

CAMPAGNA DI MISURE DAB-T SU RETE ISOFREQUENZIALE (SFN)

A. GALLO, S. RIPAMONTI, V. SARDELLA*

SOMMARIO — Viene descritta la campagna di misure effettuata dal Centro Ricerche RAI sulla rete isofrequenziale (SFN) realizzata in Valle d'Aosta per la sperimentazione del servizio DAB-T e vengono riportati i principali risultati ottenuti. Le misure sono state effettuate con ricezione mobile su diversi percorsi con gli impianti irradianti singolarmente ed in rete SFN, per un totale di circa 424 km, utilizzando un'auto appositamente attrezzata per la misura e l'acquisizione dei dati in modo georiferito. È stata valutata la copertura del servizio riportando i valori misurati del campo elettromagnetico sia su diagrammi cartesiani in funzione della distanza che su cartine digitalizzate, utilizzando un apposito software GIS (Geographic Information System) per la rappresentazione mediante aree colorate. Elaborando opportunamente i dati di misura sono poi stati determinati alcuni parametri particolarmente significativi per la pianificazione del sistema DAB-T su rete SFN, quali il «fattore di variazione locale» ed «il guadagno di rete». La qualità del segnale DAB-T in ricezione mobile è stata infine valutata con una serie di ascolti e confronti con la qualità dello stesso programma radiofonico trasmesso in modulazione di frequenza registrando contemporaneamente i due segnali con l'immagine video del percorso. Dal confronto è emerso che la qualità del segnale DAB-T mantiene ovunque nell'area di servizio la qualità Compact Disc, mentre il segnale FM risente talvolta dei disturbi dovuti alla propagazione.

SUMMARY — *Field trials on the T-DAB Single Frequency Network.* The article reports the field trials carried out by the RAI Research Centre on the T-DAB Single Frequency Network implemented in the Aosta Valley (Italy). Measurements were carried out in mobile reception on a certain number of selected routes representing typical reception environments (urban, suburban, rural, mountainous). The measuring system was controlled by a personal computer to allow for the acquisition of the field strength within spatially and/or temporally defined segments, and of the position of the vehicle by means of a GPS (Global Positioning System) receiver. The measurements, on each route, were carried out in four different conditions: three for every transmitter operating individually and one for SFN operation, for a global distance of 424 km. Analysing and processing the acquired data, important parameters related to practical implementation of a T-DAB service, such as the «local area variation of the field strength» and the «network gain», were investigated and are reported. Subjective quality evaluation of the received DAB signal in comparison with the analogue FM signal, carrying the same programme, was also carried out.

1. Introduzione

Le misure di copertura del servizio DAB-T sono state effettuate sulla rete isofrequenziale SFN (Single Frequency Network) realizzata dalla RAI in Valle d'Aosta per la sperimentazione di nuovi sistemi numerici radiofonici e televisivi (Bibl. 1). La rete si articola su tre centri di trasmissione dislocati in aree di copertura adiacenti, siti nelle località di St. Vincent, Gerdaz e Blavy e copre il fondovalle che va da St. Vincent ad Aosta, la valle del Gran San Bernardo ed alcune zone intorno alla città di Aosta. I trasmettitori sono sincronizzati sulla frequenza del canale H2 (223÷230 MHz) e irradiano il segnale con potenze diverse in modo da servire Aosta città con un livello di campo e.m. di entità comparabile. Per una descrizione dettagliata delle caratteristiche della rete SFN si rimanda all'articolo «Architettura e sistemistica della rete SFN in Valle d'Aosta» in questo numero della rivista.

Una prima serie di misure, effettuate con ricevitori DAB di terza generazione, in alcuni punti scelti all'interno dell'area di copertura hanno identificato i limiti dell'area servita oltre a fornire la certificazione della perfetta funzionalità degli impianti. I risultati sono riportati in dettaglio nell'articolo «Funzionalità degli impianti trasmettenti e valutazione in campo del sistema DAB» in questo numero della rivista.

Una prima campagna di misure con ricezione mobile è stata condotta dal Centro di Controllo di Monza, finalizzata a ricavare il fattore di variazione locale del campo e.m. per l'adeguamento alle caratteristiche del servizio DAB-T dei metodi di previsione di campo, attualmente calibrati sulle esigenze di pianificazione dei tradizionali servizi analogici (Bibl. 2). Tali misure sono state limitate alle valutazioni relative all'area di servizio dei singoli impianti trasmettenti.

La sperimentazione DAB è quindi proseguita, nell'ottica dell'ottimizzazione della copertura del servizio sulla rete isofrequenziale (SFN), attraverso una estesa campagna di misure in ricezione mobile condotte dal Centro Ricerche, su percorsi significativi, con acquisizioni del campo e.m. su segmenti spaziali e/o temporali stabiliti e con pre-

* P.i. Arturo Gallo e ingg. Silvio Ripamonti e Vincenzo Sardella del Centro Ricerche RAI — Torino.
Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 28 Giugno 1996.

ciso riferimento alla tipologia del territorio a cui si riferiscono.

Le modalità ed i risultati ottenuti in questa campagna di misure sono riportati nel presente articolo. Lo scopo principale è stato quello di ottenere, attraverso l'acquisizione e l'elaborazione statistica di un gran numero di dati, la verifica della estensione del servizio e la determinazione, finalizzata all'ottimizzazione della copertura, di alcuni parametri particolarmente significativi per la pianificazione del servizio DAB-T su rete SFN, quali il «*fattore di variazione locale*» del campo e.m. ed il «*guadagno di rete*» (Bibl. 3).

È stata pertanto allestita un'auto attrezzata con la necessaria strumentazione a bordo e si è sviluppato un apposito software di controllo, acquisizione e memorizzazione dei dati tramite PC in relazione alle grandezze da misurare.

