il 28 maggio 2008 è stato avviato il multiplex denominato "AERANTICORALLO1", che viene diffuso sul blocco B del canale 12 VHF, con protezione di tipo "Equal 3A", dall'impianto Rai Way di Venezia, località Campalto.

Tale multiplex diffonde i programmi di 17 emittenti radiofoniche locali (15 a carattere commerciale e 2 a carattere comunitario) aventi impianti di radiodiffusione sonora operanti, via etere terrestre, in tecnica analogica, nella Regione Veneto.

Nella tabella seguente riportiamo, nel dettaglio, la composizione del multiplex "AERANTICORALLO1".

n.	Logo display	Nome emittente	TIPO
1	4 YOU	4 You	DAB +
2	BELLLA E MONELLA	Radio Bellla e Monella	DAB +
3	BIRIKINARADIO BK	Radio Birikina	DAB +
4	COMPANY	Radio Company	DAB +
5	LATTEMIELE	Radio Lattemiele	DAB +
6	NOVANTA	Radio 90	DAB +
7	OTTANTA	Radio 80	DAB +
8	PITERPAN	Radio Piterpan	DAB +
9	RADIO ADIGE	Radio Adige	DAB +
10	RADIO CHIOGGIA	Baby Radio	DAB +
11	RADIO KOLBE SAT	Radio Kolbe	DAB +
12	RADIO OREB	Radio Oreb	DAB +
13	RADIO PICO	Radio Pico	DMB VR
14	RADIO PUNTO ZERO	Radio Punto Zero	DAB +
15	RADIO VERONA	Radio Verona	DAB +
16	RADIO VICENZA	Radio Vicenza	DAB +
17	VALBELLUNA	Radio Valbelluna	DAB +

Il 10 luglio 2008 è stato, inoltre, attivato il multiplex "AERANTICORALLO2", che viene diffuso sul blocco C del canale 12 VHF, con protezione di tipo "Equal 4A" dall'impianto Rai Way di Bologna, località Colle Barbiano.

Tale multiplex diffonde i programmi di 19 emittenti radiofoniche locali (17 a carattere commerciale e 2 a carattere comunitario) aventi impianti di radiodiffusione operanti, via etere terrestre, in tecnica analogica nella Regione Emilia Romagna.

Nella tabella seguente riportiamo, nel dettaglio, la composizione del multiplex "AERANTICORALLO2".

n.	Logo display	Nome emittente	CODIFICA
1	CITTA' DEL CAPO	Città del Capo Radio Metropolitana	DMB VR
2	LATTEMIELE	Lattemiele	DAB +
3	LOVE FM	Love FM	DAB +
4	R. STUDIO DELTA	Radio Studio Delta	DMB VR
5	RADIO BRUNO	Radio Bruno	DMB VR
6	RADIO BUDRIO	Radio Budrio	DAB +
7	RADIO ICARO	Radio Icaro	DAB +
8	RADIO LINEA	Radio Linea	DAB +
9	RADIO MARGHERITA	Radio Arcobaleno	DAB +
10	RADIO NETTUNO	Radio Nettuno	DMB VR
11	RADIO PICO	Radio Pico	DMB VR
12	RADIO SANLUCHINO	Radio Sanluchino	DAB +
13	RADIO STELLA	Radio Stella	DAB +
14	RETE ALFA	Rete Alfa	DAB +
15	RVS BOLOGNA	Rvs Bologna	DAB +
16	STUDIOPIU'	Radio Studio Più	DAB +
17	TAM TAM NETWORK	Tam Tam Network	DAB +
18	TRC	International 2 TRC	DAB +
19	VERONICAHITRADIO	Veronica Hitradio	DAB +

1.3 Gli investimenti

Le sperimentazioni in corso a Venezia e a Bologna hanno richiesto investimenti sia da parte delle imprese radiofoniche locali partecipanti, sia da parte di Rai Way.

In particolare, le imprese radiofoniche locali Aeranti-Corallo hanno effettuato investimenti per l'acquisto degli encoder della società francese VDL.

Tali encoder (30 per la codifica dello standard DAB+ e 5 per la codifica dello standard DMB VR) sono stati installati presso gli studi di trasmissione delle emittenti partecipanti alla sperimentazione.

Rai Way ha invece effettuato investimenti per l'acquisto dei multiplexer e dei trasmettitori e per il trasporto dei segnali dei vari studi al centro di multiplazione e di trasmissione.

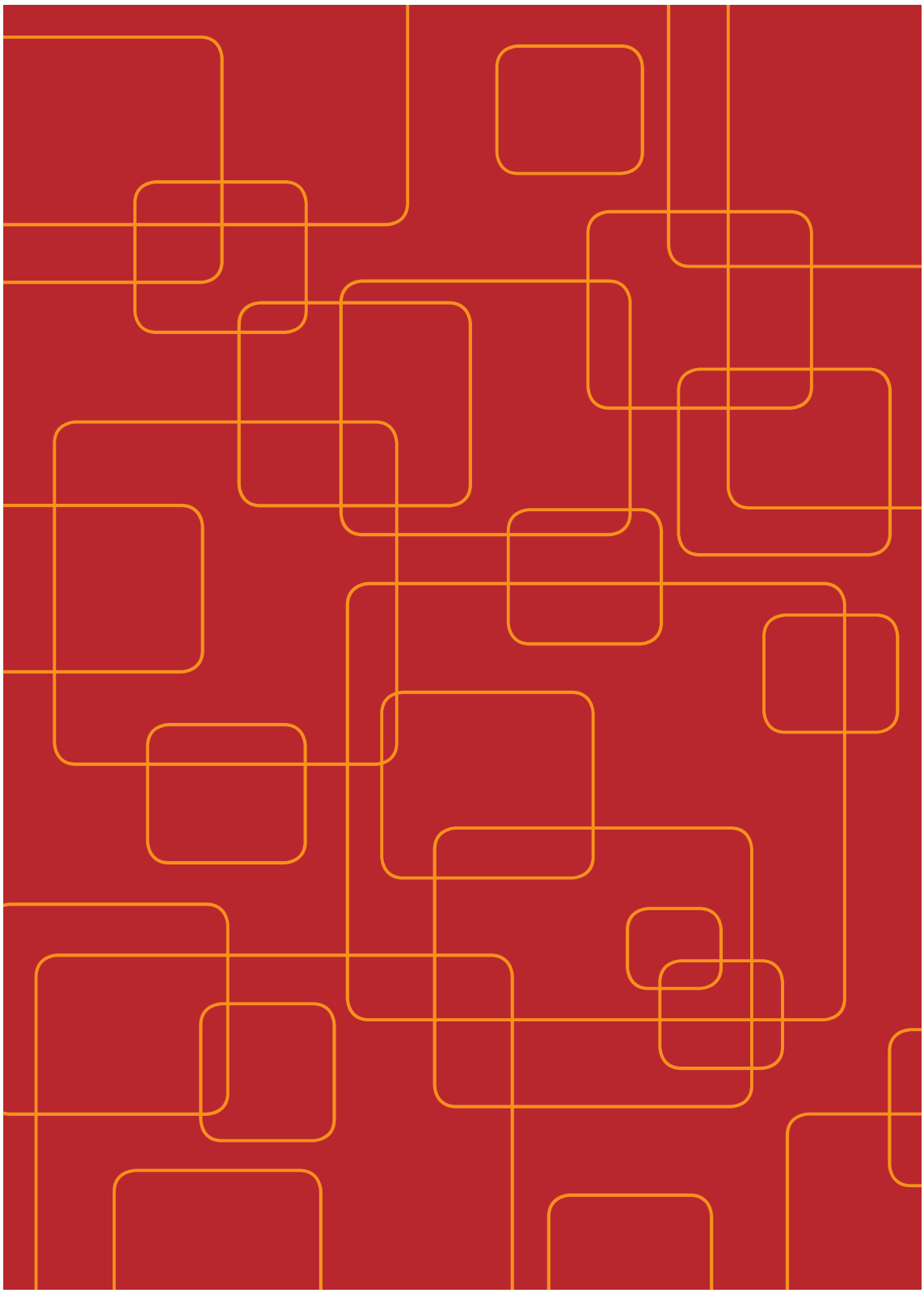
Dal 1° settembre 2009 il costo del trasporto dei segnali diventerà di competenza delle emittenti partecipanti alla sperimentazione.

1.4 Gli obiettivi della sperimentazione

Obiettivo della sperimentazione in corso a Venezia e a Bologna è quello di testare:

- il numero di programmi irradiabili;
- la qualità della ricezione;
- i servizi dati irradiabili;
- le modalità di trasferimento del segnale dai diversi studi di trasmissione delle emittenti, di realizzazione del multiplex, di coordinamento dell'attività delle emittenti;
- i ricevitori.

I risultati dell'attività sperimentale condotta da Aeranti-Corallo e da Rai Way verranno utilizzati per formulare proposte per la regolamentazione delle trasmissioni radiofoniche digitali a regime.



La tecnologia sperimentata

2

2.1 Sistemi di codifica
2.2 Network di contribuzione/diffusione
2.3 Aree di servizio

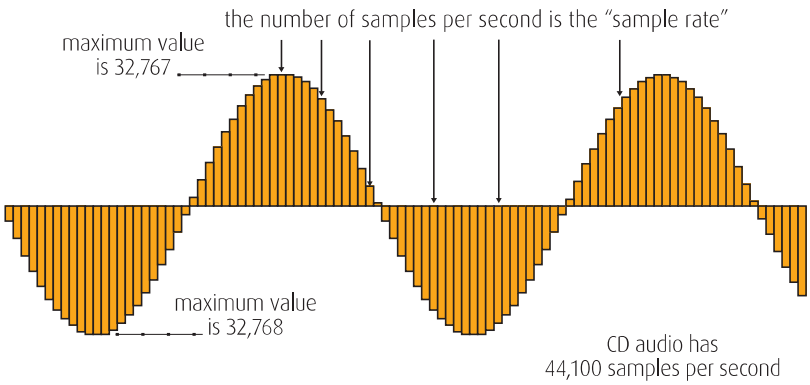
2.1 Sistemi di codifica

La diffusione digitale dei segnali radiofonici avviene attraverso tre passaggi classici delle trasmissioni digitali e più precisamente:

- Codifica di sorgente;
- Codifica di canale;
- Modulazione.

La codifica di sorgente è l'operazione attraverso cui il segnale audio analogico stereofonico viene dapprima convertito in una sequenza numerica (digitalizzazione) in modo analogo a quanto avviene nella fase di creazione dei CD audio. Il bitrate del segnale digitale così ottenuto è abbastanza elevato; infatti, supponendo un campionamento a 16 bit per ogni canale ed una frequenza di campionamento di 44,1 kHz, si ottiene il valore di circa 1.5 Mbit/sec. (vedi figura 1)

Figura 1
Digitalizzazione del segnale audio analogico



Quindi, per ridurre il bitrate del segnale a valori compresi tra i 64 Kbit/s e i 384 Kbit/s lo stesso viene compresso secondo tecniche di riduzione di ridondanza che conservano sostanzialmente la qualità soggettiva, e ne consentono la trasmissione agli utenti con una sensibile efficienza spettrale, molto superiore a quella ottenibile in analogico, e la possibilità di offrire servizi multimediali complementari al segnale audio (dati, immagini, video ecc.).

Nella prima versione dello standard DAB, la codifica di sorgente prevista per i segnali audio era lo standard ISO-MPEG Layer 2 audio compression algorithm MUSICAM (Masking Pattern Adapted Universal Subband Integrated Coding And Multiplexing) che consentiva di trasmettere fino a sei canali stereo con qualità CD.

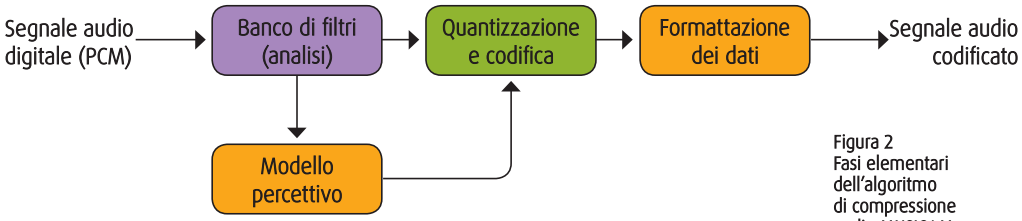


Figura 2
Fasi elementari dell'algoritmo di compressione audio MUSICAM

Questa tecnica di riduzione è basata sulle fasi elementari riportate in figura 2 di cui la più importante è il modello percettivo che tiene in conto delle proprietà psicoacustiche dell'orecchio umano descritte nella figura 3: segnali di livello elevato a una o più frequenze dello spettro udibile mascherano le componenti più deboli presenti a frequenze, che possono quindi venire ignorate, riducendo l'informazione trasmessa senza una soggettiva riduzione della qualità di ascolto.

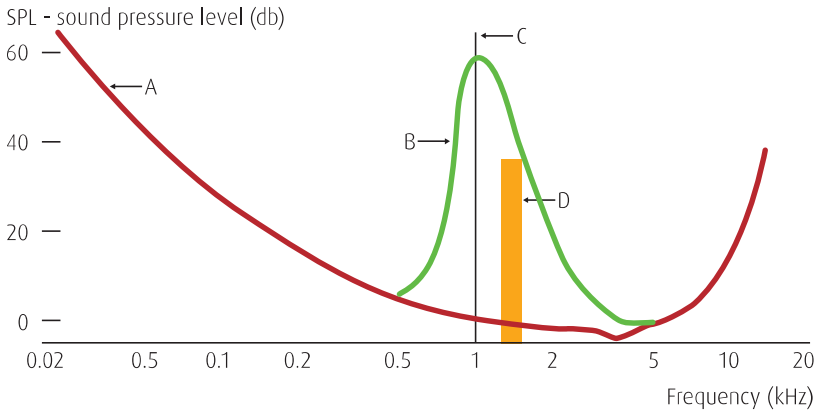


Figura 3
Proprietà psicoacustiche dell'orecchio umano

A Normal threshold of hearing
B Modified threshold due to tone C
D Band of noise rendered inaudible by the presence of tone C

Oltre al segnale audio, il DAB permette di trasferire sul display dell'apparecchio ricevente, con l'ausilio della funzione PAD-DLS (Programme Associated Data - Dynamic Label System), anche utili informazioni supplementari (es. titolo della canzone e interpreti) sotto forma di testo dinamico. Inoltre, il protocollo PAD-MOT (Programme Associated Data - Multimedia Object Transfer) rende perfino possibile la trasmissione di dati multimediali (es. immagini).
Un'altra opzione disponibile consiste nell'offerta di servizi dati indipendenti dai programmi radiofonici, i cosiddetti NPAD (Non Programme Associated Data).

La codifica di canale è il processo con il quale il segnale digitale, dopo la codifica di sorgente, viene ulteriormente elaborato (con un aumento del bitrate)

per proteggerlo dalle possibilità di errore introdotte dal canale di trasmissione impiegato.

L'elaborazione consiste nell'introdurre i cosiddetti codici a correzione di errore che consentono di ricostruire o ricalcolare gli eventuali pacchetti mancanti o difettosi dovuti ai problemi di propagazione quali, in particolare, riflessioni, interferenze, evanescenze (fading) di tipo aleatorio e, per le frequenze alte, le attenuazioni da pioggia. Tale protezione contro gli errori (denominata Protection Level) è identificata da un valore (solitamente 3 o 4); valori inferiori stanno a indicare un livello di protezione superiore.

La codifica di canale viene effettuata nell'apparato denominato multiplexer DAB, dove avviene anche l'ultima fase di elaborazione ovvero il flusso di dati numerici viene frazionato in piccole unità (frame) e intercalato nel tempo (multiplexing).

Una prima evoluzione della codifica sorgente del DAB è stato il sistema T-DMB (ETSI TS 102 428), che prevede:
- una codifica audio più efficiente;
- la possibilità del video;
- due livelli di protezione contro gli errori, invece di uno.

Il sistema T-DMB comprende i seguenti principali componenti (vedi figura 4):
- l'encoder video, che utilizza l'algoritmo di codifica MPEG-4/H264 AVC (Advanced Video Coding) il quale presenta, a circa 384 kbps, la stessa qualità di un Video-CD;
- l'encoder audio, che può utilizzare sia la codifica MPEG-4 BSAC (Bit Sliced Arithmetic Coding) che la High Efficiency AAC v2 profile (HE-AACplus v2).

Successivamente, i contenuti audio-video sono combinati utilizzando la specifica ISO/IEC 13818-1 MPEG-2 TS e protetti dagli errori mediante la "codifica Reed-Solomon" seguita dalla "codifica convoluzionale ed interleaver", che migliora le prestazioni del sistema nei confronti del BER.

Il DMB viene usato secondo tre varianti:
- DMB Video costituito da un video H264 e un audio AAC+;
- DMB Visual Radio costituito da un audio AAC+ e un video H264 con immagini rinfrescate ogni N secondi (codifica H264);
- DMB Radio costituito da un audio AAC+ e dati (T-PEG, BIFS ecc.).

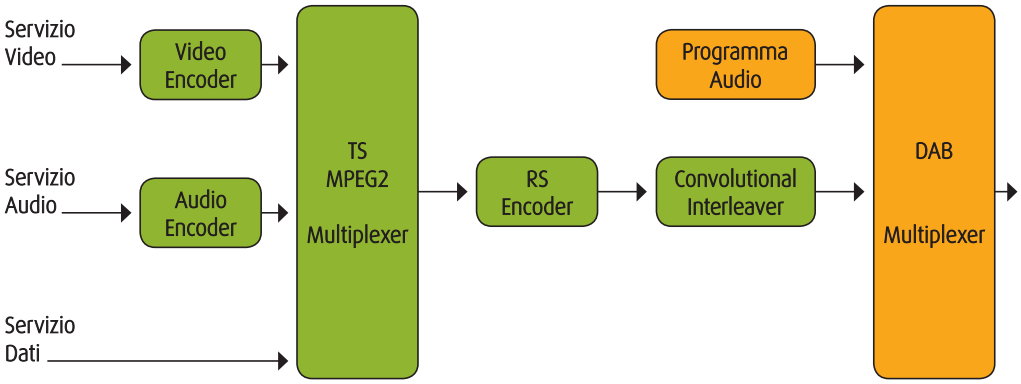


Figura 4
Schema logico-funzionale di un sistema DMB

L'ultima evoluzione della codifica sorgente del DAB è il cosiddetto DAB+ (ETSI TS 102 563) che prevede una codifica audio che utilizza la codifica MPEG-4 High Efficiency AAC v2 profile (AACplusv2).
L'elevata efficienza di questa evoluzione è dovuta sia all'utilizzo della codifica Advanced Audio Coding (AAC), sia alle due tecnologie denominate Spectral Band Replication (SBR) e Parametric Stereo (PS). La tecnologia SBR ottiene un'estensione della banda audio grazie alla proprietà delle componenti armoniche dei suoni mentre la tecnologia PS sfrutta la correlazione spaziale dei suoni stereofonici.

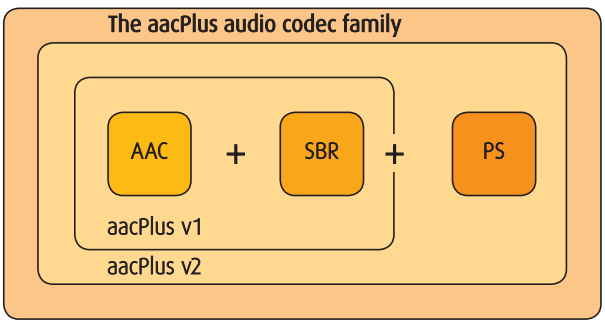
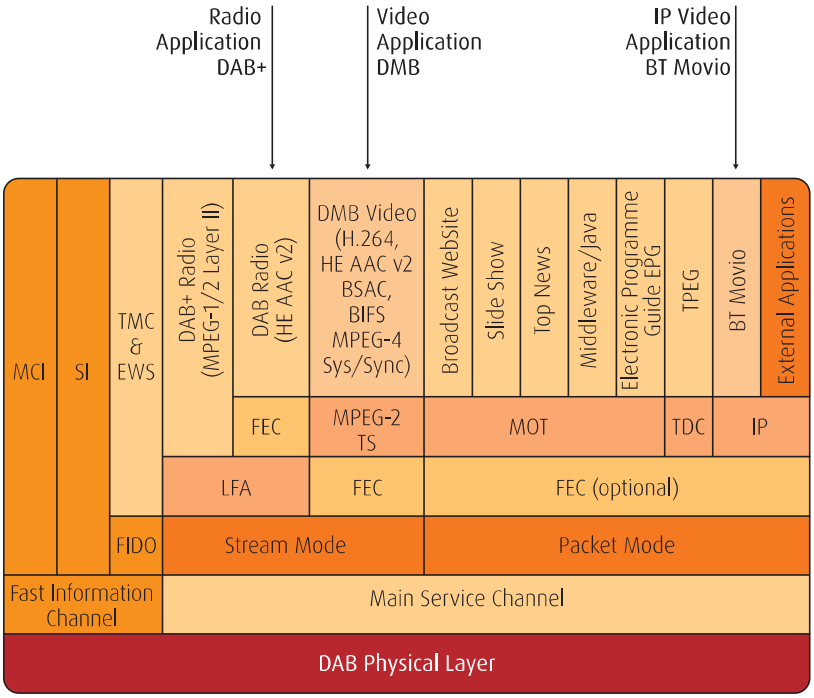


Figura 5
Le componenti principali della codifica DAB+

Infine, il DAB+ fa uso di un FEC ottimizzato per la radio digitale in termini di aumento del bitrate necessario per la correzione di errore (vedi figura 6).