Successivamente, in laboratorio, sono stati analizzati i dati memorizzati sui vari percorsi per ricavarne le componenti rappresentative dal punto di vista statistico e per la rappresentazione su cartine digitalizzate.

Nel corso delle misure in movimento gli impianti trasmettenti sono stati mantenuti nelle condizioni di funzionamento operative descritte nell'articolo precedentemente citato. Nella effettuazione delle misure descritte nel seguito sono stati scelti otto itinerari diversi, particolarmente significativi per la caratterizzazione del territorio: urbano, sub-urbano, rurale e montano. Le misure sono state effettuate in quattro situazioni di irradiazione differenti, ossia sui tre impianti singolarmente operativi e sulla rete SFN, per un percorso totale di circa 424 km.

2. Acquisizione dei dati

2.1 METODOLOGIA DI MISURA

Il sistema di misura ed acquisizione dei dati, installato a bordo dell'auto attrezzata, è evidenziato nello schema a blocchi di figura 1, mentre la figura 2 riporta la fotografia del mezzo con la disposizione degli apparati di misura all'interno.

La ricezione del segnale DAB-T è stata effettuata con una antenna a stilo omnidirezionale e l'intensità di campo elettromagnetico, all'altezza dell'antenna ricevente ($\approx 1,5$ m), è stata ricavata dalla misura di potenza effettuata con ricevitore Rohde & Schwarz ESVB su una banda di 1,5 MHz, corrispondente a quella del blocco DAB irradiato.

Il sistema consente di misurare ed acquisire la potenza ricevuta ad intervalli regolari lungo il percorso e con riferimento geografico del punto di acquisizione fornito da un sistema GPS (Global Positioning System) differenziale che indica in modo continuo la posizione del mezzo e la memorizza insieme al valore del campo e.m.

La rilevazione della distanza è effettuata da un dispositivo odometrico, appositamente progettato e sviluppato, costituito da una ruota fonica coassiale con l'uscita del cambio di velocità per il contachilometri e da un dispositivo divisore per la programmazione del passo di campionamento spaziale.

Al fine di poter tenere conto dell'effetto dei fading veloci il passo di acquisizione delle misure deve essere direttamente correlato con la lunghezza d'onda del segnale ricevuto. Quindi per la corretta descrizione dei fenomeni legati alla propagazione per cammini multipli, in cui le variazioni di campo elettromagnetico si manifestano nello spazio con una periodicità legata alla lunghezza d'onda del segnale a radiofrequenza, è risultato opportuno adottare un passo di campionamento minore di $\lambda/4$. Nel caso in esame, dove la frequenza di irradiazione è nell'intorno dei 226 MHz ($\lambda = 1,33$ m circa, $\lambda/4 = 33,25$ cm circa), i dati di misura del campo e.m. sono stati acquisiti ad intervalli di 31,25 cm.

2.2 ITINERARI PERCORSI

L'area interessata dagli impianti trasmettenti per il servizio sperimentale DAB-T in Valle d'Aosta si estende nel fondovalle che va da Verres ad Arvier e nelle valli laterali del Gran S. Bernardo, di Valpelline e di Cogne. In questa area sono stati individuati otto itinerari, che caratterizzano ambienti di ricezione diversi, sui quali sono state effettuate le misure. Su ogni itinerario si è cercato per quanto possibile di avere una buona omogeneità ambientale per quanto riguarda le caratteristiche del territorio (urbano, suburbano, montano) al fine di determinare parametri statistici più coerenti possibile.

Gli otto itinerari nelle aree interessate si estendono complessivamente su 106 km. In casi particolarmente significativi i percorsi sono stati ripetuti quattro volte in tempi diversi: una per ognuno dei tre trasmettitori singolarmente accesi ed una nella condizione rete SFN (trasmettitori tutti attivi). È stato inoltre esaminato un percorso di circa 20 km nell'area di servizio del solo trasmettitore di St. Vincent.

Fig. 1 — Schema a blocchi del sistema di misura ed acquisizione dati installato a bordo dell'auto.

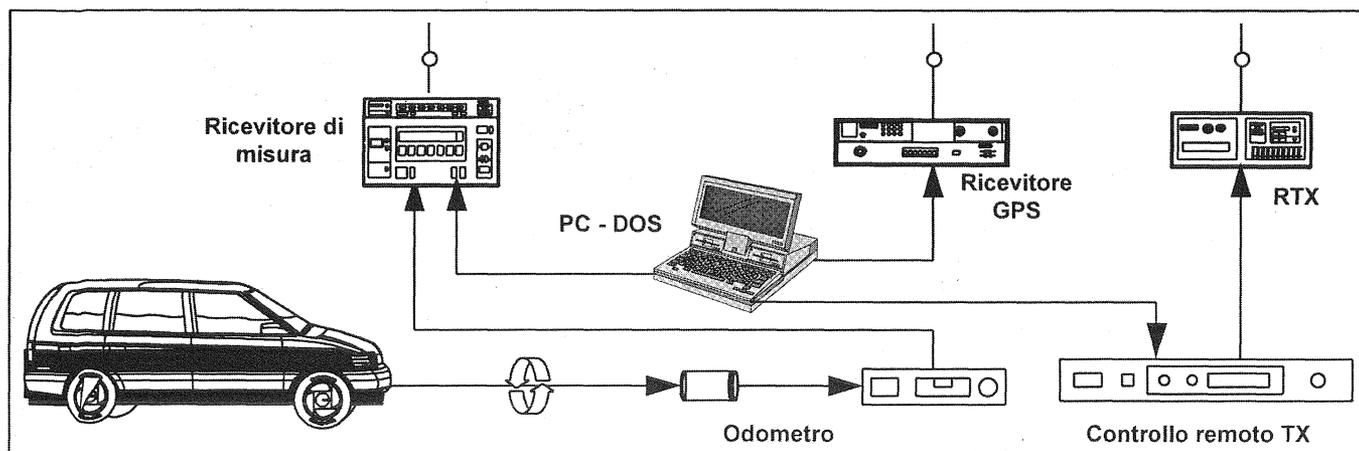
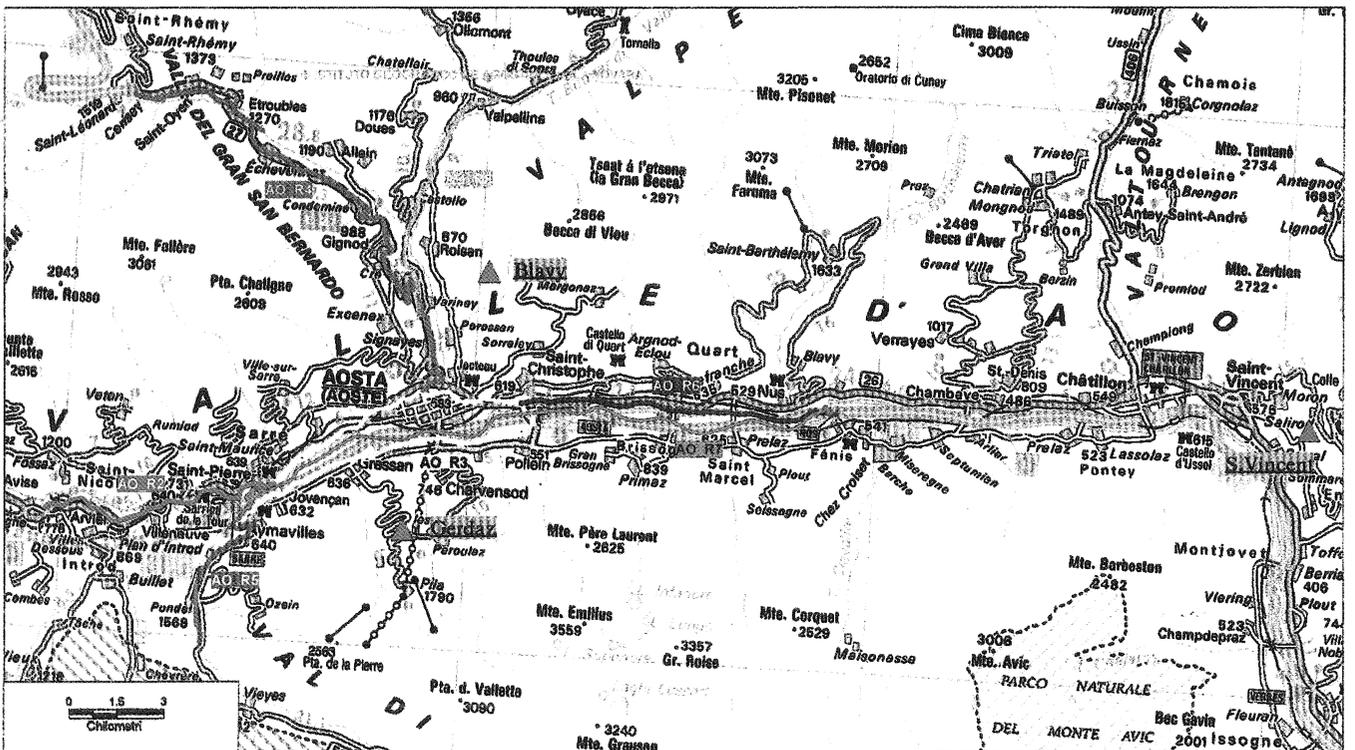




Fig. 2 — Fotografia dell'auto attrezzata per le misure.

Fig. 3 — Itinerari percorsi.



In figura 3 è riportata la cartina della Valle d'Aosta con l'indicazione di sette degli otto percorsi identificati con la sigla AO_Rn ($n = 2 \div 8$); il percorso AO_R1, non essendo adiacente ai precedenti, non è stato riportato.

Il percorso AO_R1 consente l'esame della valle principale da St. Vincent a Verres, per un totale di circa 20 km., che è servita dal solo trasmettitore di St. Vincent. Per cui su questa area l'esame è stato limitato a questo singolo impianto.

Il percorso AO_R2 si sviluppa lungo il fondovalle ad est della città di Aosta, su un terreno identificabile come rurale/montano, e va dalla strada statale n° 26 (bivio per Leve-rogne) fino ad Aymavilles, per un totale di circa 11 km.

Il percorso AO_R3 è di tipo suburbano e parte dal centro di Aymavilles snodandosi attorno alla città di Aosta per poi ritornare al punto di partenza per un totale di circa 23,6 km.

Il percorso AO_R4 rappresenta un tipico percorso montano. Partendo da Aosta si inoltra fino al bivio che separa le strade per il traforo del Gran S. Bernardo e per il colle omonimo. È lungo approssimativamente 20,5 km.

Il percorso AO_R5 si estende su un tratto della strada statale n° 507 della Valle di Cogne, con partenza da Aymavilles, per una lunghezza di quasi 9 km.

Il percorso AO_R6 ricopre un altro tratto della stessa strada statale n° 507. La partenza è dal bivio di S. Cristophe per poi terminare nei pressi del casello autostradale di Nus, per un totale di circa 11 km percorsi.

Il percorso AO_R7 si svolge lungo l'autostrada A5 tra il casello di Nus e quello di S. Pierre e termina nel centro di Aymavilles, esplorando un ambiente rurale/suburbano per circa 22,5 km.