Figura 6
Stack dei protocolli
del sistema DAB



La modulazione è quella parte della catena trasmissiva in cui il segnale, dopo le due precedenti elaborazioni, viene usato per modulare una portante a radiofrequenza, rendendone possibile la trasmissione agli utenti.
La complessità della modulazione viene scelta sulla base della specifica banda di frequenza adottata e delle relative caratteristiche di propagazione in funzione della copertura da ottenere.

Una modulazione particolarmente efficace per la diffusione radio-televisiva terrestre è la tecnica COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing), in cui il flusso digitale dei bit da trasmettere viene distribuito, nell'ambito dello spettro a disposizione, su un numero elevatissimo di frequenze portanti. Il risultato di tale tecnologia è una trasmissione estremamente robusta e con un uso molto più efficiente dello spettro ovvero con capacità di moltiplicare il numero di programmi trasmessi nelle classiche bande analogiche della radiofonia (vedi figura 7).

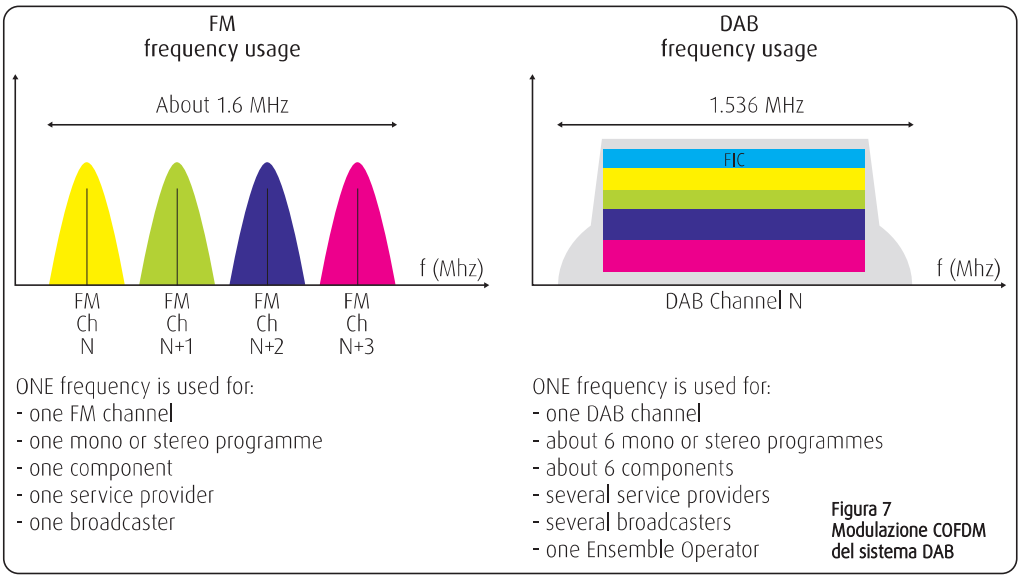


Figura 7
Modulazione COFDM del sistema DAB

Nella sperimentazione di Venezia, effettuata attraverso il multiplex "AERANTICORALLO1", e in quella di Bologna, effettuata attraverso il multiplex "AERANTICORALLO2", al fine di ottimizzare il numero delle emittenti e per ottenere la massima copertura, sono stati impiegati i seguenti parametri di codifica:

- 64 kb/s subcanale per emittenti DAB+;
- 80 kb/s netto per emittenti DMB VR (che corrisponde a un bitrate di subcanale di 128 kb/s).

I parametri per la protezione sono differenziati: a Venezia è stata utilizzata la protezione Equal 3A, mentre a Bologna, per consentire di inserire nel mux un maggior numero di emittenti, è stata utilizzata la protezione Equal 4A.

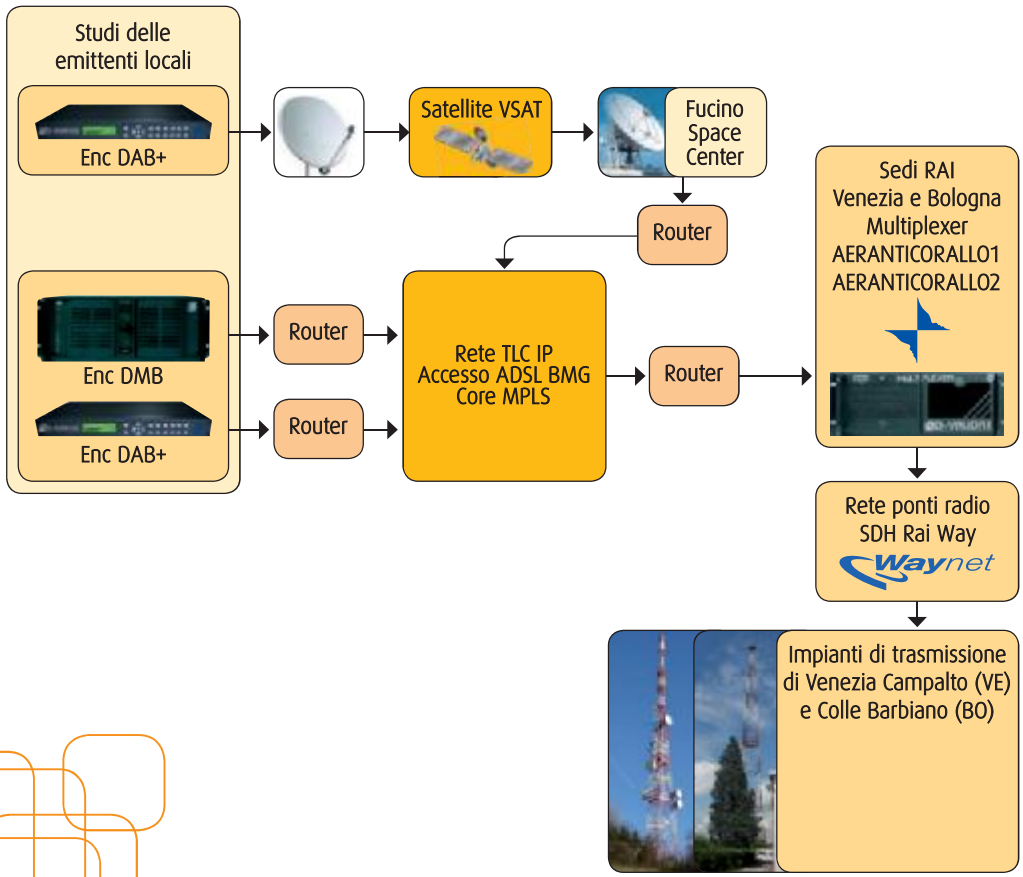
Figura 8
Su Venezia, la Stazione Rai Way di Venezia Campalto irradia il mux "AERANTICORALLO1"

Figura 9
Su Bologna, la stazione Rai Way di Colle Barbiano irradia il mux "AERANTICORALLO2"

2.2 Network di contribuzione/diffusione

La Rete di contribuzione realizzata per la sperimentazione di Venezia e Bologna utilizza tre diverse tecnologie ovvero la tecnologia IP/MPLS, la tecnologia SDH e la tecnologia VSAT. Infatti, il segnale codificato DAB + o Visual Radio relativo ad ogni emittente viene trasportato dapprima attraverso la rete VPN IP/MPLS HyperWay di Telecom Italia fino alla Sede Rai Way, dove l'apparato multiplexer provvede a confezionare un unico flusso 2 Mbit/s contenente tutti i programmi delle varie emittenti.
Successivamente, attraverso Waynet, la rete digitale di trasporto di Rai Way, il flusso 2 Mbit/s viene instradato al trasmettitore di zona che provvede alla sua diffusione fino all'utente.
Per le località non raggiunte dalla rete HyperWay di Telecom Italia, è stata impiegata in alternativa la soluzione VSAT di Telespazio denominata FullSAT.

Figura 10
Schema della rete di trasporto per le due sperimentazioni di Venezia e di Bologna



La rete HyperWay di Telecom Italia impiega la tecnologia MPLS, il cui maggior vantaggio, rispetto alle classiche reti IP, è dovuto al grado di sicurezza delle reti che è paragonabile a quello delle reti ATM, usufruendo nel contempo di tutta la flessibilità dell'IP.
L'idea alla base di tale tecnologia è quella di associare a tutti i pacchetti un breve identificativo di lunghezza fissa, detto Label, mediante il quale gli apparati di rete possono effettuare un instradamento veloce basato sulla commutazione di etichetta (label swapping).
Inoltre, l'instradamento mediante label consente di trasportare gli indirizzi IP privati attraverso una rete pubblica.
Vengono di seguito specificati alcuni dei vantaggi che il protocollo MPLS può fornire:

- segregazione e riservatezza del traffico di ciascuna VPN paragonabile a quella offerta dalle reti ATM;
- possibilità di realizzare su ogni singolo accesso una connettività any-to-any tra le sedi da connettere, con conseguente ottimizzazione della banda a disposizione;
- supporto del piano di indirizzamento IP privato della LAN del Cliente;
- intelligenza IP condivisa tra TIR (Terminazione Intelligente di Rete) e router di accesso;
- ampia scalabilità rispetto al numero di sedi per singola VPN;
- gestione della segnalazione IP (routing) tra le sedi demandata al router di accesso.

La rete VPN MPLS HyperWay, che Telecom Italia ha predisposto per la sperimentazione in Venezia e Bologna, prevede:

- per le Sedi delle radio locali Aeranti-Corallo che utilizzano la tecnologia DAB+: un accesso mediante linea ADSL 1,2M/512k con profilo "Small Office": BMG (Banda Minima Garantita sull'accesso) dimensionata a 128kKbps e, in caso di mancata copertura ADSL, un accesso HDLS 2M/2M "Flat Office 128kbps" (BMG pari a 128Kbps);
- per le Sedi delle radio locali Aeranti-Corallo che utilizzano la tecnologia DMB Visual Radio: un accesso mediante linea ADSL 1,2M/512k con profilo "Small Office Plus": BMG dimensionata a 256k Kbps e, in caso di mancata copertura ADSL, accesso HDLS 2M/2M "Flat Office 256kbps" (BMG pari a 256Kbps);
- per le Sedi Centro Stella di Rai Way di Venezia e di Bologna (ossia le sedi in cui sono installati i multiplexer a cui afferiscono tutti i contributi provenienti dalle singole emittenti): un accesso mediante linea SHDSL simmetrica 4Mbit/s su coppia di doppini con profilo "FlatOffice 4M": BMG impostata come somma delle BMG assegnate alle radio locali (no overbooking), fino ad un massimo di 3Mbps.

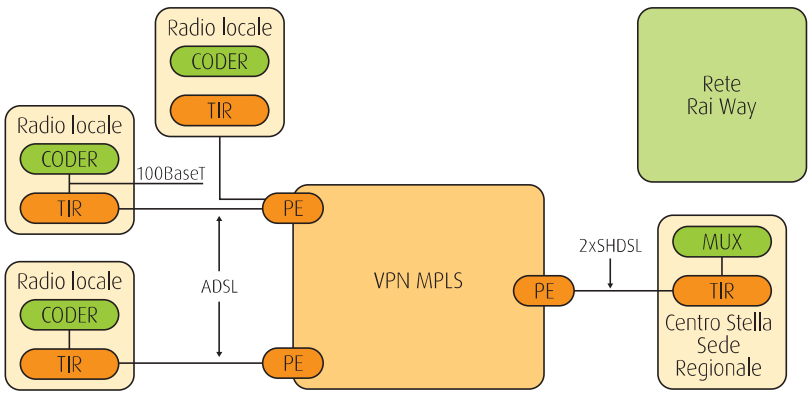
Come router di accesso vengono fornite delle "TIR".
Le TIR di accesso previste sono:

- per gli accessi ADSL: "TIR ADSL Medium";
- per gli accessi HDSL 2M/2M: "TIR HDSL";
- per gli accessi SHDSL: "TIR base 4M".

Le prestazioni del servizio di Rete MPLS HyperWay, indicate dai parametri riportati di seguito, si sono dimostrate adeguate per il trasporto di audio di qualità in tempo reale:

- Round Trip Delay (tempo impiegato da un pacchetto per andare dalla sorgente alla destinazione e ritorno; valor medio): ≤ 30 msec;
- Disponibilità (percentuale di tempo in cui le componenti di rete risultano funzionare correttamente rispetto al periodo di misura; valor medio): ≥ 99.98%;
- Jitter (misura della variazione di tempo del campionamento dei pacchetti in ricezione/trasmissione rispetto all'istante di tempo atteso di ricezione/trasmissione degli stessi; valor medio): ≤ 3 msec;
- Jitter (valore 99 percentile): ≤ 5 msec.

Figura 11
Schema della rete IP/MPLS utilizzata



La soluzione VSAT di Telespazio denominata FullSAT Europe è una nuova piattaforma per fornire servizi a larga banda bidirezionali con copertura europea.

FullSat Europe impiega la piattaforma Marco Polo in partnership con Hughes Network System e Intelsat.

Il profilo Satellite IP Corporate Services fornisce alle aziende, senza infrastrutture di telecomunicazioni terrestri, i servizi IP standard come:

- internet Browsing (HTTP);
- mailing (SMTP);
- file transfer (FTP);
- reti virtuali (VPN);
- voice over IP (VoIP).

Tale profilo prevede diverse classi di servizio con velocità in upstream (dal terminale verso l'Hub) compresa tra 64Kb/s e 1 Mb/s, mentre in downstream con velocità compresa tra 128 e 8Mb/s (dall'Hub al terminale).

La soluzione FullSAT di Telespazio è composta da tre elementi:

- terminali satellitari IPOS Hughes Netwok System Technology HN 7000 con parabola da 89/98cm, potenza di trasmissione RF di 1 o 2 Watts e router con porta Ethernet RJ45;
- satellite: Intelsat IS 901 @ 342E con footprint Spot 1, banda Ku e potenza di picco pari a 54.0 dBW;
- FullSAT Telespazio Space Center dove, oltre alla gestione del sistema, avviene il collegamento verso la dorsale Internet.

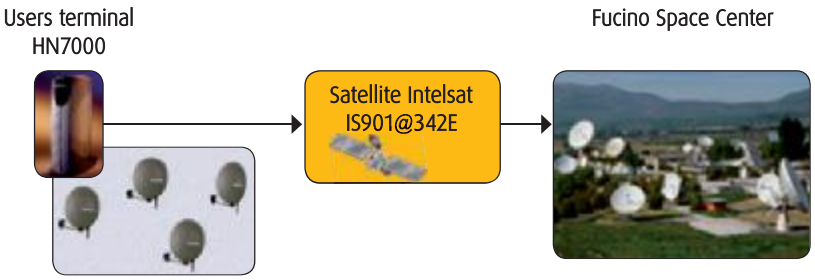


Figura 12
Schema della rete VSAT
di Telespazio

Le soluzioni di trasporto basate su IP/MPLS e VSAT hanno consentito di realizzare semplicemente e velocemente l'interconnessione delle varie emittenti che, come si vede nelle figure 13 e 14, sono distribuite su di una vasta area.

Figura 13
Dislocazione territoriale delle emittenti Aeranti-Corallo che hanno aderito alla sperimentazione a Venezia attraverso il multiplex "AERANTICORALLO1"

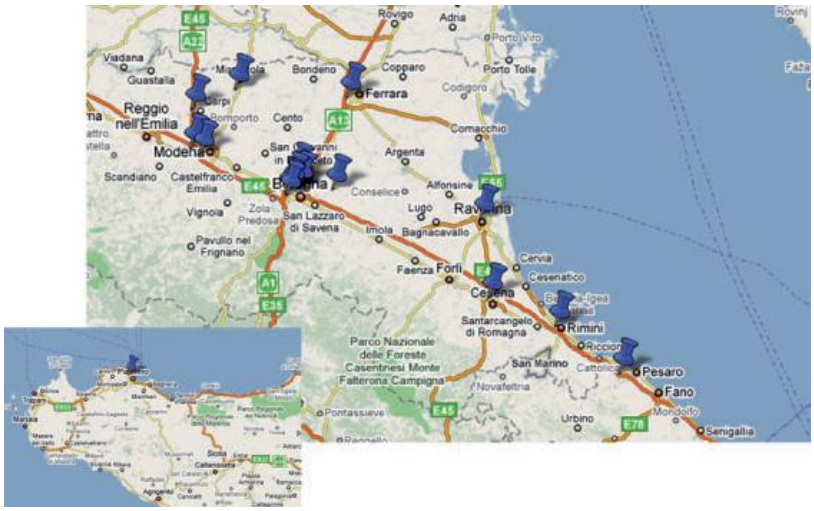


Figura 14
Dislocazione territoriale delle emittenti Aeranti-Corallo che hanno aderito alla sperimentazione a Bologna attraverso il multiplex "AERANTICORALLO2"

2.3 Aree di servizio

Aree di copertura

Tipologia delle aree di copertura
A partire dai risultati delle misure sperimentali, che saranno illustrate nel capitolo successivo, sono state simulate le aree di coperture degli impianti DAB/DMB di Venezia Campalto e di Bologna Colle Barbiano con due diverse tipologie di ricezione e con due diversi livelli di qualità[3]:

1. **Ricezione mobile** – qualità buona
2. **Ricezione nomadica indoor** – qualità accettabile

La probabilità di ricezione di un segnale digitale è fortemente influenzata dalle riflessioni causate dall'ambiente circostante. A riscontro di ciò la sperimentazione effettuata ha differenziato il valore di campo minimo necessario, per la ricevibilità o meno del segnale, a seconda che ci si trovi in un ambiente più o meno urbanizzato, distinguendo tre principali zone: sub-urbana, urbana, densamente urbana.

A tali zone, nella simulazione delle coperture, sono stati associati diversi valori di densità di popolazione:

1. zona sub-urbana: minore di 250 ab/kmq;
2. zona urbana: tra 250 e 750 ab/kmq;
3. zona densamente urbana: oltre i 750 ab/kmq.

Concetto di qualità
Nel campo dell'analogico si è soliti associare diversi livelli di qualità del segnale a seconda della qualità della sua visione/ascolto (da Q1: qualità pessima, a Q5: qualità ottima). Un segnale analogico ricevuto male consente comunque un/a ascolto/visione anche se disturbato/a.
Il concetto di qualità del segnale nel digitale è invece diverso da quello che si è abituati ad associare ad un segnale analogico. A maggior chiarimento si deve considerare che il segnale digitale è del tipo *"on or off"*: dove è garantita la ricezione del segnale la qualità è in ogni caso buona.
La qualità in tale nuova tecnologia è legata non più alla visione/ascolto del segnale, ma alla sua probabilità di copertura. Il livello di qualità è definito "accettabile" se il segnale è ricevuto nell'area interessata almeno nel 95% o 70% dei luoghi, a seconda che si tratti rispettivamente di ricezione mobile o nomadica. Il livello di qualità è definito "buono" se il segnale è ricevuto

3 Una definizione completa delle classi di ricezione è riportata nel capitolo successivo

almeno nel 99% o 95% dei luoghi sempre nel caso rispettivamente di ricezione mobile o nomadica. Maggiori dettagli sulla modalità di valutazione della qualità di ricezione soggettiva/oggettiva in mobilità sono riportati nel paragrafo 3.1.

Tipologia di ricezione

La "ricezione mobile" e la "ricezione indoor" sono certamente le tipologia di ascolto principali. È noto infatti che l'ascolto radiofonico avviene maggiormente in automobile e a casa.

a. Ascolto in automobile (ricezione mobile)

Per questo servizio si considera una probabilità di copertura >= 99% dei luoghi: **qualità "buona"**. Una percentuale di copertura minore comporterebbe alcune interruzioni nella ricezione del segnale che si ritiene non siano tollerabili per un ascolto in automobile.

b. Ascolto nomadico in ambienti interni (ricezione nomadica indoor)

Per questo servizio si considera soddisfacente una probabilità di copertura >=70% dei luoghi: **qualità "accettabile"**. Un eventuale disturbo in ricezione potrà essere infatti corretto con uno spostamento minimo del punto di ricezione.

Nelle figure successive sono riportate le aree di copertura ottenibili dalle stazioni di Venezia Campalto e Bologna Colle Barbiano, con potenza di apparato pari a 200 Watt, a cui si riferiscono i test oggetto di questo lavoro. La potenza di emissione definitiva delle stazioni sarà, a regime, dell'ordine di 1000 Watt, con diagrammi d'antenna ottimizzati per migliorare la ricezione nomadica indoor.