Il percorso AO_R8 si dirama dal percorso AO_R4 penetrando nella Valpelline. Si tratta di un altro percorso tipicamente montano che ha inizio dalla statale n° 27 per il traforo del G.S. Bernardo fino alla località di Valpelline per una distanza di 9 km.

3. Elaborazione dei dati

Successivamente alla acquisizione dei dati è stata effettuata una prima elaborazione software per escludere dalle misure del campo e.m. il contributo dovuto ai periodi di «Null-Symbol». Il Null-Symbol è una mancanza di modulazione introdotta ad intervalli regolari nella trama del segnale DAB, necessaria per effettuare una prima, seppure approssimativa, sincronizzazione del ricevitore. Le misure effettuate durante questo periodo di assenza di segnale DAB non devono quindi essere tenute in conto nella elaborazione dei dati.

Per avere a disposizione una localizzazione delle misure più precisa lungo il percorso, si opera poi una correzione dei dati acquisiti dal sistema GPS di bordo utilizzando i dati della stazione GPS differenziale installata presso il Centro Ricerche a Torino. In questo modo si ottiene una precisione nella identificazione della posizione del mezzo di circa 5 m.

I fenomeni che si intendono evidenziare dipendono da due tipi di fading (o evanescenza): «fading lento» e «fading veloce», originati da due diverse cause fisiche. Il fading lento è essenzialmente causato dall'effetto di schermatura dovuta ad ostacoli fissi, sia naturali (conformazione del territorio) che artificiali (costruzioni civili e industriali) pre-

senti lungo il percorso propagativo, mentre il fading veloce è originato dalla propagazione per cammini multipli («multipath»).

Un apposito programma di elaborazione analizza i dati acquisiti tenendo conto sia della combinazione dei fading lenti e veloci che dei soli fading lenti, secondo due diverse procedure. Nel caso dell'analisi del fading combinato i dati di misura, acquisiti ad intervalli di 31,25 cm, sono mediati su segmenti di lunghezza 300 metri; nell'analisi dei fading lenti gli stessi dati sono dapprima mediati su segmenti di 25 metri e poi su segmenti di 1 km.

I risultati dell'elaborazione, con riferimento alla posizione del mezzo sul percorso, sono rappresentati in *diagrammi cartesiani*, che riportano l'intensità del campo e.m. in funzione dello spazio percorso, e su *cartine digitalizzate*, mediante il sistema GIS (Geographical Information System), che riporta per ciascun percorso una successione di aree di diverso colore, ciascuna corrispondente ad una gamma di valori del campo misurato. Si rende in tal modo più immediata l'interpretazione ed il confronto dei risultati.

Per dare un'idea del gran numero di dati acquisiti ed elaborati, si consideri che sul percorso più breve (circa 9 km), per ognuna delle 4 situazioni esplorate (3 impianti singolarmente accesi e rete SFN) sono stati acquisiti circa 30 mila dati di misura del campo e.m. ed altrettanti dal sistema di localizzazione GPS.

4. Risultati

4.1 AREA DI SERVIZIO

La verifica dell'area di servizio in ricezione mobile è stata effettuata sia per i singoli trasmettitori che, globalmente, per la rete SFN. Ciascun percorso esaminato è stato suddiviso in segmenti di 300 m, sui quali sono state effettuate 960 misure di campo e.m., ad intervalli successivi di 31,25 cm. Per ognuno di questi segmenti è stato successivamente calcolato il valore del campo e.m. ($\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$) ottenuto rispettivamente per il 50% e il 99% delle misure. Tale metodologia di analisi statistica tiene conto quindi globalmente degli effetti sia dei fading «lenti» che di quelli «veloci» che normalmente influenzano la ricezione mobile.

I valori ottenuti sono stati rappresentati in forma cartesiana (intensità di campo in funzione della distanza) ed in forma cartografica. Per questa seconda rappresentazione è stata utilizzata una scala di colori con otto intervalli per fornire un'idea visiva della variazione dell'intensità di campo nell'intervallo $0 \div 100 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$. Su ciascuna cartina è indicata inoltre l'ubicazione dei trasmettitori ed il loro stato di funzionamento (acceso/spento). Nella legenda della cartina è indicata la corrispondenza tra l'intensità del campo e la scala di colori, mentre i numeri tra parentesi a fianco di ogni intervallo indicano il numero di misure che cadono in quella suddivisione.

Sui grafici viene riportata la «soglia di campo minimo» richiesto dal sistema DAB-T, corrispondente a $48 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ per il 50% delle località e $35 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ per il 99% delle località. Questi valori di campo e.m. minimo sono correntemente assunti come riferimento dalla CEPT per la pianificazione del servizio DAB-T.

Della gran mole di risultati ottenuti (66 rappresentazioni cartografiche e 16 grafici) si riportano qui di seguito due



Fig. 4 — Valori di campo e.m. al 99% sul percorso AO_R3 per la rete SFN.

esempi. La figura 4 riporta i valori di campo e.m. ottenuto per il 99% delle misure effettuate sulla rete SFN per il percorso AO_R3. I valori del campo e.m. misurati sui singoli trasmettitori e sulla rete SFN sono paragonati nel diagramma cartesiano di figura 5, per i valori al 99%.

Con lo scopo di fornire indicazioni globali su tutti i percorsi esaminati, si è provveduto a riportare in forma cartografica l'andamento del campo misurato considerando tutta l'area in esame. La figura 6 si riferisce ai valori di campo ottenuto per il 50% delle misure considerando la re-

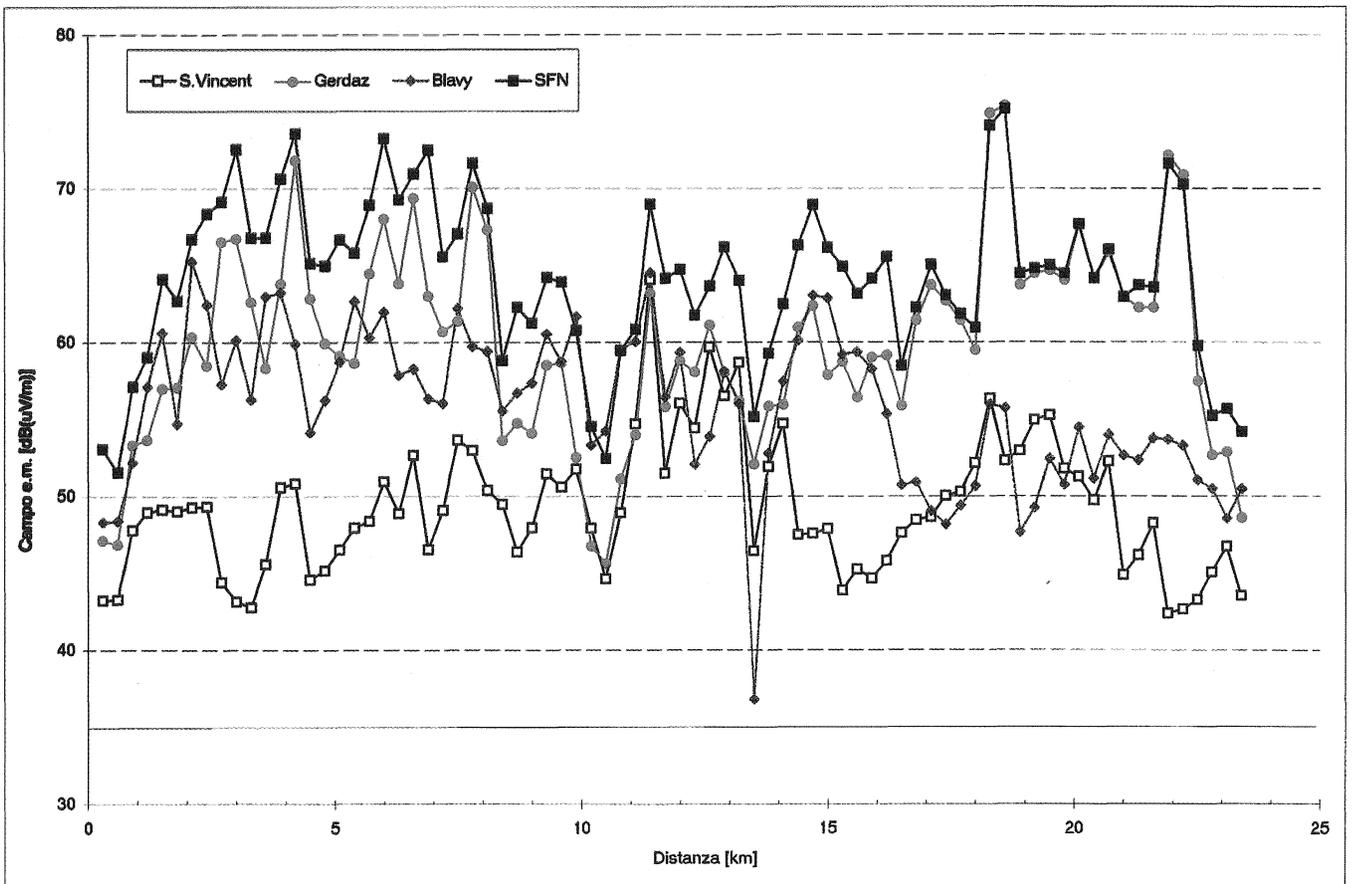


Fig. 5 — Valori di campo e.m. al 99% sul percorso AO_R3 per li singoli trasmettitori e per la rete SFN.