Caratteristiche radioelettriche impianto DAB+/DMB di Venezia Campalto (mux "AERANTICORALLO1")

Dati di stazione

Stazione: **Venezia Campalto** — Zona AF: **VE**

Long: **12° 17′ 49″** — Lat: **45° 28′ 42″** — Coordinate UTM: **TL8881639941** — Quota s.m.l. [m]: **3**

Dati di sostegno

Tipo: **Traliccio** — Altezza [m]: **82**

Dati di trasmissione

Servizio: **DAB/DAB+/DMB** — Potenza apparato [W]: **200** — Tipo Offset: — Valore Offset:

Can./Freq. [MHz]: **12B** — Polarizzazione: **V** — Ingombro Ant. Tx[m]: **2,2** — Quota Ant. Tx[m]: **82**

ERP

Guadagno teorico [Volte]: **3,59**

ERP Max Teorica [W]: **718,63** — Reale [W]: **331,06** — Azimuth [°]: **315** — Abbassamento [°]: **1**

ERP Max all'orizzonte — Reale [W]: **331,06** — Azimuth [°]: **315**

ERP Reale Max all'orizzonte ogni 10° dal Nord in dBK:

0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°
-6	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-11	-11	-12	-12	-12

120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	190°	200°	210°	220°	230°
-12	-12	-11	-11	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-6	-5

240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°
-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5

Composizione antenna TX

Cortina 1: **n° 1 pannelli KATHREIN K 769006 DAB ad orientamento 290°**

Cortina 3:

Cortina 5:

Cortina 2:

Cortina 4:

Cortina 6:

Figura 15
Copertura mobile impianto di Venezia Campalto – qualità buona

Figura 16
Copertura indoor impianto di Venezia Campalto – qualità accettabile

Caratteristiche radioelettriche impianto DAB+/DMB di Bologna Colle Barbiano (mux "AERANTICORALLO2")

Dati di stazione

Stazione: **Bologna Colle Barbiano**			Zona AF: **BO**
Long: **11° 20′ 45″**	Lat: **44° 27′ 41″**	Coordinate UTM: **PQ8667026060**	Quota s.m.l. [m]: **291**

Dati di sostegno

Tipo: **Traliccio**	Altezza [m] : **100**

Dati di trasmissione

Servizio: **DAB/DAB+/DMB**	Potenza apparato [W]: **200**	Tipo Offset:	Valore Offset:
Can./Freq. [MHz]: **12C**	Polarizzazione: **V**	Ingombro Ant. Tx[m]: **0,71**	Quota Ant. Tx[m]: **91**

ERP

Guadagno teorico [Volte]: 3,62			
ERP Max Teorica [W]: **724,88**	Reale [W]: **360,97**	Azimuth [°]: **280**	Abbassamento [°]: **0**
ERP Max all'orizzonte	Reale [W]: **360,97**	Azimuth [°]: **280**	

ERP Reale Max all'orizzonte ogni 10° dal Nord in dBK:

-10	-8	-8	-6	-5	-5	-5	-6	-6	-7	-9	-10
0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°
-11	-12	-14	-17	-17	-16	-20	-24	-17	-19	-24	-24
120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	190°	200°	210°	220°	230°
-15	-9	-6	-5	-4	-5	-8	-15	-14	-14	-15	-15
240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°

Composizione antenna TX

Cortina 1: **n° 1 pannelli TELESYSTEM 0266A YAGI 1P 6E ad orientamento 60°**
Cortina 2: **n° 1 pannelli TELESYSTEM 036CSX YAGI 4E 2PN ad orientamento 280°**
Cortina 3:
Cortina 4:
Cortina 5:
Cortina 6:

Figura 17
Copertura mobile impianto di Bologna Colle Barbiano – qualità buona

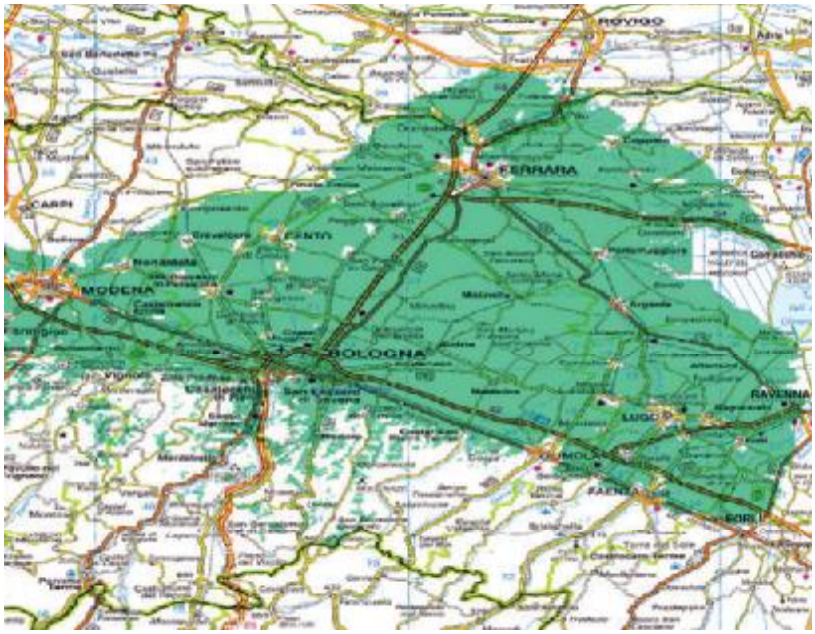
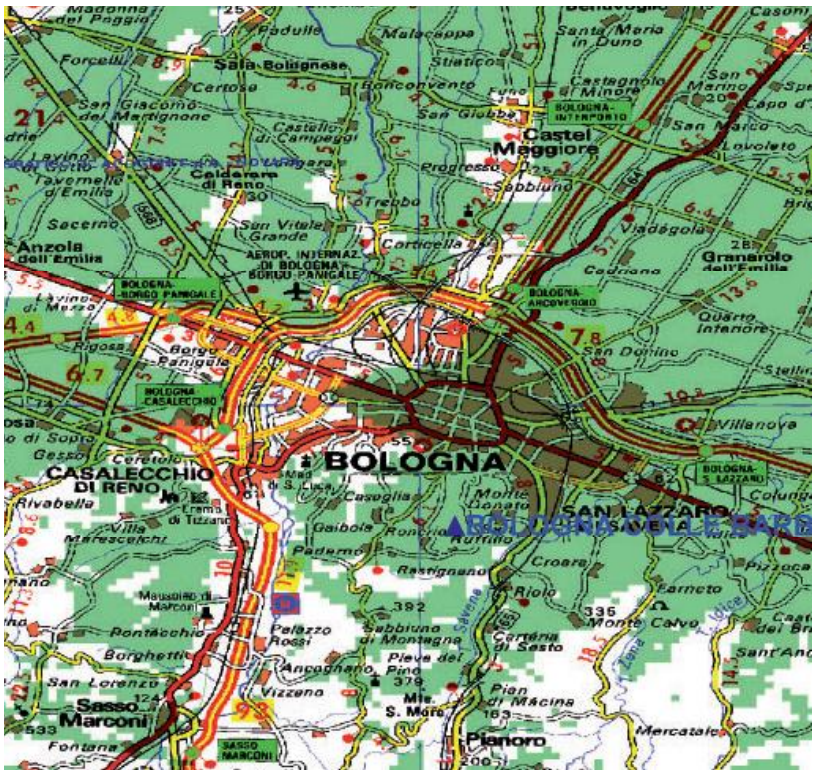
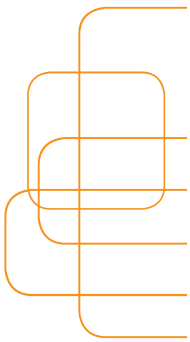
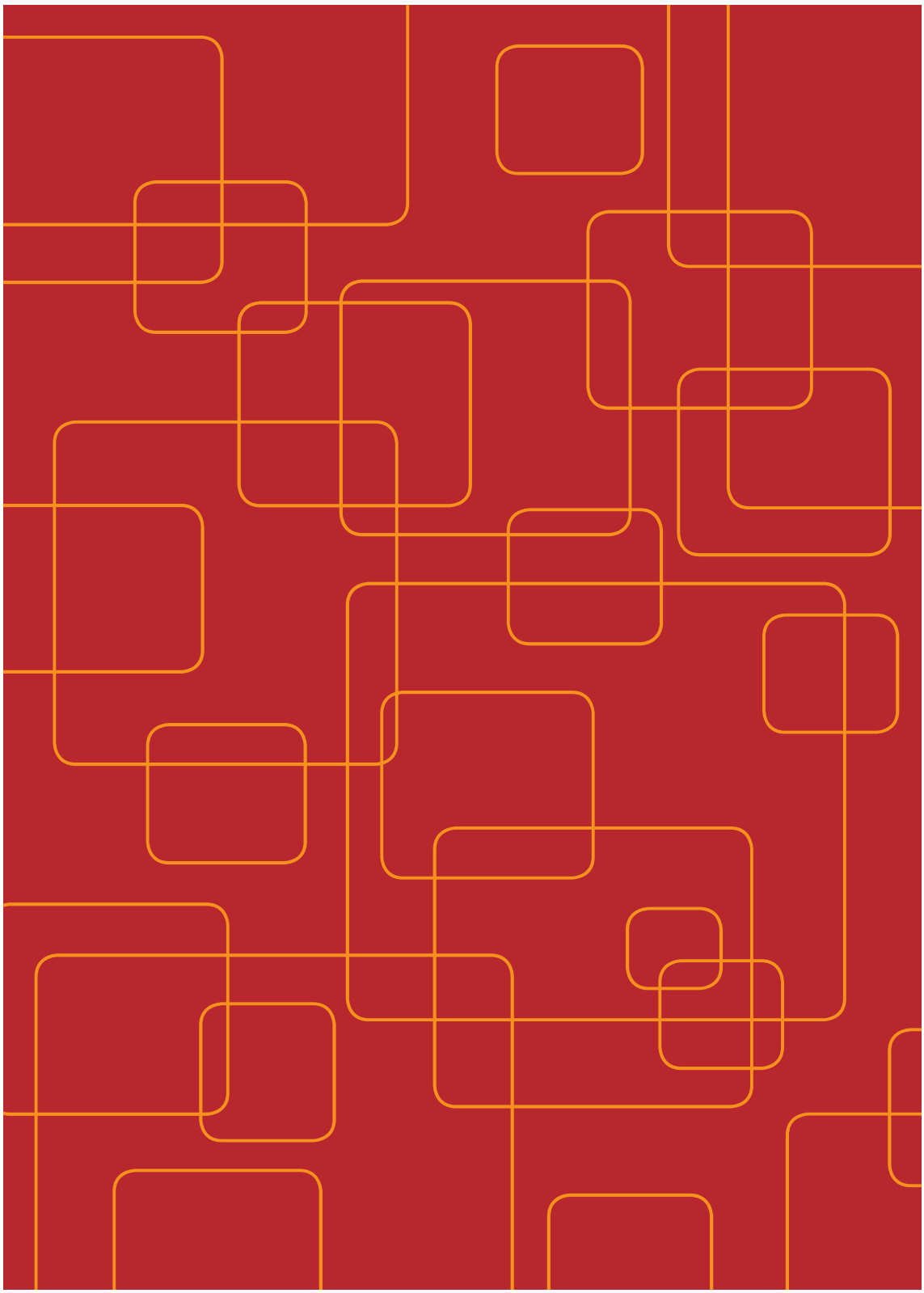


Figura 18
Copertura indoor impianto di Bologna Colle Barbiano – qualità accettabile







I primi risultati della sperimentazione

3

3.1 Parametri di sperimentazione

3.2 Metodologia di misura

3.3 Primi risultati

3.4 Stima di valori di campo minimi per classe di ricezione

3.5 Impatto sulla pianificazione

Nel presente capitolo si fornisce il resoconto della campagna di misura svolta al fine di poter stimare il valore di alcuni parametri di rilievo per il supporto alla pianificazione di reti DAB/DAB+/T-DMB. In particolare, tramite misure outdoor e indoor effettuate nella zona di Bologna, si sono stimati i valori di "Height Loss" e "building penetration loss" in banda III. Il documento contiene inoltre bilanci di collegamento per una prima stima di livelli di campo minimi per varie classi di ricezione con diverse configurazioni d'antenna e ambienti.

Lo studio è stato svolto da Rai Way, che si è avvalsa della collaborazione di Mavigex. Quest'ultima è uno spin-off accademico dell'Università di Bologna che opera nel settore delle Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione (ICT) e che si occupa di ricerca e sviluppo relativa al broadcasting multimediale a dispositivi fissi e mobili tramite reti terrestri e satellitari, di misure di campo elettromagnetico, di fornitura di servizi di adattamento, elaborazione e aggregazione di contenuti multimediali per terminali fissi o mobili, di realizzazione di applicativi in tecnologia flash su smartphones per fiere, conferenze, turismo e cultura.

Le classi di ricezione definite in questo documento si suddividono in classi "pedestrian" (o "nomadica"), intesa come ricezione che avviene in condizioni stazionarie o spostandosi con velocità molto basse tipiche di un soggetto che cammina, e in classi di ricezione "mobile" per le quali la ricezione avviene in mobilità.
La ricezione nomadica e mobile si suddivide ulteriormente a seconda degli ambienti in cui avviene la ricezione e della tipologia di antenna utilizzata[4]

Ricezione nomadica

- Classe A.I: ricezione con dispositivi handheld dotati di antenne integrate in ambienti outdoor;
- Classe A.T: ricezione con dispositivi handheld dotati di antenna telescopica in ambienti outdoor;
- Classe B.I: ricezione con dispositivi handheld dotati di antenne integrate in ambienti indoor;
- Classe B.T: ricezione con dispositivi handheld dotati di antenna telescopica in ambienti indoor.

Ricezione in mobilità

- Classe C.E: ricezione outdoor utilizzando apparati montati su autoveicoli che utilizzano un'antenna esterna;
- Classe D.I: ricezione all'interno di veicoli con dispositivi handheld dotati di antenne integrate nel dispositivo;

4 ITU "Final Acts of the Regional Radiocommunication Conference for planning of the digital terrestrial broadcasting service in parts of Region 1 and 3, in the frequency bands 174-230 MHz and 470-862 MHz (RRC-06)", Geneva, May-June 2006

- Classe D.T: ricezione all'interno di veicoli con dispositivi handheld dotati di antenne telescopiche.

La pianificazione è effettuata considerando come elemento di area minimo sul territorio una superficie quadrata delle dimensioni di 100m x 100m. Su questa area si definiscono due livelli di copertura, che si differenziano per la percentuale delle locazioni di ricezione, aventi queste ultime dimensioni di 0,5 m x 0,5 m, dove si raggiungono i livelli minimi di segnale:[5]

- Copertura "Accettabile": definita come la copertura del 70% delle locazioni di ricezioni nelle classi A e B e del 90% delle locazioni di ricezione nelle classi C e D;
- Copertura "Buona": definita come la copertura del 95% delle locazioni di ricezioni nelle classi A e B e del 99% delle locazioni di ricezione nelle classi C e D.

Le percentuali sopra riportate devono essere intese nel senso di valori di location probability.

3.1 Parametri di sperimentazione

Ricezione nomadica

3.1.1 Height Loss

Questo parametro rappresenta la differenza tra il livello del campo elettrico misurato ad una altezza dal suolo sufficiente per avere ricezione diretta (line-of-sight - LOS) e il livello misurato ad altezza uomo. Tale parametro è fondamentale per poter pianificare la copertura per classi di ricezione nomadica e mobile.

3.1.2 Building Penetration Loss

Questo parametro indica la perdita di campo che si riscontra nel passaggio da outdoor a indoor, ovvero rappresenta l'attenuazione che si ha quando il segnale attraversa le pareti esterne di un edificio. Per questo è fortemente dipendente dalla tipologia costruttiva dell'edificio nonché dalla disposizione dell'ambiente nel quale si effettuano le misure rispetto all'edificio, in riferimento alla direzione del sito di trasmissione.

3.1.3 Standard Deviation outdoor

Questo parametro rappresenta la variabilità del campo outdoor quando ci si sposta sull'orizzontale. È utile ai fini del calcolo del location correction factor, un parametro che serve a correggere il link budget in funzione delle percentuali di copertura che si desiderano ottenere.

5 ETSI TR 102 377 V1.2.1: "Digital Video Broadcasting (DVB); DVB-H - Implementation Guidelines"

3.1.4 Qualità

Con il termine qualità della ricezione si intende la valutazione oggettiva o soggettiva della possibilità di ricevere in movimento senza errori rispetto a quanto trasmesso.
Le problematiche della valutazione della qualità sonora del segnale audio in relazione alle varie scelte di riduzione della ridondanza (codifica) e del tipo di codificatore utilizzato, esulano dagli scopi del presente lavoro.

3.1.4.1 Qualità oggettiva

Nell'ambito dei sistemi digitali la qualità oggettiva deriva dalla valutazione del rispetto delle percentuali di ricezione indicate per le categorie "Buona" ed "Accettabile". A seconda del sistema di trasmissione utilizzato, il dato della singola locazione può essere riferito al Frame del segnale oppure all'unità di tempo. La singola locazione è individuata dalle coordinate geografiche definite sino al grado secondo. Se in un grado secondo insistono più misure (es. sosta al semaforo) esse vanno trattate/elaborate sino ad ottenere un valore univoco.
Dall'esperienza Rai Way è scaturito che, per la ricezione mobile - per la quale non esistono riferimenti normativi - è conveniente riferire l'area su cui calcolare il valore della qualità al pixel quadrato del territorio (250m x 250m circa), invece che al quadrato di 100m x 100m, come indicato nelle normative ITU-R per la ricezione fissa.
Una misura riferita ad una singola locazione può avere valore binario in presenza o assenza di errori audio/video per Frame o per secondo. L'insieme delle locazioni che cadono nel pixel vengono utilizzate per il calcolo della percentuale. Se la percentuale si colloca sotto il 90% allora il pixel è considerato non servito, se la percentuale si colloca tra il 90 ed il 99% il servizio è considerato "Accettabile", oltre si ha un servizio "Buono". In tal modo è possibile determinare la copertura in mobilità (km utili su km valutati)nell'ambito dell'area di copertura prevista.
In assenza del sistema di valutazione sopra descritto è possibile discriminare i percorsi limitandosi a rilevare ed a rappresentare i livelli di campo elettromagnetico. Essi sono idonei per comparare i dati di misura con i dati di pianificazione in assenza di situazioni interferenziali o di disturbo locale.

3.1.4.2 Qualità soggettiva

In assenza di una specifica normativa di riferimento per la valutazione oggettiva della qualità della ricezione, e quindi in assenza di strumenti specificatamente progettati e di prestazioni comparabili, diviene necessario avvalersi di criteri soggettivi. In tali casi è l'operatore che, attraverso l'ascolto del segnale

decodificato o in diretta sul mezzo mobile oppure a posteriori sulla traccia audio registrata, associa a ciascuna posizione spaziale determinata dalle coordinate un giudizio sulla presenza o assenza di errori. È evidente che in tali casi l'operatore deve essere formato per discriminare gli effetti della codifica (compressione, basso bit rate ecc.), che non devono essere considerati, da quelli della ricezione (errori dovuti a perdita di pacchetti).

3.2 Metodologia di misura

3.2.1 Height Loss (HL)

Nella raccomandazione ITU-R P.1546-1: "Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz", è proposto un metodo di calcolo per questo parametro quando si vogliano rapportare i livelli di campo calcolati alle altezze standard definite per diversi ambienti (i valori sono 10 m per zone suburbane, 20 m per zone urbane, 30 m per zone densamente urbanizzate) ad altezze vicine al suolo o comunque inferiori a 10 m sul livello del suolo circostante. Per la pianificazione nomadica e mobile l'altezza dell'antenna ricevente si suppone essere di 1,5 m sul livello del suolo. Nonostante si trovino in letteratura alcuni valori di Height Loss alle frequenze di interesse, si è ritenuto necessario effettuare una campagna di misura per ottenere una validazione sperimentale.
Il parametro di Height Loss è stato quindi calcolato come la differenza tra le misure di intensità del raggio diretto del campo in linea di vista rispetto al trasmettitore, ovvero over roof top (o.r.t.), e la media dell'intensità di campo a 1,5 m.
In entrambi i casi è stata misurata la potenza (P) del segnale ricevuto sull'intero spettro del segnale DAB. Da questi valori si è passati poi ai livelli di campo elettrico (Electric Field Strength – EFS) mediante la formula:

$$EFS = V \cdot K \quad \left[V/m\right] \tag{1}$$

dove:

K = fattore di antenna = $\sqrt{\frac{4\pi \cdot \eta_0}{\lambda^2 \cdot G \cdot R_a}} \quad \left[\frac{1}{m}\right]$

con:

$\eta_0 = 377 \ [\Omega]$ impedenza di spazio libero
G = guadagno di antenna
Ra = impedenza d'antenna

Riscrivendo (1) usando la potenza P:

$$EFS = K \cdot \sqrt{P \cdot R} \quad \left[V/m \right] \tag{2}$$

dove R rappresenta l'impedenza d'ingresso del ricevitore, ed utilizzando la notazione logaritmica è possibile scrivere

$$EFS\left[dB\mu V/m \right] = P[dBm] + 90 + 10Log_{10}R + K\left[dB\frac{1}{m} \right] \tag{3}$$

Il valore di Height Loss richiesto è stato quindi calcolato come differenza tra i valori di EFS alle quote di riferimento.