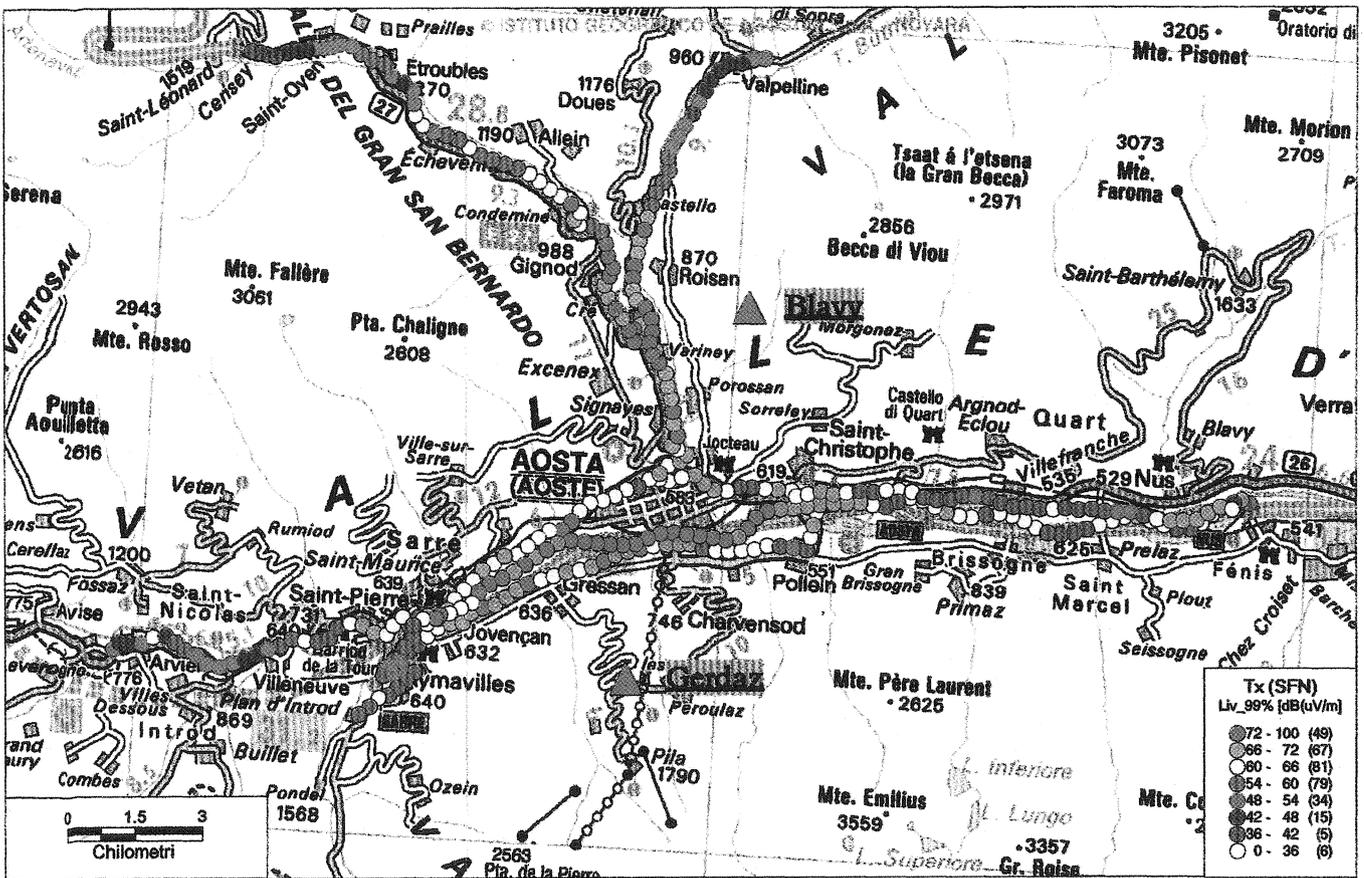


Fig. 6 — Valori di campo e.m. al 50% sulla rete SFN.

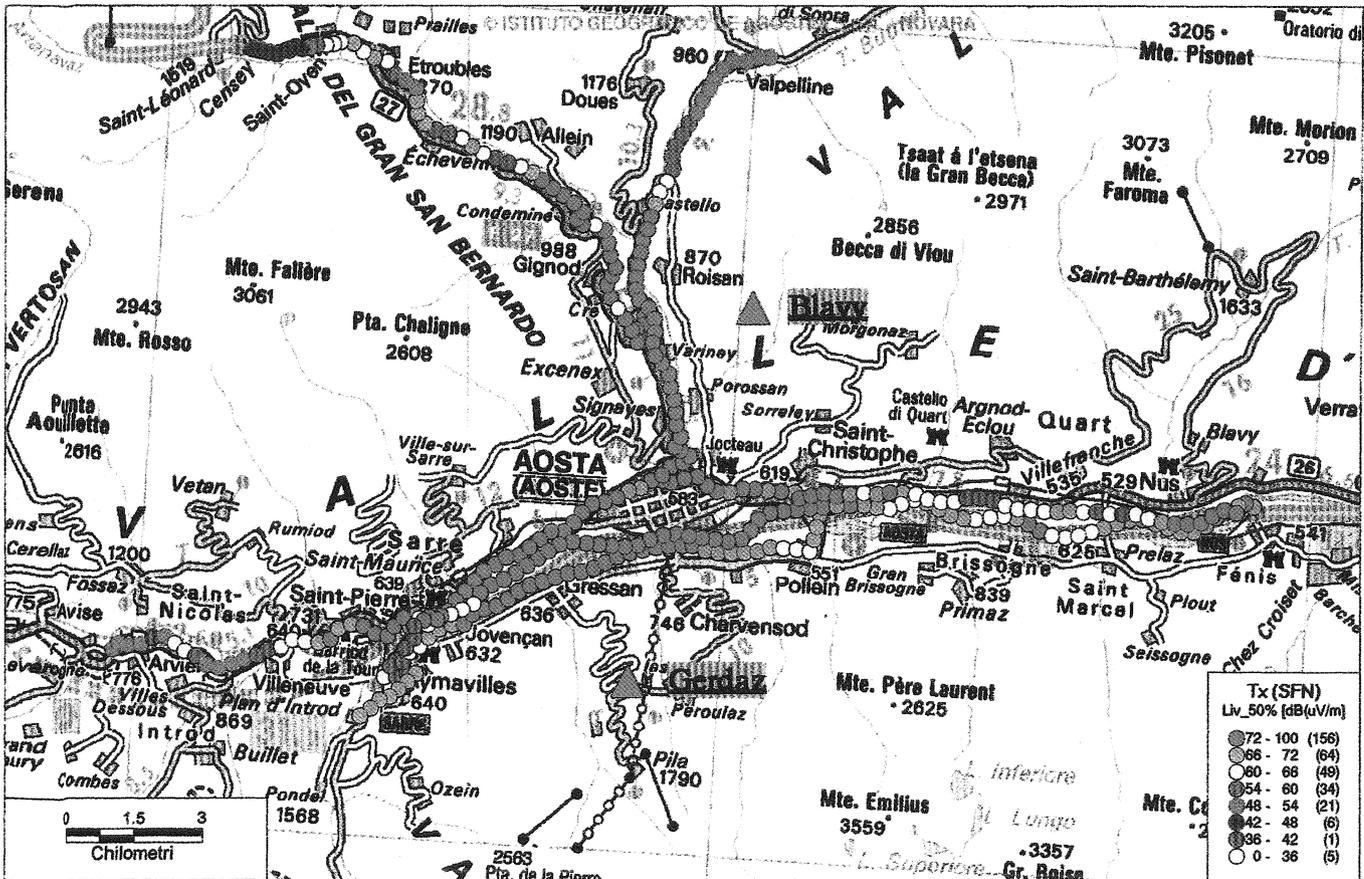


Fig. 7 — Valori di campo e.m. al 99% sulla rete SFN.

te SFN, mentre la figura 7 si riferisce ai valori di campo ottenuto per il 99% delle misure effettuate sulla rete SFN.

Dall'esame dei dati ottenuti e considerando le misure di campo al 99%, che risultano particolarmente significative per la valutazione della copertura del servizio DAB-T, si possono fare le seguenti considerazioni relativamente alle aree di servizio dei singoli trasmettitori e della rete SFN.

- Il trasmettitore di St. Vincent ha l'area di servizio più estesa raggiungendo, con campi superiori a 40 dB(μV/m) per il 99% delle misure Arnad verso sud e Aymavilles verso ovest. Presso S. Vincent esiste però un tratto di autostrada di circa 2,4 km non servito a causa della schermatura dovuta alla conformazione del terreno.
- Il trasmettitore di Gerdaz serve la città di Aosta e le periferie nord, est e ovest con campi generalmente maggiori di 50 dB(μV/m) per il 99% delle misure.
- Il trasmettitore di Blavy serve la statale 27 del Gran San Bernardo, la città di Aosta e la sua periferia sud e ovest.
- Per quanto riguarda l'area di servizio della rete SFN (figura 7), su tutti i percorsi esaminati in dettaglio si è verificata la condizione di campo minimo richiesto dalla CEPT (35 dB(μV/m), necessario per garantire un'adeguata disponibilità del servizio nel 99% delle località. Fanno eccezione brevi tratti dei percorsi considerati (6 segmenti di 300 m. ciascuno su un totale di 106 km) sui quali tuttavia la ricezione si riferisce a:
 - tratto in galleria di circa 1,5 Km. sull'autostrada Aosta-Monte Bianco
 - breve segmento del percorso R2 al limite dell'area esaminata (località Arvier) a causa della schermatura dovuta alla orografia del terreno.

4.2 FATTORE DI VARIAZIONE LOCALE

I metodi di previsione di campo attualmente in uso per i sistemi analogici sono specificati nella Raccomandazione ITU-R PN.370 (per le bande da I a V). Essi assumono come riferimento un valore di copertura per il 50% del tempo e per il 50% delle località.

A causa del comportamento a soglia nella qualità del segnale numerico DAB in funzione del C/N, e quindi del campo disponibile al ricevitore, è essenziale pianificare il servizio DAB con margini adeguati, aumentando la disponibilità del campo minimo dal 50% al 99%. *Assumendo una distribuzione log-normale dei livelli di campo misurati in una certa area, il passaggio tra il 50% e il 99% delle*

località si ottiene moltiplicando per 2,33 la deviazione standard (σ) della distribuzione.

Il valore normalmente stimato per σ è di 5,5 dB corrispondente ad un fattore di variazione locale di 13 dB per il passaggio tra il 50% e il 99% (Bibl. 4). Un importante obiettivo dell'indagine effettuata in area di servizio è stato quindi quello di verificare l'attendibilità di tale valore, assunto come riferimento dalla CEPT, di rilevanza fondamentale nella definizione dei criteri di pianificazione per il servizio DAB-T.

Per una verifica del fattore di variazione locale su rete SFN è stata quindi calcolata la deviazione standard media delle misure relative ad alcuni percorsi significativi ed omogenei rappresentanti diversi tipi di territorio, in particolare:

- il percorso R2 per l'ambiente rurale/montano (Tx di Gerdaz);
- il percorso R3 per l'ambiente sub-urbano (Tx di Gerdaz);
- il percorso R4 per l'ambiente montano (Tx di Blavy);
- il percorso R7 per l'ambiente rurale autostradale (Tx di St. Vincent).

I risultati ottenuti sono rappresentati nell'istogramma in figura 8.

Dal calcolo diretto della differenza tra i valori medi di campo al 50% e al 99% per i vari tipi di territorio considerati è possibile verificare la validità o meno della distribuzione log-normale dei valori misurati, assunta a priori. La tabella 1 riporta il fattore di forma della distribuzione, definito come rapporto tra la differenza dei valori medi di campo al 50% e al 99% e la deviazione standard media (σ). I valori ottenuti, sono vicini al valore di 2,33 teorico, confermando, per i percorsi scelti, la sostanziale validità dell'assunzione di distribuzione log-normale.

TABELLA 1
DEVIAZIONE STANDARD MEDIA E FATTORE DI FORMA DELLA DISTRIBUZIONE DEL CAMPO E.M.

percorso	σ (dB) (A)	Δ (50%-99%) (dB) (B)	fattore di forma (B/A)
R3 (sub-urbano)	4	9,7	2,42
R4 (montano)	3,3	8,6	2,61
R2 (rurale/montano)	3	7	2,33
R7 (rurale)	2,5	5,8	2,32

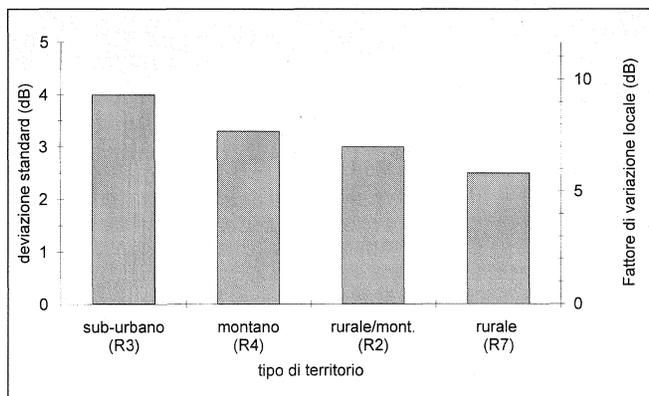


Fig. 8 — Deviazione standard e fattore di variazione locale del campo elettromagnetico in funzione del tipo di territorio (ricezione mobile).