3.2.2 Building Penetration Loss (BPL)

La valutazione della BPL richiede una misura di campo elettromagnetico ottenuta come differenza tra il valore misurato all'esterno e all'interno di un determinato ambiente. A causa della variabilità su grande scala (vedi paragrafo 3.4.2.4 "Variabilità outdoor") del campo elettromagnetico esterno dovuta a fenomeni di shadowing e cammini multipli, è necessario ottenere il valore di campo elettromagnetico esterno come media di differenti misure. Il numero di misure da effettuare dipende dalle dimensioni lineari del muro perimetrale dell'edificio in questione nella direzione del sito di trasmissione. A questo valore viene poi sottratto il valore di campo elettromagnetico misurato in ciascuno dei punti interni all'ambiente sotto esame, il cui numero è dipendente dalle dimensioni dell'ambiente e dalla particolare lunghezza d'onda analizzata. In tal modo, si ottiene un valore di BPL per ogni punto indoor, il che permette di derivare una statistica. È interessante notare che in alcuni punti il valore di BPL è risultato essere positivo; questo a causa dei diversi cammini che in ambiente indoor si combinano sul ricevitore dando luogo a differenti valori di campo in alcuni casi anche maggiori della media esterna. I valori di BPL così ottenuti vengono riportati in forma di istogramma, sulla base del quale è possibile derivare una densità di probabilità che ben rappresenti l'istogramma stesso. L'interpolazione viene effettuata minimizzando l'errore quadratico medio tra misura e modello, e la scelta di una densità di probabilità viene guidata dal criterio di massima verosimiglianza.

Oltre allo studio dell'andamento statistico della BPL, si è scelto di effettuare misure anche in ambienti più interni nell'edificio. Questa tipologia di misure, per quanto meno tipica, è tuttavia utile per poter prevedere quale qualità di servizio si possa aspirare a fornire in ambienti indoor profondi. La variabilità dei risultati è comunque aumentata dal fatto che, in ambienti più interni, differenti effetti (come ad esempio la propagazione guidata per effetto di muri,

soffitti e corridoi) si compongono per dare fluttuazioni aggiuntive rispetto ai semplici effetti di attenuazione dovuta all'attraversamento di pareti che si possono rilevare in ambienti adiacenti al muro esterno. Tutti gli ambienti scelti hanno comunque un affaccio (porta e/o finestra) verso l'esterno.[6]

I luoghi di misura sono stati scelti tra i siti disponibili con l'accortezza di scegliere edifici nei quali è risultato possibile eseguire la misura di campo elettrico esterno sul lato dell'edificio verso il sito di trasmissione (per evitare di avere come riferimento una misura di campo effettuata nell'ombra dell'edificio stesso), e nei quali la misura di campo esterno ed interno è stata eseguita alla medesima quota dal terreno. Si è altresì scelto ambienti provvisti di finestre esterne e ambienti i cui materiali di costruzione di pareti e finestre fossero i più differenti possibili l'uno dall'altro cercando così di includere nella statistica differenti tipologie di edifici. Le misure sono state condotte in ambienti prevalentemente suburbani. Accettando una dinamica di +/- 2 dB rispetto al valore stimato in ambiente sub-urbano, è possibile ritenere validi i risultati anche per ambiente urbano (dove la BPL è in generale maggiore) e rurale (dove la BPL è in generale inferiore).

3.2.3 Standard Deviation outdoor

Per il calcolo di questo parametro sono stati effettuati diversi campionamenti del valore di potenza in vari punti, equidistanziati di circa una lunghezza d'onda, in maniera tale da scorrelare le misure rispetto alle oscillazioni del segnale su piccola scala. Indipendentemente per ciascun sito poi è stata effettuata la misura della statistica.

3.2.4 Qualità

Le misure relative alla qualità del servizio DAB PLUS sono state eseguite in due modalità e svolte in due riprese per evitare l'utilizzo di un divisore o di due antenne distinte che avrebbero modificato il diagramma orizzontale.
Durante le misure lo spettro radioelettrico del blocco DAB PLUS è stato monitorato con lo strumento HP 8594 per evidenziare eventuali interferenze.
Tutte le mappe sono state realizzate utilizzando il software cartografico "MAP POINT" della Microsoft.

3.2.4.1 Qualità oggettiva

La valutazione della qualità oggettiva è stata effettuata mediante ricevitore di misura "RADIOSCAPE" con antenna esterna stilo e GPS, programma dedicato per la registrazione di log file. Sono stati esaminati i seguenti parametri: livello di ricezione, valore di BER, S/N, audio CRC.

6 ITU "Final Acts of the Regional Radiocommunication Conference for planning of the digital terrestrial broadcasting service in parts of Region 1 and 3, in the frequency bands 174-230 MHz and 470-862 MHz (RRC-06)", Geneva, May-June 2006

3.2.4.2 Qualità soggettiva

La valutazione della qualità soggettiva è stata effettuata mediante il ricevitore BLINK della REVO modificato con l'antenna stilo. È stato inoltre utilizzato un GPS ed un software per l'acquisizione e registrazione di log file che memorizza le coordinate geografiche (1 misura/sec) e i livelli di qualità soggettiva introdotti manualmente dall'operatore.
L'analisi della qualità soggettiva valuta il livello della ricezione utilizzando una scala di tre valori (ricezione buona, ricezione disturbata, ricezione pessima o mancanza di servizio).

3.2.5 Strumentazione utilizzata

È stata utilizzata la seguente attrezzatura:

Misure Fisse

- Dipolo accordato EMCO con le seguenti caratteristiche alle frequenze utilizzate:
  - Impedenza di ingresso R = 50 Ω
  - Guadagno (comprensivo della perdita di cavo) G = 2.8 dBi.
  - Fattore di antenna risultante pari a $\mathrm{K} = 14.4 \left[dB\frac{1}{m} \right]$
- Analizzatore di spettro portatile Rohde&Schwarz FSH6

Misure in mobilità

- REVO BLI qualità soggettiva, antenna esterna stilo
- IRIVER B20 qualità soggettiva antenna telescopica
- RADIOSCAPE output log file:LIVELLO RX, S/N, BER, AUDIO CRC
- Analizzatore di spettro HP output tracce dello spettro
- Ricevitore BLINK della REVO modificato con antenna esterna
- modello Blaupunkt A-D T 01-E (B III – L Band) 50 ohm stilo passivo

3.3 Primi risultati

3.3.1 Height Loss

Come detto le misure sono state effettuate sia in ambiente suburbano che in ambiente urbano.
Per il calcolo del raggio diretto è stata effettuata l'analisi della stratificazione[7] ottenuta misurando il valore del campo tra 5 e 20 metri con campionamenti ogni 10 centimetri circa. Successivamente, a partire da questi valori sono stati

7 Giovanni Gentile: "Misura dell'intensità del campo e.m", Elettronica, n. 3, 1966

estratti solo quelli o.r.t. e sono stati elaborati in maniera tale da ottenere il valore del raggio diretto.
La scelta dei siti è stata effettuata tenendo conto della necessità di doversi trovare non in visibilità a 1,5 metri, e contestualmente di trovarsi in linea di vista con il trasmettitore entro i 20 metri di altezza, in maniera tale da riuscire a calcolare l'intensità del raggio diretto.
A seguito dell'analisi dei risultati preliminari, sono stati scartati alcuni siti preventivamente individuati perché non rispecchiavano tutte o parte delle condizioni di misura sopra descritte. Sono stati preservati due siti significativi: il primo presso la sede RAI di Bologna in viale della Fiera; il secondo presso gli uffici di ARCES, un Centro di Ricerca dell'Università di Bologna, in via Toffano, a Bologna.

Figura 1
Panoramica dei siti di misura nella valutazione della Height Loss

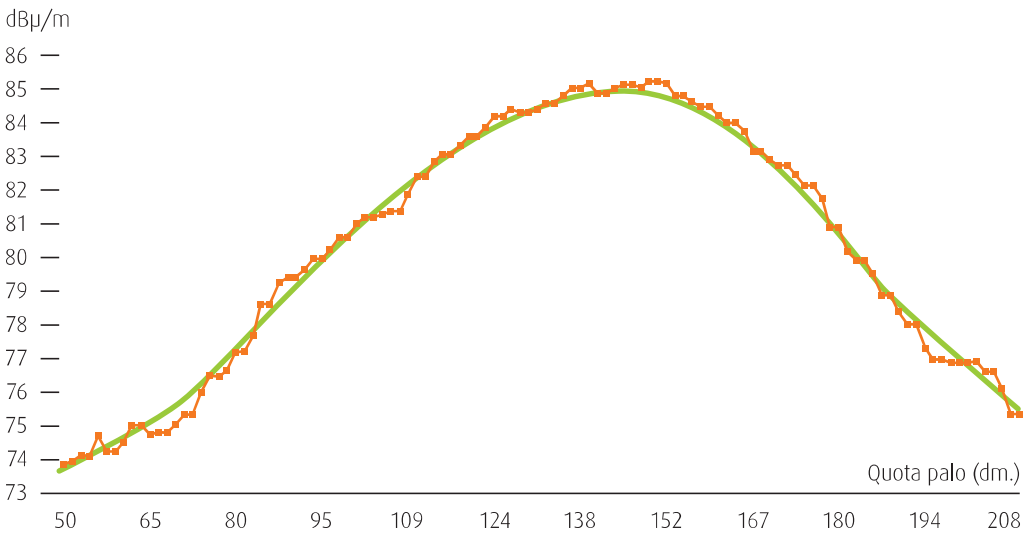
Il primo ambiente è simile ad un ambiente suburbano con pochi edifici non molto alti nelle vicinanze.
Il secondo è un tipico ambiente urbano localizzato nel centro cittadino con molti edifici alti intorno.

Presso la sede RAI sono state effettuate quattro misure a 1,5 metri dal suolo e cinque misure di stratificazione. Ciascuna di queste è stata utilizzata per estrarre il raggio diretto e successivamente questi valori sono stati mediati orizzontalmente.

Figura 2
Collocazione geografica del sito di misura presso la Sede RAI di Bologna

Di seguito riportiamo uno dei grafici di stratificazione, in particolare quello ottenuto nel punto di misura 1. Poiché l'ambiente circostante è abbastanza aperto (nelle immediate vicinanze infatti è presente solamente un edificio di soli due piani), l'andamento del campo si presenta abbastanza regolare, influenzato solamente dal raggio riflesso dal suolo, che a seconda delle quote va ad incidere in maniera costruttiva o distruttiva sul campo diretto a seconda della differenza di fase.

Figura 3
Bologna Colle Barbiano Ext, Sede RAI fronte uffici lato Fiera 1 - 22,963 - pol.: Verticale



Di seguito riportiamo la tabella riassuntiva dei valori calcolati sia a 1,5 metri che del raggio diretto o.r.t.:

Tabella riassuntiva dei valori di Height Loss misurati presso la Sede RAI di Bologna

Tipo misura	Punto	Potenza P [dBm]	Intensità di campo EFS [dBµV/m]	Potenza P media [dBm]	Intensità di campo EFS media [dBµV/m]	Height Loss [dB]
Campo a 1,5 metri	1	-50.9	70.5	-53.2	68.2	11.7
	2	-52.5	68.9			
	3	-53.4	68.0			
	4	-56.0	65.4			
Raggio diretto o.r.t.	1	-41.2	80.2	-41.5	79.9	
	2	-40.9	80.5			
	3	-43.0	78.4			
	4	-41.2	80.2			

Il valore desunto di Height Loss, pari a 11.7 dB, risulta essere in linea con i valori riscontrabili in letteratura per ambiente sub-urbano.
Nella sede ARCES invece sono stati misurati dieci valori a 1,5 metri e un valore di stratificazione.

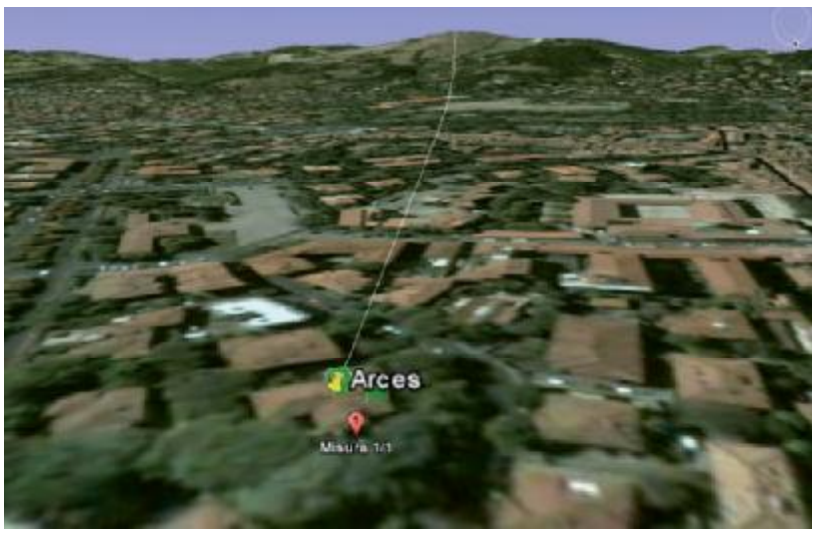


Figura 4
Collocazione geografica del sito di misura presso la Sede ARCES di Bologna

Anche per questo sito riportiamo il grafico ricavato dalle analisi di stratificazione del campo:

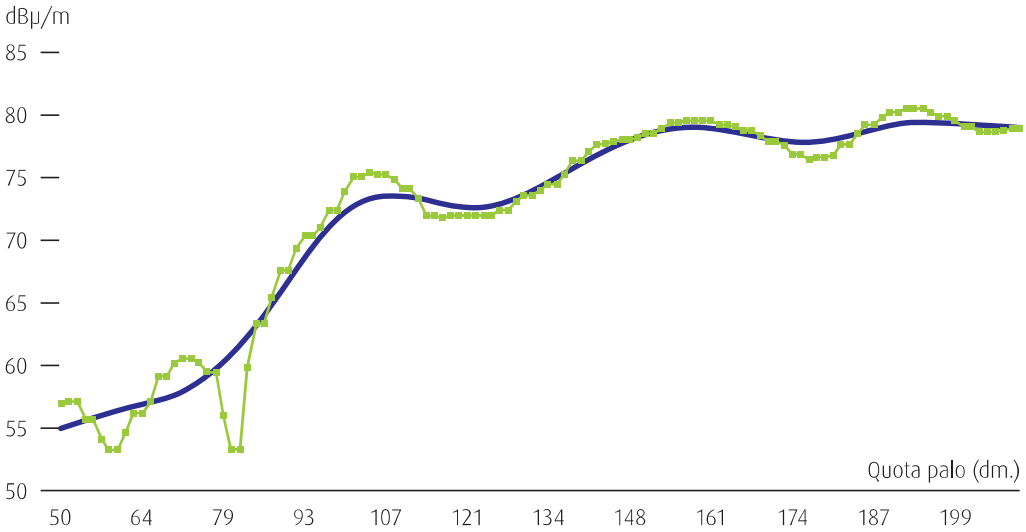


Figura 5
Bologna Colle Barbiano Ext Arces - 223,936 - Pol.: Verticale

In questo caso, a differenza del precedente, l'andamento della stratificazione è più irregolare, perché maggiormente influenzato dalla vicinanza di edifici di altezza pari o addirittura maggiore rispetto a quello utilizzato per le misure, in particolar modo al di sotto dei 10 m.
Di seguito riportiamo la tabella riassuntiva dei valori calcolati sia a 1,5 m che del raggio diretto o.r.t.:

Tabella riassuntiva dei valori di Height Loss misurati presso la sede ARCES di Bologna

Tipo misura	Punto	Potenza P [dBm]	Intensità di campo EFS [dBµV/m]	Potenza P media [dBm]	Intensità di campo EFS media [dBµV/m]	Height Loss [dB]
Campo a 1,5 m	1	-57.8	63.6	-59.7	61.7	18.4
	2	-63.8	57.6			
	3	-63.1	58.3			
	4	-58.1	63.3			
	5	-60.8	60.6			
	6	-54.8	66.6			
	7	-63.1	58.3			
	8	-60.8	60.6			
	9	-57.1	64.3			
	10	-58.0	63.4			
Raggio diretto o.r.t.	1	-41.3	80.1	-41.3	80.1	

Il valore desunto di Height Loss, pari a 18.4 dB, risulta essere in linea con i valori riscontrabili in letteratura per ambiente urbano.

3.3.2 Building Penetration Loss (BPL)

Le misure sono tate effettuate in prevalenza in ambiente urbano e suburbano con prevalenza di siti extraurbani. Qui di seguito una panoramica di tutti i siti oggetto di misura.

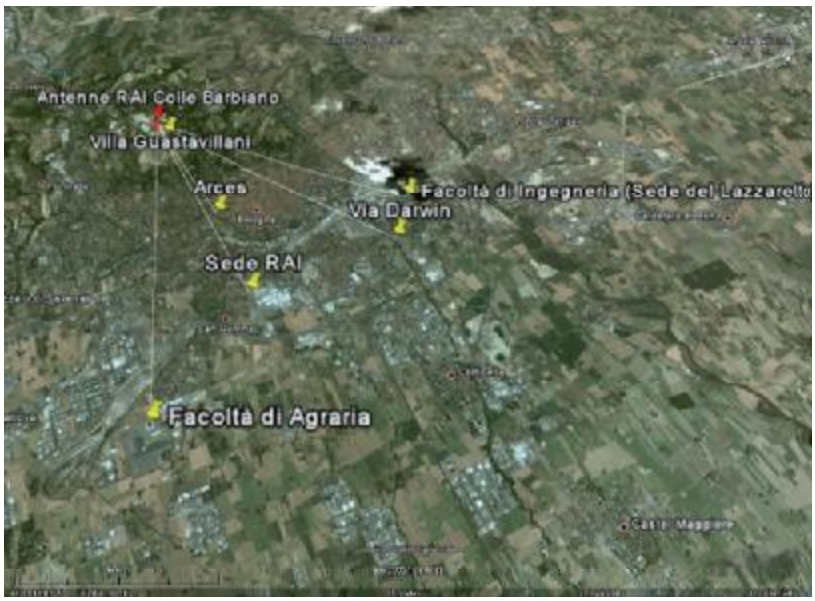


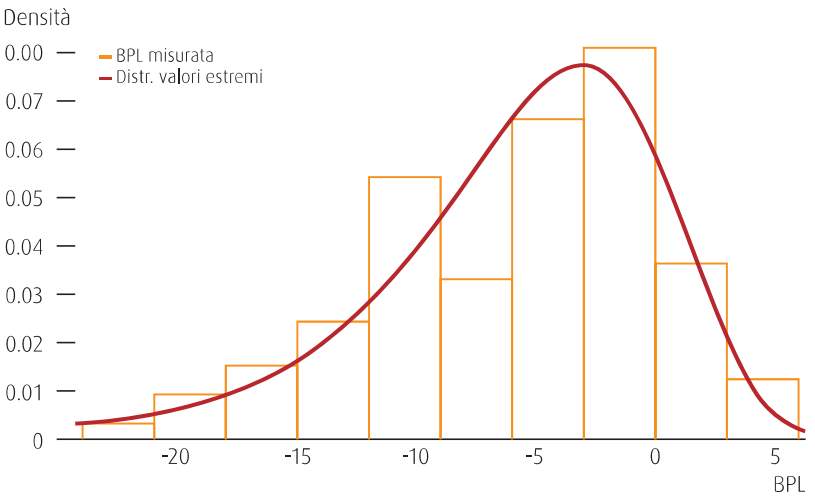
Figura 6
Panoramica dei siti di misura per la valutazione della Building Penetration Loss

Come detto in precedenza si è eseguito un numero di misure outdoor (indicate con circoli numerati nella piantina seguente) di fronte all'ambiente da caratterizzare in numero sufficiente a coprire la parete verso il sito di trasmissione mediando successivamente il valore di campo da utilizzare come riferimento per le misure eseguite all'interno. All'interno di ogni sito sono poi state effettuate misure in differenti ambienti (indicati con colori differenti nella piantina seguente) eseguendo per ognuno un numero di misure, distanziate di circa una lunghezza d'onda, sufficienti a caratterizzare ogni ambiente. Qui di seguito si riporta una piantina di un sito scelto come esempio.

Figura 7
Sito di misura presso la Facoltà di Agraria di Bologna

Per ogni punto è stato quindi ricavato il valore di BPL corrispondente.
Come già detto in precedenza, i valori di BPL sono stati misurati innanzi tutto in ambienti con almeno una parete esterna in direzione del sito di trasmissione; secondariamente, si è scelto di eseguire misure anche in ambienti più interni nell'edificio. Per ciascun caso è stato costruito dapprima un istogramma sul quale in seguito è stata ottenuta una curva di distribuzione statistica tramite fitting. La distribuzione scelta è stata in entrambi i casi quella più conforme ai dati misurati a seguito dell'applicazione del criterio di massima verosimiglianza.
Qui di seguito è riportato l'istogramma e la rispettiva distribuzione statistica per quel che riguarda le misure effettuate negli ambienti adiacenti alla prima parete esterna.

Figura 8
PDF della distribuzione ai valori estremi con location parameter = -3.1 e scale parameter = 4.8



La distribuzione che rappresenta in modo più accurato la statistica dei dati misurati è risultata essere in questo caso una Distribuzione ai Valori Estremi di tipo I detta anche log-Weibull. Qui sotto si riporta invece l'andamento grafico dei percentili utili a ricavare valori della BPL per differenti percentuali di copertura.

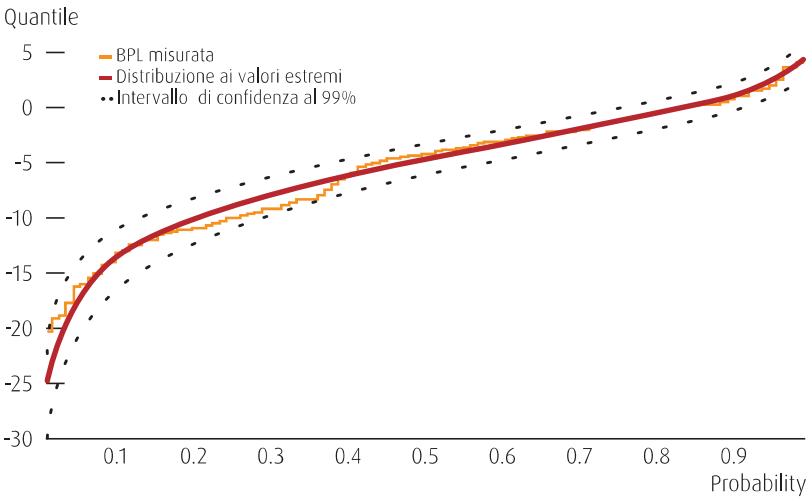


Figura 9
Andamento grafico dei percentili della distribuzione ai valori estremi con location parameter = -3.1 e scale parameter = 4.8

Per la distribuzione log-Weibull è possibile identificare il "location parameter" e lo "scale parameter", rispettivamente indicati con α e β, i quali sono legati ai valori di media e varianza dalle formule seguenti:

$$\mu = \alpha + \gamma \cdot \beta \qquad (4)$$

$$\sigma^2 = \frac{\pi^2 \cdot \beta^2}{6} \qquad (5)$$

La deviazione standard risulta quindi:

$$\sigma = \frac{\pi \cdot \beta}{\sqrt{6}} \qquad (6)$$

con:
γ = costante di Eulero-Mascheroni = $\lim_{v \to \infty} \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \mathrm{L} \quad + \frac{1}{\mathrm{n}} - Log_e(\mathrm{n}) \right) \approx 0.57721$

Il percentile del p-esimo ordine è espresso dalla formula seguente:

$$Q(p) = \alpha - \beta \cdot Log_e\left(Log_e\left(\frac{1}{p} \right) \right) \qquad (7)$$

che, espresso in funzione di media e deviazione standard, diventa:

$$LC(p) = \mu + DF(p) \cdot \sigma \qquad (8)$$

con:
DF = Distribution Factor ricavato dalla tabella seguente:

Distribution factor per diverse percentuali di copertura in una distribuzione ai valori estremi di tipo I

Percentuale di copertura	Distribution Factor
60 %	0.073690698
65 %	0.206569744
70 %	0.353760472
75 %	0.521371028
80 %	0.719445721
85 %	0.966625831
90 %	1.304551518
95 %	1.865799046
99 %	3.136668948

Nella tabella seguente sono riassunti i parametri della distribuzione e i rispettivi valori di media e deviazione standard oltre al valore che la BPL assume nel 70% e nel 95% dei casi (che sono i valori di copertura richiesti per coperture indoor accettabili e buone così come indicato nel paragrafo 3 "I primi risultati della sperimentazione") con un intervallo di confidenza del 99%.

BPL negli ambienti interni alla prima parete esterna degli edifici (il valore tra parentesi quadre è l'intervallo di confidenza)

Canale	Location Parameter α [dB]	Scale Parameter β [dB]	Media BPL [dB]	Dev. Standard BPL [dB]	BPL 70% [dB]	BPL 95% [dB]
Banda III	-3.1	4.8	5.8	6.1	8 [±1.8]	17.2 [±3.3]

Qui di seguito è invece riportato l'istogramma e la rispettiva distribuzione statistica per quel che riguarda le misure effettuate negli ambienti interni all'edificio.

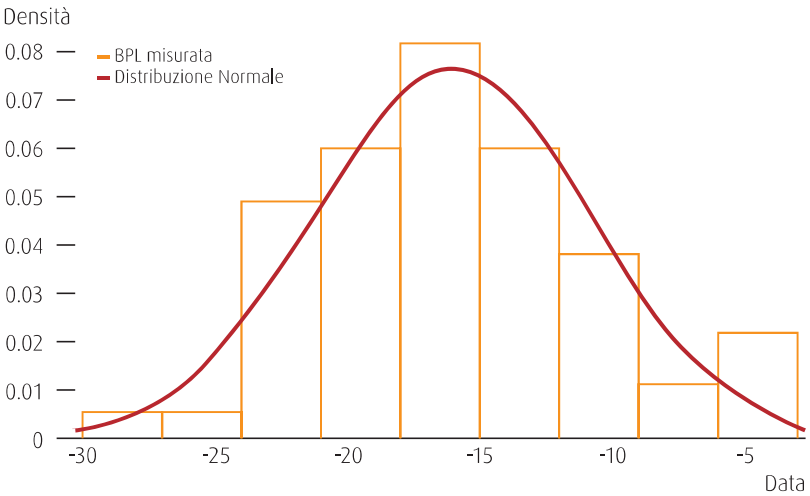


Figura 10
PDF della distribuzione normale con valore medio = -16.1 e deviazione standard = 5.2

La distribuzione più somigliante alla distribuzione dei dati misurati espressi in decibel è risultata essere in questo caso una Distribuzione Normale. Di seguito si riporta l'andamento grafico dei quantili utili a ricavare valori della BPL per differenti percentuali di copertura:

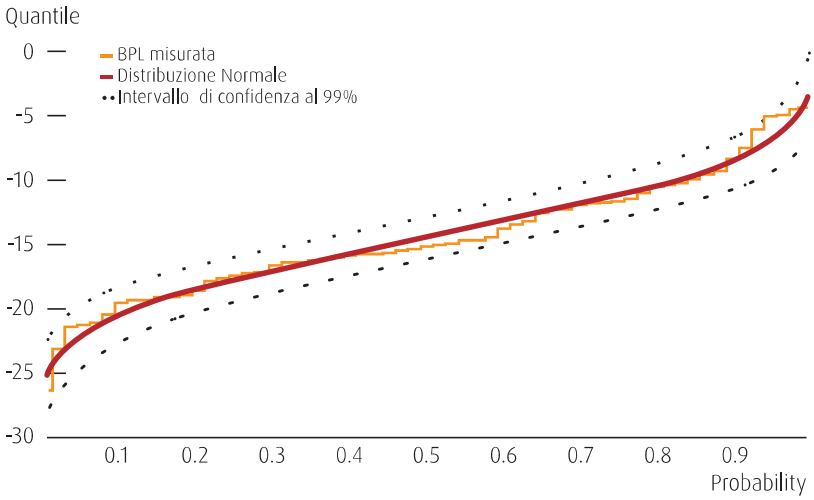


Figura 11
Andamento grafico dei quantili della distribuzione normale con valore medio = -16.1 e deviazione standard = 5.2

Per questa distribuzione, il percentile del p-esimo ordine è calcolato ancora utilizzando la (8) dove questa volta i valori di Distribution Factor sono quelli evidenziati nella tabella seguente:

Distribution factor per diversi percentuali di copertura in una distribuzione Normale	
Location Probability	Distribution Factor
60 %	0.25338
65 %	0.38527
70 %	0.52443
75 %	0.67453
80 %	0.84161
85 %	1.04637
90 %	1.18147
95 %	1.64476
99 %	2.32692

Nella tabella seguente sono riassunti i valori di media e deviazione standard oltre al valore che la BPL assume nel 70% e nel 95% dei casi (che sono i valori di copertura richiesti per coperture indoor accettabili e buone così come indicato nel paragrafo 3 "I primi risultati della sperimentazione") con un intervallo di confidenza del 99%:

BPL negli ambienti interni degli edifici stimata (il valore tra parentesi quadre è l'intervallo di confidenza)				
Canale	Media BPL [dB]	Dev. Standard BPL [dB]	BPL 70% [dB]	BPL 95% [dB]
Banda III	16.1	5.2	18.8 [±1.8]	24.7 [±2.6]

3.3.3 SD Location

I siti scelti per effettuare le misure sono stati il centro di ricerca dell'Università di Bologna ARCES, Villa Guastavillani, la sede RAI di Bologna e un parcheggio presso via Luigi Tanari 10, a Bologna.

Nelle seguenti tabelle riportiamo i valori di potenza e relativa deviazione standard per le varie locazioni considerate, che portano a una deviazione standard media di 2.6 dB. Tale valore appare essere inferiore al tipico valore di 5.5 dB riportato in letteratura (Raccomandazione ITU-R P: 1546-1); tuttavia, tale risultato è probabilmente influenzato dalla conformazione dei siti e dalla procedura di misura.

Sito della misura	Potenza [dBm]	Deviazione Standard [dB]
ARCES - Parcheggio	-57.8	
	-63.8	
	-63.1	
	-58.1	
	-60.8	
	-54.8	3.02
	-63.1	
	-60.8	
	-57.1	
	-58.0	
ARCES - Fronte giardino	-60.8	
	-60.7	
	-58.6	1.78
	-58.2	
	-56.6	
Villa Guastavillani	-32.7	
	-32.5	
	-34.6	
	-27.5	
	-26.7	3.89
	-31.1	
	-39.5	
	-29.7	
	-29.8	
Sede RAI	-50.9	
	-52.5	2.13
	-53.4	
	-56	
Via Tanari	-55.8	
	-51.6	2.25
	-52.3	

Misure in mobilità

Le misure in movimento sono state effettuate utilizzando un mezzo attrezzato FIAT ULYSSE. Prima della campagna di misura sono stati effettuati alcuni test su antenne commerciali per verificare l'idoneità alla misurazione di interesse, presso il sito di misura "CALEARO - ANTENNE" dotato di piano rotante per la valutazione del diagramma orizzontale.

Sono riportati i grafici delle risposte in frequenza delle antenne commerciali e di misura installate su ULYSSE riferite al dipolo campione.

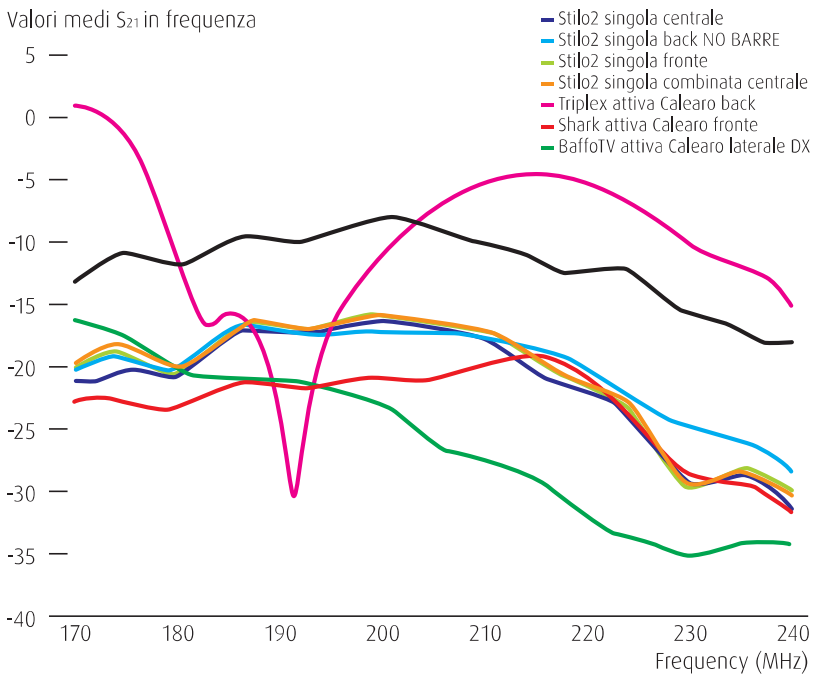
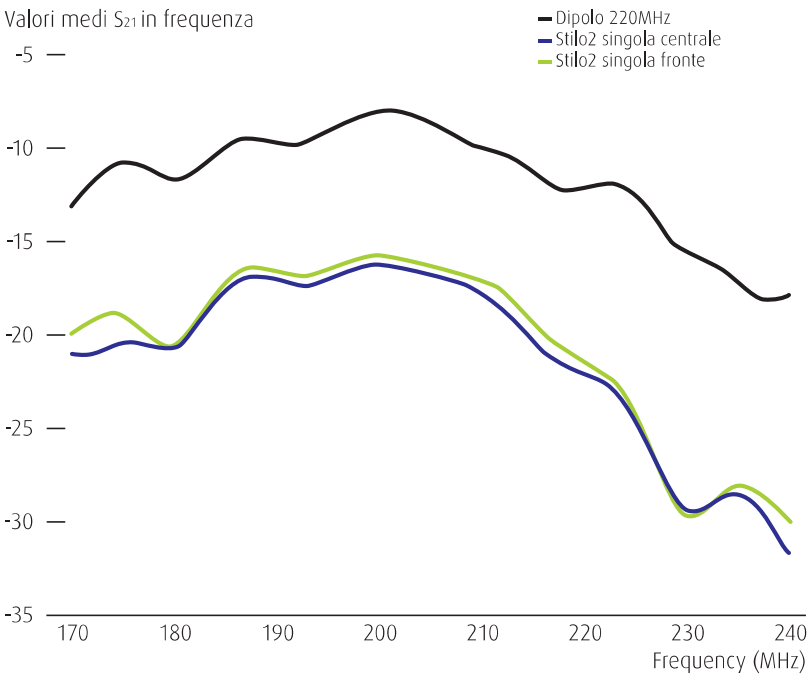
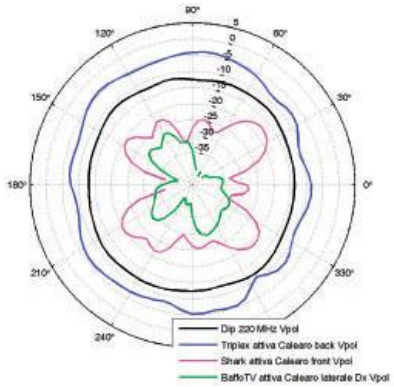


Figura 12
Fase di misura del diagramma orizzontale su antenne installate su FIAT ULYSSE





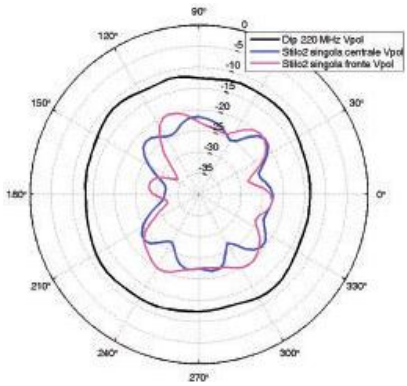


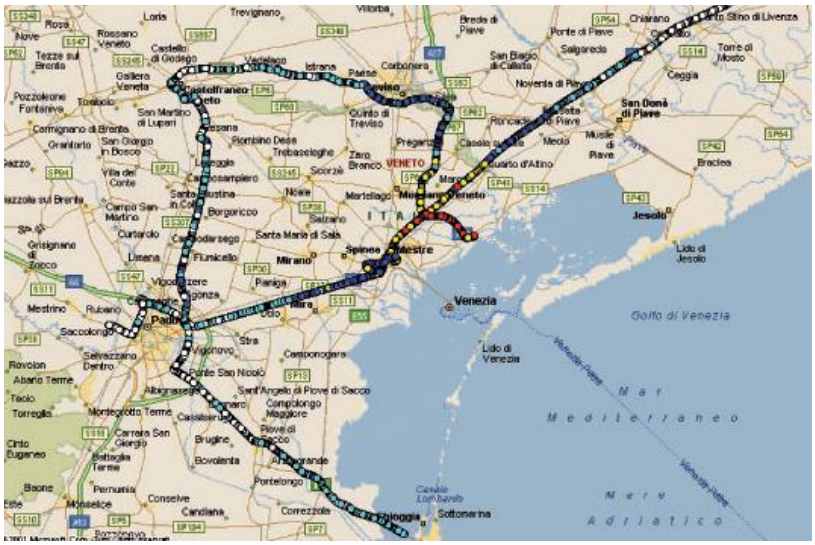
Figura 13
Grafico diagramma orizzontale antenne commerciali frequenza 224 MHz

Grafico diagramma orizzontale antenne stilo utilizzata per le misure frequenza 224,00 MHz Modello Blaupunkt A-D T 01-E (B III – L Band) 50 ohm stilo passivo

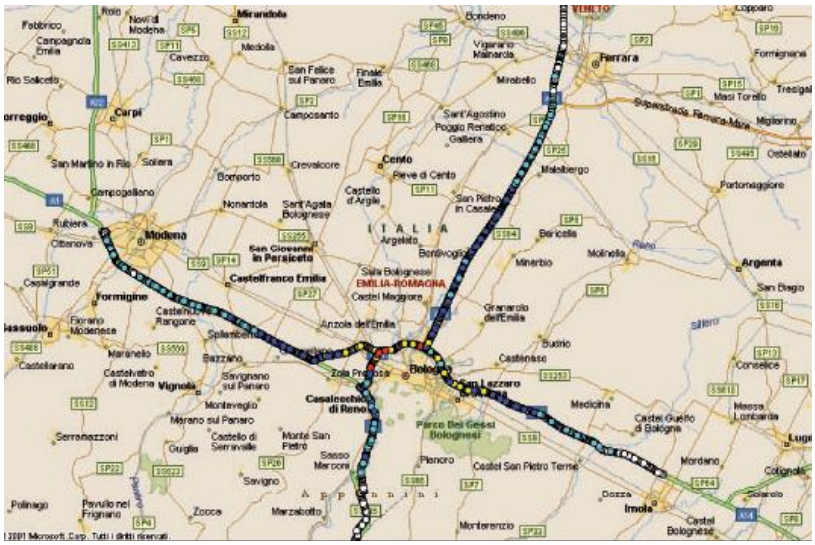
Qualità oggettiva e mappe

Livello di ricezione del servizio DAB PLUS con protezione Equal 3A sul CH 12 B (mux "AERANTICORALLO1") irradiato dall'impianto di VENEZIA Campalto con una potenza di 200 W

Figura 14
- ≤ 44 dbµV/m
- 45-54 dbµV/m
- 55-64 dbµV/m
- 65-74 dbµV/m
- ≥ 75 dbµV/m


Treviso
Castelfranco Veneto
Quinto di Treviso
Zero Branco
VENETO
Preganziol
Mogliano Veneto
Mestre
Spinea
Mirano
Venezia
Jesolo
Golfo di Venezia
Mar Mediterraneo
Mare Adriatico
Lido di Venezia
Martellago
Salzano
Scorzè
Marcon
Quarto d'Altino
Meolo
Musile di Piave
San Donà di Piave
Ponte di Piave
Noventa di Piave
Ceggia
Caorle
Portogruaro
Pordenone
Conegliano
Oderzo
Motta di Livenza
Oderzo
Via Terraglio
Via Castellana
Via Feltrina
Via Postumia
Via Noalese
Via Miranese
Via Orsaretta
Via Gatta
Via Ronchetta
Via Cappelletta
Via Cavin Morto
Via Ghebo
Via Nuova
Via Gaetana
Via Fiorentina
Via Ca' Rossa
Via Ca' Zorzi
Via Ca' Nuova
Via Ca' Bianca
Via Ca' Rizzi
Via Ca' Rizzi
Via Ca' Rizzi

Livello di ricezione del servizio DAB PLUS con protezione Equal 4A sul canale CH 12 C (mux "AERANTICORALLO2") irradiato dall'impianto di BOLOGNA Colle Barbiano con una potenza di 200 W



Bologna
Casalecchio di Reno
San Lazzaro di Savena
Zola Predosa
Monte San Pietro
Sasso Marconi
Pianoro
Castel Maggiore
Calderara di Reno
Granarolo dell'Emilia
Budrio
Castenaso
Ozzano dell'Emilia
Monteveglio
Pontecchio
Rastignano
Parco Dei Gessi Bolognesi
Via Emilia
Via Nazionale Porrettana
Via Toscana
Via Bazzanese
Via Persicetana Vecchia
Via Saliceto
Via Marconi
Via Fiesso
Via Bargello
Via Matteotti
Via Fossa
Via Fratelli Cervi
Via Canale
Via Ronzani
Via Riale
Via Fossa
Via Fossa
Via Fossa

Qualità soggettiva e mappe

Qualità percepita per il servizio DAB PLUS EQ 3A dall'impianto di VENEZIA Campalto (mux "AERANTICORALLO1") con ricevitore "BLINK della REVO" e antenna esterna

Figura 16
- qualità buona
- qualità accettabile
- non ricevibile

Figura 17
Dettaglio
Venezia –Mestre
- qualità buona
- qualità accettabile
- non ricevibile

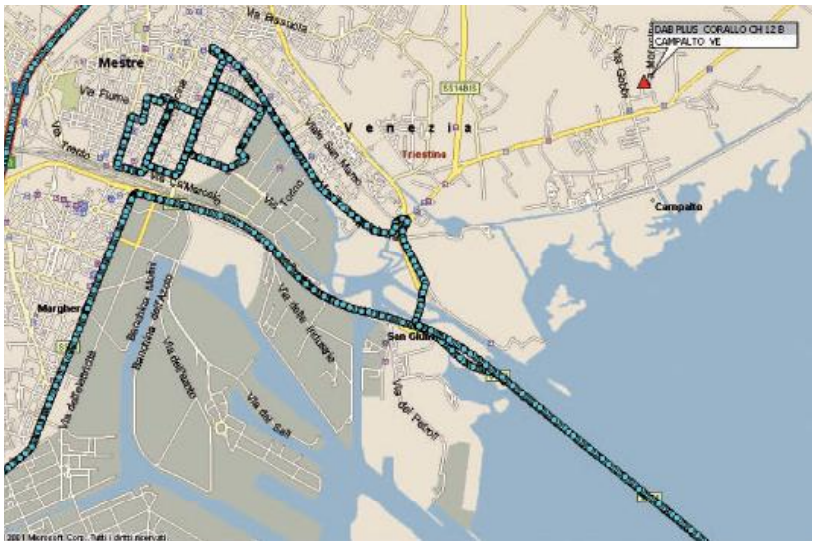


Figura 18
Dettaglio Mestre
- qualità buona
- qualità accettabile
- non ricevibile

Qualità percepita per il servizio DAB PLUS EQ 3A dall'impianto di VENEZIA Campalto (mux "AERANTICORALLO1") con ricevitore "IRIVER B20" in automobile

Figura 19
Area di copertura complessiva
- qualità buona
- qualità accettabile
- non ricevibile

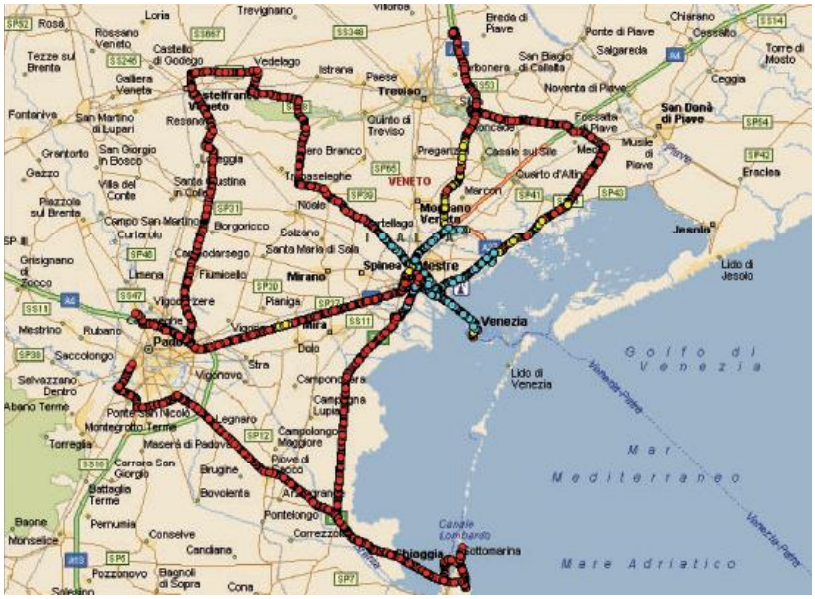


Figura 20
Dettaglio Venezia –Mestre
- qualità buona
- qualità accettabile
- non ricevibile

Misure preliminari per il servizio DAB PLUS EQ 4A dall'impianto di BOLOGNA Colle Barbiano (mux "AERANTICORALLO2") con ricevitore "BLINK della REVO" e antenna esterna - qualità soggettiva

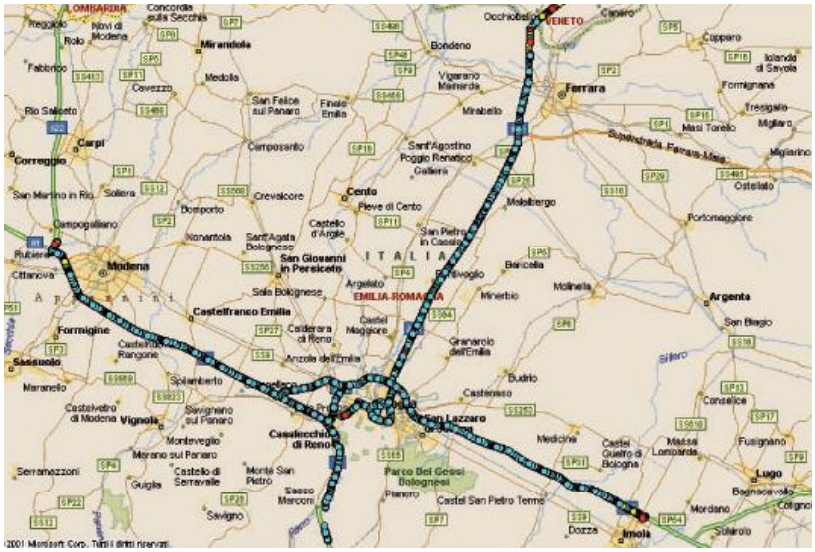
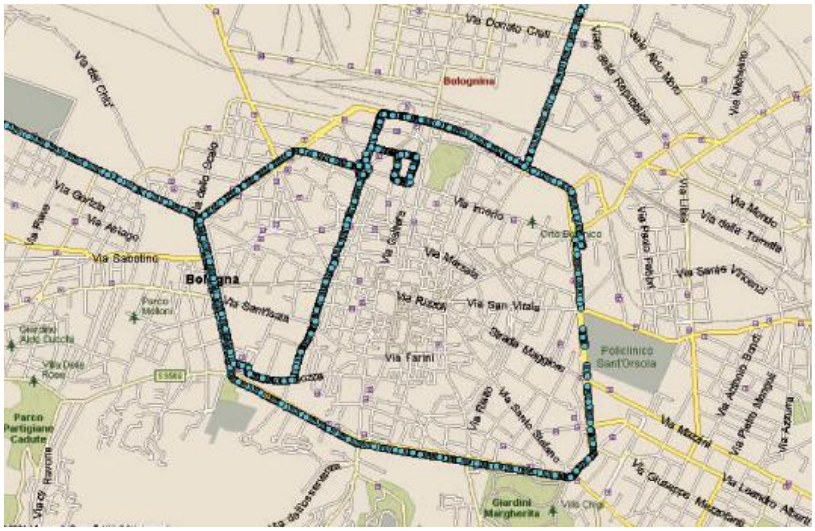


Figura 21
Area di copertura complessiva
- qualità buona
- qualità accettabile
- non ricevibile

Figura 22
Dettaglio tangenziale Bologna
- qualità buona
- qualità accettabile
- non ricevibile

Figura 23
Dettaglio
centro storico Bologna
qualità buona
qualità accettabile
non ricevibile


Via Dorato Crist
Via dei Chiari
Bolognina
Via Aldo Moro
Via Marconi
Via della Ronzatica
Via Lidia
Via Mondo
Via delle Tomelle
Via Saragozza
Via Irnerio
Via Gioberti
Via Marsala
Via Ruzzoli
Via San Vitale
Via Farini
Via Santo Stefano
Via Massarenti
Via Azzurra
Via Leandro Alberti
Via Giuseppe Mazzini
Via Antonio Banci
Via Pietro Maroncelli
Via Zamboni
Via Aldo Cucchi
Via Dalle Rose
Via Ranzani
Via Sanzanino
Via Santa Chiara
Via Aldrovandi
Via Serlio
Via Saragozza
Via Mazzini
Via Cesare Battisti
Via Ugo Bassi
Via Rizzoli
Via Indipendenza
Via Ugo Bassi
Via Rizzoli
Via Indipendenza
Via Ugo Bassi
Via Rizzoli
Via Indipendenza

Diversi documenti riportano valori di guadagno utili a caratterizzare queste antenne:

Guadagni di antenna per differenti bande di frequenza[8]

Tipo di antenna	Guadagno relativo al dipolo elementare[dBd]	
	Banda III	Banda L
antenna integrata	-17	-4
antenna telescopica	-13	-1
antenna esterna	-2.2	0

Guadagni di antenna per differenti bande di frequenza

Guadagno relativo al dipolo elementare [dBd]		Documento di riferimento
Banda III	Banda L	
-7	da -3.5 a 0.7	ETSI TR 101 758 (include perdita di cavo)
-2.2		EBU BPN-003
-2		ITU RRC-06
leggermente minore di un dipolo		ITU-R BS.1660
da -8 a -5		Wayne Dickinson, BTC Australia P/L - "T-DAB Reception for mobile and indoor"

Guadagni di antenna[9]

Guadagno relativo al dipolo elementare [dBd]	
Banda III	da -10 a -13

In questo documento verranno utilizzati i seguenti valori per le tre classi di ricezione:

Valori di guadagni di antenna per differenti bande di frequenza utilizzati in questo documento espressi in dBd

	Guadagno relativo al dipolo elementare [dBd]		Classi di ricezione
	Banda III	Banda L	
antenna integrata	-17	-4	A.I,B.I,D.I
antenna telescopica	-8	-1	A.T,B.T,D.T
antenna esterna	-2.2	0	C.E

8 EBU – TECH 3317: "Planning parameters for hand held reception".

9 Simon Mason, NTL broadcast: "Indoor reception of DAB – consequences for planning and implementation" – EBU Technical Review, July 2004.

Valori di guadagni di antenna per differenti bande di frequenza utilizzati in questo documento espressi in dBi

	Guadagno relativo ad una antenna isotropa [dBi]		Classi di ricezione
	Banda III	Banda L	
antenna integrata	-14.9	-1.9	A.I,B.I,D.I
antenna telescopica	-5.9	1.1	A.T,B.T,D.T
antenna esterna	-0.1	2.1	C.E

3.4.2.2 Assorbimento/riflessione del corpo umano

Nelle condizioni di utilizzo in cui il terminale viene posto vicino al corpo umano (ricezioni in classe x.I), da esperimenti effettuati[10],risulta che un margine di 5 dB in banda III è da considerarsi necessario nel calcolo dei valori di copertura a causa di assorbimenti e riflessioni causate dalla vicinanza del corpo umano all'antenna di ricezione.

3.4.2.3 Height Loss

Il parametro di Height Loss può essere ricavato, oltre che da campagne di misura, anche con procedimenti basati su formulazioni empiriche riportate nella Raccomandazione ITU-R P.1546-1[11]. La Height Loss (HL), viene ricavata seguendo due distinti procedimenti a seconda che l'ambiente di riferimento sia rurale nel primo caso, oppure suburbano, urbano, o densamente urbanizzato. Per questi ultimi tre casi la Raccomandazione ITU-R P.1546-1 suggerisce di utilizzare come altezze di riferimento del suolo circostante, rispettivamente le quote di 10 m, 20 m, e 30 m; quote identificate come quelle alle quali è lecito supporre che in quella determinata condizione ambientale, il campo elettrico si propaghi in condizioni di spazio libero. Di seguito vengono indicati i procedimenti per il calcolo di questo parametro dove si è assunta come altezza dell'antenna ricevente una quota di 1.5 m dal suolo.

In ambienti suburbani, urbani o densamente urbanizzati, la Height Loss (HL) è calcolata con la formula seguente:

$$HL = J(\nu) - 6.03 \quad [dB]$$

dove:

$$J(\nu) = \left[6.9 + 20Log_{10}\left(\sqrt{(\nu - 0.1)^2 + 1} + \nu - 0.1\right)\right]$$

$$\nu = \mathrm{K_{nu}}\sqrt{\mathrm{h_{diff}} \cdot \theta_{\mathrm{clut}}}$$

$$\theta_{clutt} = \arctan\left(\frac{h_{diff}}{27}\right)$$

$$K_{nu} = 0.0108\sqrt{f\ [MHz]}$$

$$h_{diff} = R' - h_{Rx}$$

10 Roel Schiphorst: "A T-DAB field trial using a low-mast Infrastructure" - Signals and Systems Group (SaS), Department of Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science (EEMCS), University of Twente - ISBN: 90-365-2424-5

11 Recommendation ITU-R P.1546-1: "Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz".

Mentre in ambienti rurali viene utilizzata la seguente formula:

$$HL = -K_{h2} Log_{10}\left(\frac{h_{Rx}}{R'}\right) \quad [dB]$$

dove:

$$K_{h2} = 3.2 + 6.2 Log_{10}(f)$$

con:

$$R' = \frac{1000 \cdot d \cdot R - 15 h_{Tx}}{1000 \cdot d - 15}$$

f = frequenza di trasmissione espressa in MHz;
d = distanza dal trasmettitore espressa in km;
R = altezza di riferimento del suolo circostante l'antenna ricevente (R=10 ambienti suburbani, R=20 in ambienti urbani or R=30 in ambienti densamente urbanizzati);
h_{Tx} = altezza dell'antenna trasmittente espressa in metri;
h_{Rx} = altezza dell'antenna ricevente espressa in metri.

Si noti come la HL dipenda anche dalla distanza dal trasmettitore attraverso il parametro R. Riferendoci alle condizioni ambientali relative alla campagna di misura descritta precedentemente nel paragrafo 3.3.1 "Heigt Loss", nella tabella sottostante si riportano i valori di HL derivati dalle formule precedentemente riportate, relative ai due siti di misura della Sede RAI di Bologna e al Centro Ricerche ARCES dell'Università di Bologna posti rispettivamente alle distanze di 5.4 km e 3.2 km dall'antenna di trasmissione e, come specificato già nel paragrafo 3.3.1 "Heigt Loss", localizzati in ambienti definibili rispettivamente come suburbano e urbano.

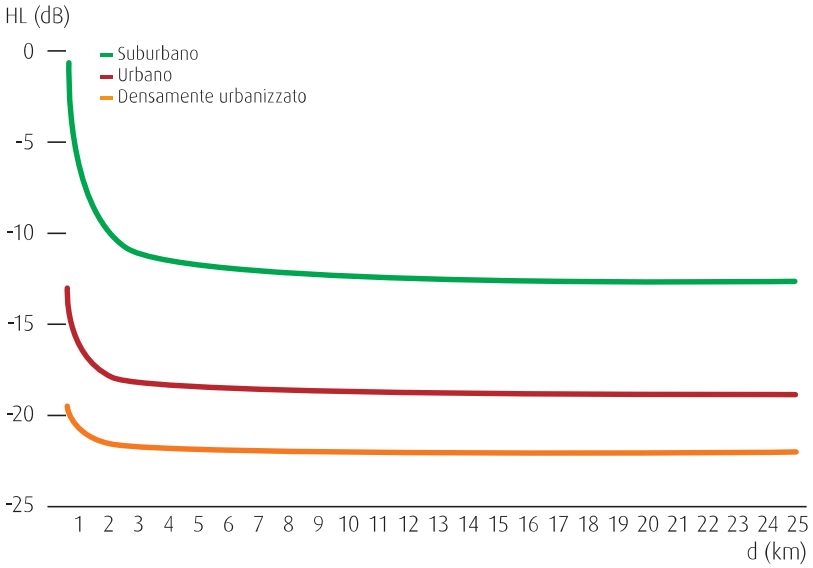
Valori di Height Loss calcolati con le formule ITU-R per la campagna di misura discussa nel paragrafo 3.3.1 "Heigt Loss"

Sito	Altezza di riferimento per il calcolo di campo elettrico [m]	Height Loss a 1.5 m [dB]
Centro RAI Bologna	10	11.9
Centro Ricerche ARCES	20	18.3

Come si può notare confrontando i valori sopra riportati con quelli derivati dalle misure effettuate e descritte nel paragrafo 3.3.1 "Heigt Loss", le stime effettuate con il metodo ITU-R si accordano in modo estremamente soddisfacente con i dati sperimentali derivati dalla campagna di misura.

Il grafico seguente riporta i valori di HL ricavati dalle formule dell'ITU-R rappresentati in funzione della distanza tra il sito di trasmissione e l'antenna di ricezione supposta ad una altezza di 1.5 m s.l.s. per le diverse tipologie di ambiente.

Figura 24



La dipendenza dall'altezza dell'antenna trasmittente è trascurabile e si nota che se prendiamo come valore di HL il valore a cui tendono asintoticamente le curve per grandi distanze, l'errore per eccesso che si commette quando si stimano valori di Height Loss in ambienti posti via via più vicino al sito di trasmissione, cresce per ambienti rispettivamente densamente urbanizzati, urbani, suburbani. Di conseguenza, volendo generalizzare questo parametro per ogni diverso ambiente di ricezione, è possibile assumere come valore quello a cui tendono le curve a grandi distanze in ambienti urbani e densamente urbanizzati, mentre in ambienti suburbani il valore più corretto sarà il valore calcolato a 3 km di distanza dal sito di trasmissione.
In questo documento saranno pertanto utilizzati i seguenti valori di Height Loss.

Valori di Height Loss utilizzati in questo documento

Ambiente	Altezza di riferimento per il calcolo di campo elettrico [m]	Height Loss a 1.5 m [dB]
Densamente Urbanizzato	30	22
Urbano	20	19
Suburbano	10	11

3.4.2.4 Variabilità outdoor

Il campo elettrico misurato è soggetto a variazioni locali di intensità dovuti ad effetti di shadowing da ostacoli, riflessioni e rifrazioni. Si possono suddividere queste variazioni di segnale in due tipologie principali, le variazioni su grande scala e su piccola scala. Le prime sono misurate su aree con dimensioni che possono andare dai 10 m ai 100 m o più e sono causate da shadowing provocato da ostacoli di grandi dimensioni rispetto alla lunghezza d'onda. Le seconde sono misurate su dimensioni dell'ordine della lunghezza d'onda del segnale in esame e sono causate dal fenomeno della propagazione a cammini multipli.

Nell'ambito delle classi di ricezioni DAB descritte nel presente documento (vedi paragrafo 3 "I primi risultati delle sperimentazioni), è chiaro come le variazioni del segnale su piccola scala possono essere trascurate in quanto le dimensioni lineari entro le quali queste variazioni hanno luogo sono dell'ordine di 1.6 m, dimensioni entro le quali si suppone che il ricevitore venga piazzato nella posizione di migliore ricezione. Per quanto riguarda le variazioni del segnale su grande scala, queste vengono considerate nel link budget introducendo un opportuno fattore di correzione chiamato Location Correction Factor (LC) che tiene conto della particolare distribuzione statistica a cui queste variazioni sono soggette. Questo parametro è calcolato come il prodotto tra il Distribution Factor di una particolare distribuzione statistica valutato per la percentuale di copertura che si vuole ottenere, e la deviazione standard del segnale.

La raccomandazione ITU-R[12] definisce la distribuzione statistica dei segnali digitali in questa banda di frequenze in ambienti outdoor, come una distribuzione lognormale con deviazione standard pari a 5.5 dB.

Dalla campagna di misura descritta nel paragrafo 3.3.3. è emerso un valore di deviazione standard di 2.6. In via cautelativa e in attesa di ulteriori indagini, in questo documento si utilizzerà il valore più pessimistico di 5.5 dB. Il valore 2.6 ottenuto sperimentalmente trova giustificazione come valore rappresentativo delle variazioni del segnale su piccola scala, causate dalla presenza di cammini multipli e non dal fenomeno di shadowing.

Nella successiva tabella sono riportati i valori del Location Correction Factor relativi alla variazione outdoor a grande scala del segnale DAB considerato in questo documento (assunto come distribuzione lognormale con Distribution Factor definito nel paragrafo 3.3.2), per le diverse percentuali di copertura richieste.

12 Recommendation ITU-R P.1546-1: "Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz".

Location Correction Factor del segnale DAB in Banda III per le diverse percentuali di copertura richieste

Location Correction Factor			
Percentuale di copertura	Deviazione Standard	Distribution Factor	Location Correction Factor
70 %	5.5 dB	0.52443	2.9 dB
90 %	5.5 dB	1.18147	6.5 dB
95 %	5.5 dB	1.64476	9.0 dB
99 %	5.5 dB	2.32692	12.8 dB

3.4.2.5 Building Penetration Loss

Si riportano di seguito le informazioni e le procedure relative al parametro di Building Penetration Loss (BPL).
Svariate campagne di misura sono state eseguite in differenti paesi valutando differenti tipologie di costruzione degli edifici, per cui è stato riscontrata una grande variabilità di valori di BPL.
Molti studi hanno evidenziato un andamento lognormale della BPL con valori che vanno da 7 dB a 15 dB. Nelle tabelle seguenti sono riassunti i risultati di alcune campagne di misura effettuate a Londra e Sydney.

Valore medio e deviazione standard della BPL in Banda III all'interno di alcuni edifici di Londra

Edificio	Valor medio di BPL [dB]	Deviazione Standard [dB]
Classic building	14.8	5.5
"Quadrant House"	13.6	5.1
"Summit House"	11.2	2.8
Newman Street	9.0	3.3
Cannon Street	16.4	5.0

Valore medio e deviazione standard della BPL in Banda III all'interno di alcuni edifici di Sydney

Edificio	Valor medio di BPL [dB]	Deviazione Standard [dB]
Abitazioni in ambienti suburbani	5.0	4.4
Appartamenti ed uffici in ambienti urbani	11.0	4.4

Altre misurazioni tra cui quelle rilevate da Roel Schiphorst[13] e quella descritta nel paragrafo 3 "I primi risultati della sperimentazione" per quel che riguarda le sole stanze adiacenti al muro esterno, hanno evidenziato un andamento statistico della distribuzione del BPL più simile ad una Distribuzione ai Valori Estremi di tipo I conosciuta anche come distribuzione log-Weibull.
Per quanto riguarda la penetration loss in ambienti più interni agli edifici,

13 Roel Schiphorst: "A T-DAB field trial using a low-mast Infrastructure" - Signals and Systems Group (SaS), Department of Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science (EEMCS), University of Twente - ISBN: 90-365-2424-5.

l'unico riferimento appare essere la campagna di misura effettuata nel corso di questa collaborazione e descritta nel paragrafo 3 "I primi risultati della sperimentazione". In tal caso, l'andamento statistico di questo parametro torna ad essere quello lognormale.
Si riportano qui di seguito i valori di BPL utilizzati per ottenere i valori minimi di campo nel presente documento riportando i valori ottenuti sperimentalmente relativi alla perdita negli ambienti adiacenti ad un muro esterno come descritto nel paragrafo 3 "I primi risultati della sperimentazione".

BPL negli ambienti adiacenti ad una parete esterna (il valore tra parentesi quadre è l'intervallo di confidenza del 99%)				
Canale	Media BPL [dB]	Dev. Standard BPL [dB]	BPL 70% [dB]	BPL 95% [dB]
Banda III	5.8	6.1	8 [±1.8]	17.2 [±3.3]

Da quanto emerso dalla campagna di misura descritta nel paragrafo 3 "I primi risultati della sperimentazione", si può notare che, nel caso si voglia garantire la copertura indoor, si rende necessario un incremento della potenza trasmessa nel caso peggiore pari a 10 e a 16 dB nel caso di copertura al 70% e 95%, rispettivamente.

3.4.2.6 Composizione di effetti di variabilità outdoor e indoor

Gli effetti di variabilità indoor e outdoor si suppongono incorrelati tra loro; pertanto, le distribuzioni statistiche dei due effetti devono essere combinate tra loro al fine di stimare il campo richiesto complessivamente per una certa percentuale di copertura. Il procedimento seguito in questo documento è quello di stimare ogni singolo contributo per la percentuale di copertura che si richiede e di sommare quindi i singoli contributi nel link budget. Questo procedimento è cautelativo in quanto stima il valore finale di campo richiesto per una data percentuale di copertura supponendo che per entrambi i fenomeni si verifichi il caso peggiore.
Si noti come queste considerazioni valgano solo nel caso di classi di ricezione B.x.

3.4.2.7 Vehicle entry loss

Per la classe di ricezione D, è necessario inserire nel link budget un parametro che tenga conto della perdita che il segnale subisce penetrando all'interno di autoveicoli. Nel presente documento verrà utilizzato il valore di 7 dB come indicato in ETSI-TR 102 377 V1.2.1 "Digital Video Broadcasting (DVB); DVB-H Implementation Guidelines".

3.4.3 Link Budget

Per il calcolo dei livelli minimi di segnale necessari al fine di garantire la corretta ricezione, verranno usati i seguenti dati iniziali di larghezza di banda (tipica di un sistema DAB), cifra di rumore del dispositivo e C/N minimo relativo al massimo tasso di errore per bit sopportabile dal sistema per garantire una corretta ricezione audio.
I livelli minimi di segnale che emergono dal link budget, così come specificato nella raccomandazione ITU-R P1546 di riferimento, si intendono garantiti nel 50% del tempo ed all'altezza corrispondente alla linea di vista per ogni determinato ambiente (vedi paragrafo 3.4.2.3 "Height Loss").

Parametri utilizzati nel calcolo del link budget	
Banda di rumore equivalente B	1.536 *10^6 [Hz]
Figura di rumore del ricevitore F	7 [dB]
C/N minimo al ricevitore	13.5 [dB]

Si noti che il valore di C/N = 13.5 dB è da considerarsi un riferimento riportato in letteratura e ritenuto valido per DAB/DAB+(3A)/T-DMB. Una caratterizzazione più accurata per vari ambienti di propagazione è possibile tramite procedure di simulazione numerica al calcolatore che richiedono la rappresentazione della catena di trasmissione DAB/DAB+/T-DMB, del canale e della catena di ricezione.

Nel calcolo del link budget sono utilizzate le seguenti equivalenze:

$$P_n = F + 10Log(k \cdot T_0 \cdot B) \text{ = potenza di rumore al ricevitore } [dBW] \quad (9)$$

con

$$k = 1{,}38 \times 10^{-23}\ Joule/K$$

$$T_0 = 290\ K$$

$$P_{s\min} = P_n + C/N \text{ = minimum signal input power at the receiver } [dBW] \quad (10)$$

$$A_a = G_{dBi} + 10Log\left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) \text{ = apertura efficace di antenna } [dBm^2] \quad (11)$$

con

G_{dBi} = guadagno di antenna relativo all'antenna isotropa (vedi cap. 5.2, tab. 5)

$$\Phi_{\min} = P_{s\min} - A_a \text{ = densità di potenza minima di segnale al ricevitore } \left[dbW/m^2\right] \quad (12)$$

(13)

$$\Phi_{med} = \Phi_{\min} + \sum parameters = \text{densità di pot. minima media al ricevitore} \left[dbW/m^2 \right]$$

(14)

$$EFS_{\min} = P_{s\min} + 10Log(R) + 20Log(K) = \text{intensità minima di campo} \left[dbV/m \right]$$

con

R = impedenza di antenna = 50 $[\Omega]$

K = fattore di antenna = $\sqrt{\dfrac{4\pi \cdot \eta_0}{\lambda^2 \cdot G \cdot R}}$ $\left[1/m \right]$

Riscrivendo l'eq. (14) in altra forma e cambiando unità di misura si ottiene

$$EFS_{\min} = \Phi_{\min} + 10Log(\eta_0) + 120 = \Phi_{\min} + 145.8 \left[db\mu V/m \right] \quad (15)$$

e

$$EFS_{med} = \Phi_{med} + 10Log(\eta_0) + 120 = \Phi_{med} + 145.8 \left[db\mu V/m \right] \quad (16)$$

con $\eta_0 = 377$ $[\Omega]$ impedenza di spazio libero

Nelle tabelle seguenti è rappresentato il dettaglio del calcolo del link budget per le diverse classi di ricezione.

Livelli di campo per ricezioni in classe A.I				
Parametri di Link Budget	Unità di Misura	Banda III		
		densamente urbanizzato	urbano	suburbano
Banda equivalente di rumore B	[Hz]		1,536E+06	
Figura di rumore del ricevitore F	[dB]		7,0	
C/N richiesto	[dB]		13,5	
Potenza di rumore all'ingresso del ricevitore (9)	[dBW]		-135,1	
Potenza minima di segnale d'ingresso (10)	[dBW]		-121,6	
Guadagno d'antenna	[dBi]		-14,9	
Apertura efficace d'antenna (11)	[dBm²]		-22,4	
Densità di potenza minima (12)	[dBW/m²]		-99,2	
Intensità di campo equivalente minima (15)	[dBµV/m]		46,5	
Height Loss	[dB]	22,0	19,0	11,0
Perdita da assorbimento/riflessione sul corpo	[dB]		5,0	
Location probability			70%	
Deviazione standard per il segnale ricevuto	[dB]	5,5	5,5	5,5
Location Correction Factor	[dB]	2,9	2,9	2,9
Densità di potenza media minima (13)	[dBW/m²]	-69,4	-72,4	-80,4
Intensità di campo media minima (16)	[dBµV/m]	76,4	73,4	65,4
Location probability			95%	
Deviazione standard per il segnale ricevuto	[dB]	5,5	5,5	5,5
Location Correction Factor	[dB]	9,0	9,0	9,0
Densità di potenza media minima (13)	[dBW/m²]	-63,2	-66,2	-74,2
Intensità di campo media minima (16)	[dBµV/m]	82,6	79,6	71,6

Livelli di campo per ricezioni in classe A.T:				
Parametri di Link Budget	Unità di Misura	Banda III		
		densamente urbanizzato	urbano	suburbano
Banda equivalente di rumore B	[Hz]		1,536E+06	
Figura di rumore del ricevitore F	[dB]		7,0	
C/N richiesto	[dB]		13,5	
Potenza di rumore all'ingresso del ricevitore (9)	[dBW]		-135,1	
Potenza minima di segnale d'ingresso (10)	[dBW]		-121,6	
Guadagno d'antenna	[dBi]		-5,9	
Apertura efficace d'antenna (11)	[dBm²]		-13,4	
Densità di potenza minima (12)	[dBW/m²]		-108,2	
Intensità di campo equivalente minima (15)	[dBµV/m]		37,5	
Height Loss	[dB]	22,0	19,0	11,0
Perdita da assorbimento/riflessione sul corpo	[dB]		0,0	
Location probability			70%	
Deviazione standard per il segnale ricevuto	[dB]	5,5	5,5	5,5
Location Correction Factor	[dB]	2,9	2,9	2,9
Densità di potenza media minima (13)	[dBW/m²]	-83,4	-86,4	-94,4
Intensità di campo media minima (16)	[dBµV/m]	62,4	59,4	51,4
Location probability			95%	
Deviazione standard per il segnale ricevuto	[dB]	5,5	5,5	5,5
Location Correction Factor	[dB]	9,0	9,0	9,0
Densità di potenza media minima (13)	[dBW/m²]	-77,2	-80,2	-88,2
Intensità di campo media minima (16)	[dBµV/m]	68,6	65,6	57,6

Livelli di campo per ricezioni in classe B.I:				
Parametri di Link Budget	Unità di Misura	Banda III		
		densamente urbanizzato	urbano	suburbano
Banda equivalente di rumore B	[Hz]		1.536E+06	
Figura di rumore del ricevitore F	[dB]		7,0	
C/N richiesto	[dB]		13,5	
Potenza di rumore all'ingresso del ricevitore (9)	[dBW]		-135,1	
Potenza minima di segnale d'ingresso (10)	[dBW]		-121,6	
Guadagno d'antenna	[dBi]		-14,9	
Apertura efficace d'antenna (11)	[dBm²]		-22,4	
Densità di potenza minima (12)	[dBW/m²]		-99,2	
Intensità di campo equivalente minima (15)	[dBµV/m]		46,5	
Height Loss	[dB]	22,0	19,0	11,0
Perdita da assorbimento/riflessione sul corpo	[dB]		5,0	
Building Penetration Loss	[dB]		5,8	
Deviazione standard della Building Penetration Loss	[dB]		6,1	
Location probability			70% (77%)	
Location Correction Factor per Building Penetration Loss	[dB]		2,2	
Deviazione standard per il segnale ricevuto	[dB]	5,5	5,5	5,5
Location Correction Factor per il segnale ricevuto	[dB]	2,9	2,9	2,9
Densità di potenza media minima (13)	[dBW/m²]	-61,4	-64,4	-72,4
Intensità di campo media minima (16)	[dBµV/m]	84,4	81,4	73,4
Location probability			95% (99%)	
Location correction factor per Building Penetration Loss	[dB]		11,4	
Deviazione standard per il segnale ricevuto	[dB]	5,5	5,5	5,5
Location Correction Factor per il segnale ricevuto	[dB]	9,0	9,0	9,0
Densità di potenza media minima (13)	[dBW/m²]	-46,0	-49,0	-57,0
Intensità di campo media minima (16)	[dBµV/m]	99,7	96,7	88,7

Livelli di campo per ricezioni in classe B.T:				
Parametri di Link Budget	Unità di Misura	Banda III		
		densamente urbanizzato	urbano	suburbano
Banda equivalente di rumore B	[Hz]		1.536E+06	
Figura di rumore del ricevitore F	[dB]		7,0	
C/N richiesto	[dB]		13,5	
Potenza di rumore all'ingresso del ricevitore (9)	[dBW]		-135,1	
Potenza minima di segnale d'ingresso (10)	[dBW]		-121,6	
Guadagno d'antenna	[dBi]		-5,9	
Apertura efficace d'antenna (11)	[dBm²]		-13,4	
Densità di potenza minima (12)	[dBW/m²]		-108,2	
Intensità di campo equivalente minima (15)	[dBµV/m]		37,5	
Height Loss	[dB]	22,0	19,0	11,0
Perdita da assorbimento/riflessione sul corpo	[dB]		0,0	
Building Penetration Loss	[dB]		5,8	
Deviazione standard della Building Penetration Loss	[dB]		6,1	
Location probability			70% (77%)	
Location correction factor per Building Penetration Loss	[dB]			
Deviazione standard per il segnale ricevuto	[dB]	5,5	5,5	5,5
Location Correction Factor per il segnale ricevuto	[dB]	2,9	2,9	2,9
Densità di potenza media minima (13)	[dBW/m²]	-75,4	-78,4	-86,4
Intensità di campo media minima (16)	[dBµV/m]	70,4	67,4	59,4
Location probability			95% (99%)	
Location correction factor per Building Penetration Loss	[dB]		11,4	
Deviazione standard per il segnale ricevuto	[dB]	5,5	5,5	5,5
Location Correction Factor per il segnale ricevuto	[dB]	9,0	9,0	9,0
Densità di potenza media minima (13)	[dBW/m²]	-60,0	-63,0	-71,0
Intensità di campo media minima (16)	[dBµV/m]	85,7	82,7	74,7

Livelli di campo per ricezioni in classe C.E:				
Parametri di Link Budget	Unità di Misura	Banda III		
		densamente urbanizzato	urbano	suburbano
Banda equivalente di rumore B	[Hz]		1.536E+06	
Figura di rumore del ricevitore F	[dB]		7,0	
C/N richiesto	[dB]		13,5	
Potenza di rumore all'ingresso del ricevitore (9)	[dBW]		-135,1	
Potenza minima di segnale d'ingresso (10)	[dBW]		-121,6	
Guadagno d'antenna	[dBi]		-0,1	
Apertura efficace d'antenna (11)	[dBm²]		-7,6	
Densità di potenza minima (12)	[dBW/m²]		-114,0	
Intensità di campo equivalente minima (15)	[dBµV/m]		31,7	
Height Loss	[dB]	22,0	19,0	11,0
Perdita da assorbimento/riflessione sul corpo	[dB]		0,0	
Location probability			90%	
Deviazione standard per il segnale ricevuto	[dB]	5,5	5,5	5,5
Location Correction Factor	[dB]	6,5	6,5	6,5
Densità di potenza media minima (13)	[dBW/m²]	-85,5	-88,5	-96,5
Intensità di campo media minima (16)	[dBµV/m]	60,2	57,2	49,2
Location probability			99%	
Deviazione standard per il segnale ricevuto	[dB]	5,5	5,5	5,5
Location Correction Factor	[dB]	12,8	12,8	12,8
Densità di potenza media minima (13)	[dBW/m²]	-79,2	-82,2	-90,2
Intensità di campo media minima (16)	[dBµV/m]	66,5	63,5	55,5

Livelli di campo per ricezioni in classe D.I:				
Parametri di Link Budget	Unità di Misura	Banda III		
		densamente urbanizzato	urbano	suburbano
Banda equivalente di rumore B	[Hz]		1.536E+06	
Figura di rumore del ricevitore F	[dB]		7,0	
C/N richiesto	[dB]		13,5	
Potenza di rumore all'ingresso del ricevitore (9)	[dBW]		-135,1	
Potenza minima di segnale d'ingresso (10)	[dBW]		-121,6	
Guadagno d'antenna	[dBi]		-14,9	
Apertura efficace d'antenna (11)	[dBm²]		-22,4	
Densità di potenza minima (12)	[dBW/m²]		-99,2	
Intensità di campo equivalente minima (15)	[dBµV/m]		46,5	
Height Loss	[dB]	22,0	19,0	11,0
Perdita da assorbimento/riflessione sul corpo	[dB]		5,0	
Vehicle Penetration Loss	[dB]		7,0	
Location probability			90%	
Deviazione standard per il segnale ricevuto	[dB]	5,5	5,5	5,5
Location Correction Factor	[dB]	6,5	6,5	6,5
Densità di potenza media minima (13)	[dBW/m²]	-58,7	-61,7	-69,7
Intensità di campo media minima (16)	[dBµV/m]	87,0	84,0	76,0
Location probability			99%	
Deviazione standard per il segnale ricevuto	[dB]	5,5	5,5	5,5
Location Correction Factor	[dB]	12,8	12,8	12,8
Densità di potenza media minima (13)	[dBW/m²]	-52,4	-55,4	-63,4
Intensità di campo media minima (16)	[dBµV/m]	93,3	90,3	82,3

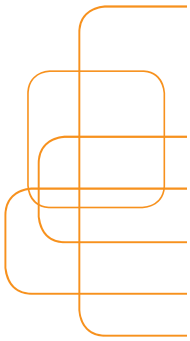
Livelli di campo per ricezioni in classe D.T:				
Parametri di Link Budget	Unità di Misura	Banda III		
		densamente urbanizzato	urbano	suburbano
Banda equivalente di rumore B	[Hz]		1.536E+06	
Figura di rumore del ricevitore F	[dB]		7,0	
C/N richiesto	[dB]		13,5	
Potenza di rumore all'ingresso del ricevitore (9)	[dBW]		-135,1	
Potenza minima di segnale d'ingresso (10)	[dBW]		-121,6	
Guadagno d'antenna	[dBi]		-5,9	
Apertura efficace d'antenna (11)	[dBm²]		-13,4	
Densità di potenza minima (12)	[dBW/m²]		-108,2	
Intensità di campo equivalente minima (15)	[dBµV/m]		37,5	
Height Loss	[dB]	22,0	19,0	11,0
Perdita da assorbimento/riflessione sul corpo	[dB]		0,0	
Vehicle Penetration Loss	[dB]		7,0	
Location probability			90%	
Deviazione standard per il segnale ricevuto	[dB]	5,5	5,5	5,5
Location Correction Factor	[dB]	6,5	6,5	6,5
Densità di potenza media minima (13)	[dBW/m²]	-72,7	-75,7	-83,7
Intensità di campo media minima (16)	[dBµV/m]	73,0	70,0	62,0
Location probability			99%	
Deviazione standard per il segnale ricevuto	[dB]	5,5	5,5	5,5
Location Correction Factor	[dB]	12,8	12,8	12,8
Densità di potenza media minima (13)	[dBW/m²]	-66,4	-69,4	-77,4
Intensità di campo media minima (16)	[dBµV/m]	79,3	76,3	68,3

3.4.4 Tabella riassuntiva

Qui di seguito viene riportata una tabella riassuntiva dei soli valori di campo elettrico emersi dal link budget del precedente capitolo. In particolare, i valori sono stati ottenuti partendo da un C/N di 13.5 dB e cifra di rumore pari a 7 dB (vedi paragrafo 3.4.3 Link Budget) e utilizzando i dati derivati dalle campagne di misura.

		Ambiente							
		Suburbano		Urbano		Densamente urbanizzato			
		Accettabile	Buona	Accettabile	Buona	Accettabile	Buona		
Classe di Ricezione	A.I	65,4	71,6	73,4	79,6	76,4	82,6	Outdoor	Nomadica
	A.T	51,4	57,6	59,4	65,6	62,4	68,6		
	B.I	73,4	88,7	81,4	96,7	84,4	99,7	Indoor	
	B.T	59,4	74,7	67,4	82,7	70,4	85,7		
	C.E	49,2	55,5	57,2	63,5	60,2	66,5	Outdoor	Mobile
	D.I	76,0	82,3	84,0	90,3	87,0	93,3	Indoor	
	D.T	62,0	68,3	70,0	76,3	73,0	79,3		

3.5 Impatto sulla pianificazione



Il ruolo della pianificazione è quello di garantire un uso ordinato dello spettro disponibile nel rispetto del quadro interferenziale preesistente e degli accordi internazionali sottoscritti dall'Amministrazione italiana. L'attività di pianificazione implica pertanto l'imposizione di vincoli ed obiettivi di qualità alle attività di progettazione degli impianti di diffusione.

Nonostante la recente approvazione del calendario per il completo switch-off della tv analogica, è ragionevole supporre che, nella fase di avvio del mercato, la nuova tecnologia T-DAB+/T-DMB dovrà convivere in alcuni casi con le vecchie reti analogiche televisive garantendo la continuità di ricezione dei loro segnali.

L'attivazione dei blocchi T-DMB/T-DAB+ da Venezia Campalto e da Bologna Colle Barbiano è stata infatti possibile grazie all'individuazione di un giusto compromesso tra qualità di diffusione e compatibilizzazione con la realtà radioelettrica esistente.

Va peraltro considerato che lo standard T-DAB+/T-DMB potrebbe costituire, anche se in un futuro remoto, la naturale evoluzione delle attuali trasmissioni

radiofoniche in modulazione di frequenza. Anche in fase sperimentale deve essere quindi garantita una qualità quanto meno paragonabile a quella analogica, in termini di ricevibilità del segnale, a parità di postazione considerata.

La particolare urbanizzazione del territorio italiano ha reso necessario integrare le informazioni derivabili dalla letteratura con verifiche sperimentali che permettessero di caratterizzare in modo quanto più esaustivo, anche se ancora non completo, i parametri di pianificazione da adottare.

Si aggiunga inoltre che ad oggi i principali parametri di riferimento per la pianificazione della radio digitale si riferiscono essenzialmente al T-DAB mentre i parametri per il T-DMB e T-DAB+ sono in genere derivati a livello teorico con valori di riferimento in alcuni casi differenti tra loro.

Nel seguito verrà proposto un confronto tra la principale letteratura sull'argomento e la sperimentazione eseguita da Rai Way illustrando per ultimo l'impatto che i dati di sperimentazione hanno sulla pianificazione di un rete.

Modello di pianificazione utilizzato da Rai Way

A monte della progettazione degli impianti di diffusione, siano essi analogici o digitali, Rai Way utilizza un proprio software di simulazione denominato SIMPAR (Sistema Interattivo Modulare per la Pianificazione ed Analisi Radioelettrica).

SIMPAR è un sistema che permette la stima dei valori di C.E.M. in una area specifica nonché tutte le analisi radioelettriche necessarie per la progettazione di reti radio-televisive analogiche e digitali nelle bande VHF e UHF.

Esso è composto essenzialmente di tre componenti:

- un motore grafico che permette la visualizzazione di elementi vettoriali e raster;
- un motore di calcolo radioelettrico che contiene l'intera componente algoritmica relativa alle valutazioni di C.E.M.;
- un'interfaccia ad un database relazionale (Oracle) per l'immissione e la modifica dei parametri radioelettrici (Stazioni, Sistemi, Punti di verifica, Poligonali di servizio, Diagrammi di radiazione, etc.).

Le opzioni di calcolo sono molto varie e vanno dall'area di visibilità di una particolare stazione fino alla caratterizzazione della situazione interferenziale per una intera rete.

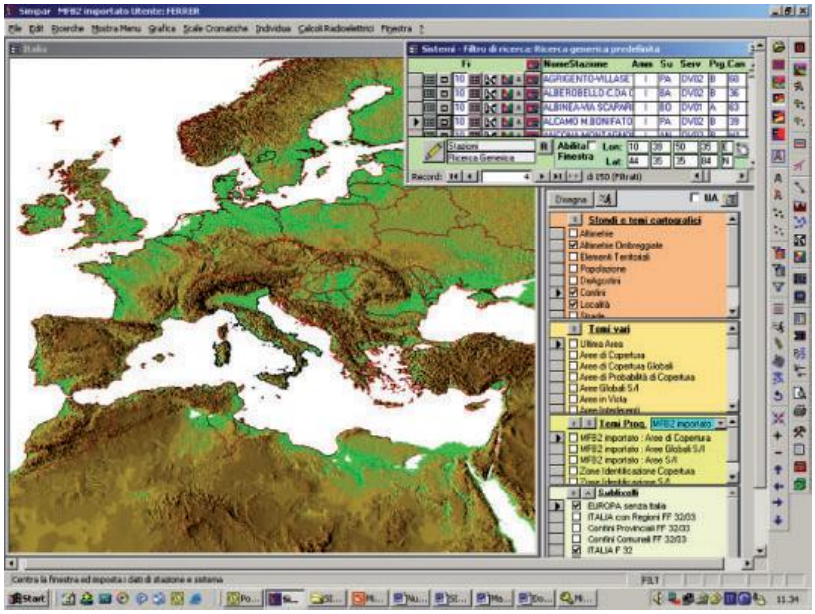


Figura 25
Immagine di una schermata di SIMPAR

I metodi di previsione di campo adottati sono sia di tipo statistico che deterministico, adottando una risoluzione dei pixel del DTM (Digital Terrain Model) utilizzabile che può variare da un minimo di circa 8 km x 8 km fino ad un massimo di circa 250 m x 250 m.

Le capacità di calcolo necessaria per valutare le eventuali problematiche che sorgessero sia a livello nazionale che internazionale può essere incrementata tramite l'uso di più computer in contemporanea che, operando in parallelo ed in modo asincrono, permettono di ridurre in modo drastico i tempi di calcolo.

Dal momento che i software di pianificazione utilizzati in ambito broadcast utilizzano come riferimento, per il calcolo del campo elettromagnetico, la quota di 10 m, è necessario introdurre, nella definizione dei valori minimi di C.E.M. a quote inferiori (dove la presenza di abitato influisce notevolmente sulla ricevibilità del segnale) degli opportuni correttivi.
Tali correttivi sono derivati in modo statistico e, di fatto, cercano di caratterizzare la riduzione di C.E.M. che si viene a determinare allorché il punto di ricezione viene spostato da un punto in cui si è in piena visibilità con il trasmettitore (quota convenzionalmente assunta a 10 m) ad un punto in cui la visibilità è oscurata parzialmente o totalmente dall'edificato circostante (tipicamente a 1,5 metri di altezza dal suolo).

L'osservazione precedente permette immediatamente di comprendere la difficoltà di riuscire a caratterizzare completamente l'area di servizio di un impianto allorché si consideri una ricezione che preveda che il trasmettitore non sia in vista con il ricevitore.

Pertanto, sebbene le osservazioni statistiche possano garantire una ragionevole confidenza nella definizione dei C.E.M. minimi, nel caso di ricezioni portatili (ed ancor più nel caso di ricezioni portatili indoor), una caratterizzazione affidabile dell'area di servizio di un impianto non può prescindere da una conoscenza accurata delle caratteristiche dell'edificato interessato dalla trasmissione (si pensi alla sostanziale differenza tra Venezia e Bologna).

Ciò si traduce nel fatto che, sebbene la pianificazione possa rispondere in modo quasi esaustivo alle esigenze di informazioni che sono necessarie per la progettazione di uno o più impianti atti a servire una determinata area, è necessario effettuare analisi puntuali perché la percentuale di ricezione sia conforme alle proprie esigenze.

Parametri tecnici di pianificazione

Il sistema di trasmissione numerica T-DAB+/T-DMB introduce una serie di aspetti innovativi nelle tecniche di pianificazione tradizionalmente adottate per una rete diffusiva analogica. Alcuni principali documenti di riferimento internazionali, che adottano parametri di pianificazione differenti (C/N, Height Loss, ecc.), sono:

- ITU-R Rec. BS. 1660-3
- ITU-R Rec. 1546
- ITU RRC-06 (Ginevra 2006)
- EBU –TECH 3317 (July 2007)

Una loro analisi, unitamente ai recenti risultati ottenuti dalla sperimentazione dell'emittente DRB Australia (29 gennaio 2008) permette di definire un range di valori di pianificazioni possibili.

Di seguito viene riportata una tabella di raffronto tra i valori di campo minimo a 10 m di altezza definiti dall'ITU, dall'EBU e dalla sperimentazione australiana per tre casi in particolare: Mobile Outdoor - qualità buona (Location Probability = 99%); Portatile indoor – qualità buona (PL=95%); Portatile indoor – qualità accettabile (PL=70%).

Parametri	EBU-TECH 3317 (dBµV/m)	ITU-R BS. 1660-3 (dBµV/m)	ITU RRC-06 (dBµV/m)	DRB Australia (dBµV/m)	Intervallo di pianificazione (dBµV/m)
Mobile outdoor (PL 99%)	61.5	58	60	63	Da 58 a 63
Portatile indoor (PL 70%)	77.8	-	-	68	Da 68 a 78
Portatile indoor (PL 95%)	84.9	-	66	76	Da 66 a 85

La sperimentazione Rai Way introduce parametri di pianificazione di riferimento diversi: ad es. **portatile indoor con antenna telescopica (PL 70%): da 74 a 85 (dBµV/m)**.

L'adozione dei diversi parametri di pianificazione di riferimento comporta differenze anche notevoli nella simulazione di un'area di copertura di un impianto. Nella figura seguente viene ad esempio raffigurata, in verde, la sovrapposizione di due coperture calcolate per una ricezione buona "portatile indoor" rispettivamente adottando i parametri di pianificazione:

- RRC-06 (azzurro)
- Rai Way (verde)

La differenza di copertura immediatamente visibile comporta una differenza, nella popolazione servita, stimabile in circa 1,5 milioni di abitanti.

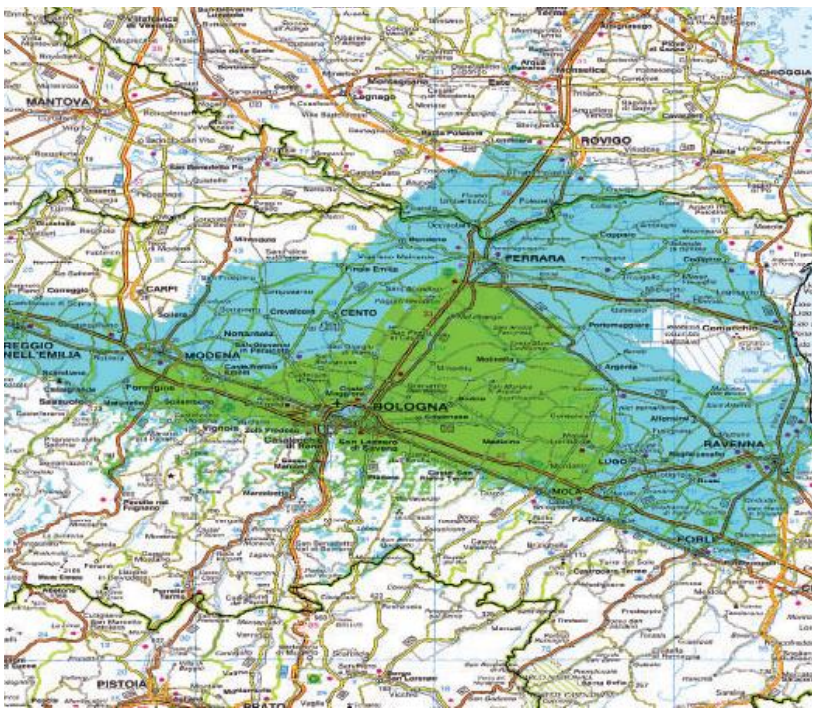
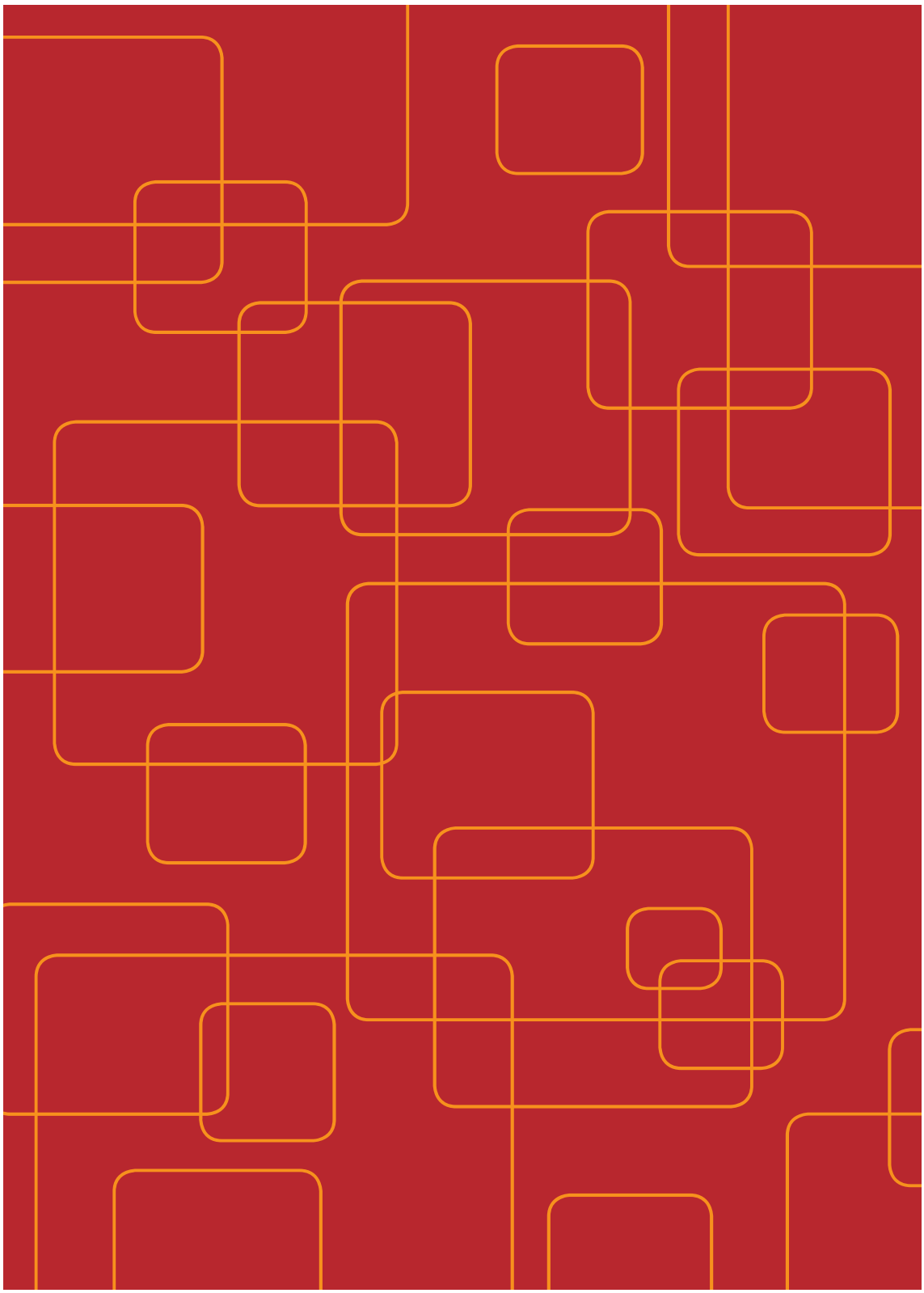


Figura 26
Sovrapposizione coperture RRC-06/ Rai Way



Bibliografia

Bibliografia

1. EBU – TECH 3317: "Planning parameters for hand held reception".
2. Recommendation ITU-R P.1546-1: "Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz".
3. Roel Schiphorst: "A T-DAB field trial using a low-mast Infrastructure" - Signals and Systems Group (SaS), Department of Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science (EEMCS), University of Twente - ISBN: 90-365-2424-5.
4. Wayne Dickinson, BTC Australia P/L: "T-DAB Reception for mobile and indoor".
5. Simon Mason, NTL broadcast: "Indoor reception of DAB – consequences for planning and implementation" – EBU Technical Review, July 2004.
6. ETSI TR 102 377 V1.2.1: "Digital Video Broadcasting (DVB); DVB-H Implementation Guidelines".

Ulteriore letteratura di riferimento

ITU - International Telecommunication Union

ITU-R BS 1114 Systems for terrestrial digital sound broadcasting to vehicular, portable and fixed receivers in the frequency range 30-3 000 MHz;

ITU-R BS 1660 Technical basis for planning of terrestrial digital sound broadcasting in the VHF band;

ITU-R P 1812 A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the VHF and UHF bands;

ITU "Final Acts of the Regional Radiocommunication Conference for planning of the digital terrestrial broadcasting service in parts of Region 1 and 3, in the frequency bands 174-230 MHz and 470-862 MHz (RRC-06)", Geneva, May-June 2006.

EEC - Electronic Communications Committee (ECC)within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT)

EEC 116 - conversion GEO6 ass/allot DVB-T into T-DAB ass/allot.

ETSI Standards

ETSI EN 300 401:Radio Broadcasting Systems;Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile,portable and fixed receivers;

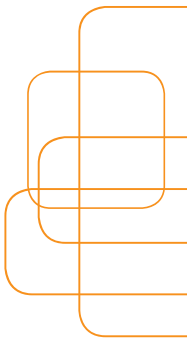
ETSI 102 563: Digital Audio Broadcasting (DAB);Transport of Advanced Audio Coding (AAC) audio;

ETSI EN 102 428: Digital Audio Broadcasting (DAB);DMB video service;User Application Specification.

Giovanni Gentile, “Misura dell’intensità del campo e.m”, Elettronica, n. 3, 1966.

Franc Kozamernik, “DAB — from Digital Radio towards Mobile Multimedia”, Technology Review - EBU, 2004.

Frank Hermann et al., “The evolution of DAB”, Technology Review - EBU, 2007.

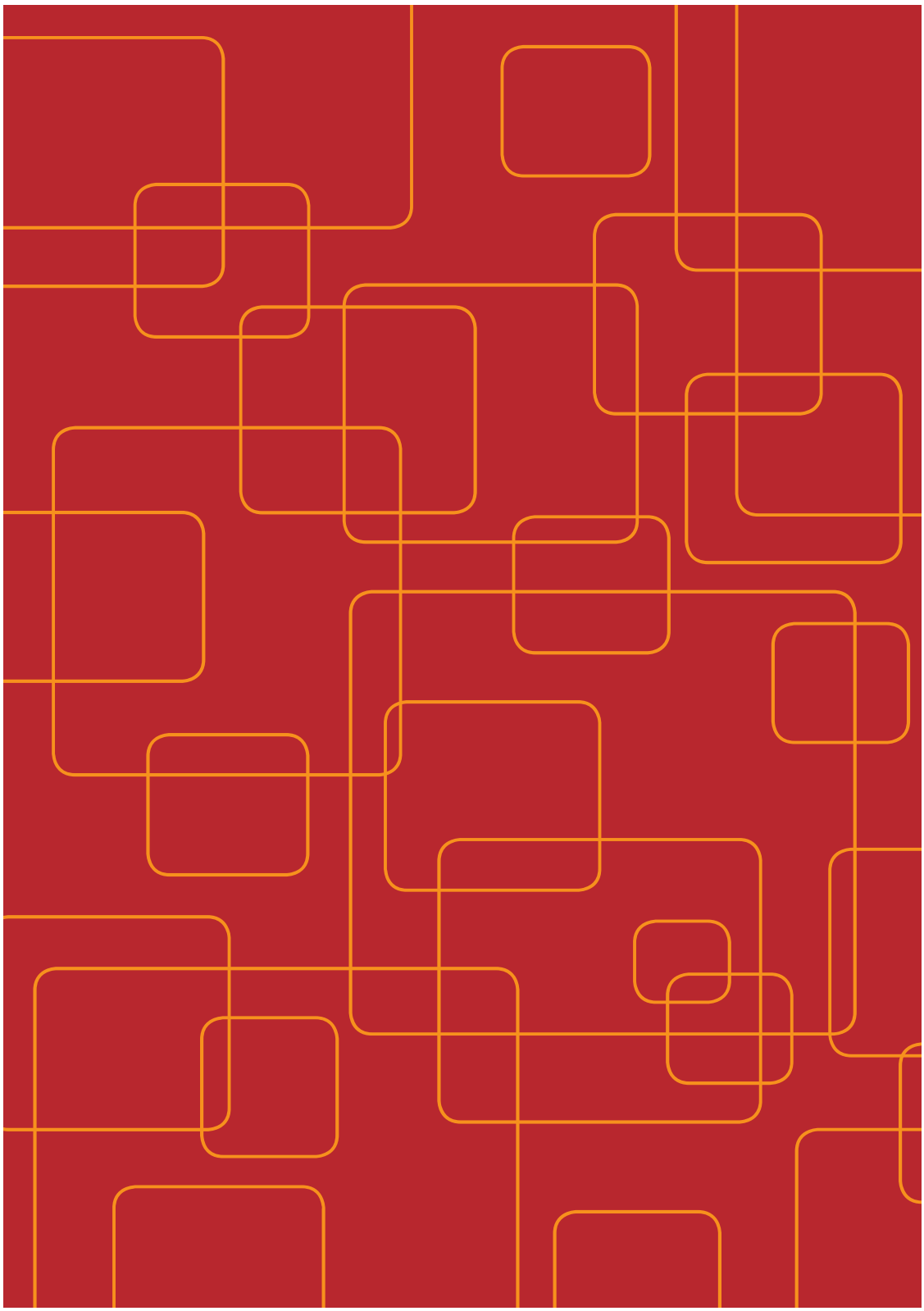


Rai Way S.p.A.
Sede legale: Via Teulada, 66 – 00195 Roma
Direzione e coordinamento:
RAI – Radiotelevisione Italiana Spa
con sede in v.le Mazzini, 14 - Roma

Aeranti-Corallo
Sede legale:Via Martiri della Resistenza, 7 – 60100 Ancona
Associazione di categoria composta da:
Aeranti e Associazione Corallo

Finito di stampare nel mese di maggio 2009,
per conto di Rai Way e Aeranti-Corallo

Progetto grafico: Ergon Comunicazione srl

Stampa: Eurolit srl – Roma

Pubblicazione fuori commercio