Questi risultati indicano per il fattore di variazione locale valori compresi tra 5,8 e 9,3 dB, a seconda del territorio e su percorsi sostanzialmente omogenei, che concordano con quelli ottenuti dal Centro di Controllo di Monza (Bibl. 2) e con altri risultati riportati in letteratura (Bibl. 5 e 6). Tali risultati, ottenuti nelle varie condizioni di rete e di territorio, indicano quindi la validità di un valore più ottimistico del fattore di variazione locale, rispetto al valore di 13 dB, attualmente assunto.

Sembrerebbe pertanto possibile assumere per la pianificazione del servizio DAB-T al 99% un fattore di variazione locale intorno ai 10 dB, invece dei 13 dB assunti dalla CEPT, il che porterebbe ad un valore di campo e.m. (a 1,5 m. di altezza) di 45 dB(μV/m), invece di 48 dB(μV/m) quale valore da assicurare per il 50% del tempo e delle

località con i metodi tradizionali impiegati con i sistemi analogici.

Il fattore di variazione locale è poi stato calcolato per tutti i percorsi direttamente come differenza tra i valori medi di campo al 50% e al 99% ottenendo l'istogramma di figura 9, in cui sono riportati per ogni percorso solamente i dati relativi ai trasmettitori che coprono l'area in esame.

Questo istogramma fornisce una rappresentazione statistica più generale rispetto a quella di figura 8 per quanto riguarda il tipo di territorio, anche se considera globalmente ambienti non sempre omogenei.

Per un corretto confronto con i risultati riportati in letteratura è opportuno ricordare che le misure sono state effettuate su percorsi lineari, cioè su tratti stradali (autostrade, strade statali, comunali ecc.) e non su aree caratterizzate da percorsi radiali; inoltre la maggior parte delle misure è stata effettuata in condizioni di visibilità dell'antenna trasmittente e quindi in condizione di minore variabilità del segnale. Tutte le misure sono poi state prevalentemente rilevate in una zona della Valle d'Aosta in cui la presenza di alte montagne circostanti crea echi anche di elevato livello (cammini multipli) che possono contribuire ulteriormente a ridurre le variazioni del campo e.m. ricevuto.

4.3 GUADAGNO DELLA RETE SFN

La buona tolleranza alla propagazione per cammini multipli, caratteristica peculiare del DAB, è dovuta alla possibilità che, all'interno di un certo intervallo di tempo, si verifichi una mutua addizione dei segnali provenienti dai vari trasmettitori della rete SFN. Ciò avviene a condizione che i ritardi rispettivi non superino l'intervallo di guardia ($\tau_g = 246 \mu s$). Questa importante proprietà è chiamata «guadagno di rete» e comprende due componenti, una additiva ed una statistica.

La *componente additiva* è il risultato del fatto che ci può essere più di un segnale utile e quindi le potenze al ricevitore si sommano. La componente statistica è dovuta alle distribuzioni delle variazioni locali dei campi che contribuiscono al segnale ricevuto. Poiché la deviazione standard del segnale complessivo è minore rispetto a quella dei singoli segnali, il margine in potenza per raggiungere una

determinata copertura può essere ridotto rispetto al caso di trasmettitori singoli.

Ciò significa quindi che, *in rete SFN è, in generale, possibile ridurre la potenza irradiata dai singoli trasmettitori per una uguale copertura del servizio (esempio 99% delle località) rispetto al caso di trasmettitori indipendenti e non sincronizzati.*

In alternativa, senza alterare la potenza irradiata dai singoli trasmettitori, la rete SFN consente di aumentare l'area di copertura e la disponibilità del servizio.

Ad esempio (vedi figura 10), nel caso teorico di due trasmettitori che contribuiscono ciascuno con una distribuzione log-normale del campo e con deviazione standard di 5,5 dB, il guadagno di rete teorico massimo per una copertura del 99% delle località è di 7,6 dB, assumendo che le due potenze mediane siano uguali e che i segnali siano tra loro scorrelati (Bibl. 7). Il guadagno di rete scende a 4,8 dB se le potenze mediane dei due segnali differiscono di 6 dB. Pertanto, nelle zone in cui uno dei trasmettitori contribuisce con un campo significativamente più elevato rispetto agli altri trasmettitori della rete SFN, ad esempio in prossimità di ciascun trasmettitore, il guadagno di rete tende a zero. *Per contro il massimo guadagno di rete lo si ha nell'area di servizio in cui i vari trasmettitori contribuiscono con livelli di campo di entità confrontabile.*

Il guadagno di rete è stato calcolato per alcuni tratti dei percorsi R2, R3, R6 e R7 in cui i rapporti tra i livelli medi dei campi ricevuti dai diversi trasmettitori potevano considerarsi mediamente costanti. In particolare sono stati esaminati i seguenti casi:

- 1 • Percorso R2 tra il km 2,1 e il km 9,6: il campo e.m. del trasmettitore di Gerdaz è predominante.
- 2 • Percorso R3 tra l'inizio del percorso e il km 8,1: i campi generati dai trasmettitori di Blavy e Gerdaz sono elevati, mentre è basso il campo generato da S. Vincent.
- 3 • Percorso R3 tra il km 11,4 e il km 13,8: il campo più elevato è quello di Gerdaz, mentre i campi generati da Blavy e S. Vincent sono leggermente più bassi.

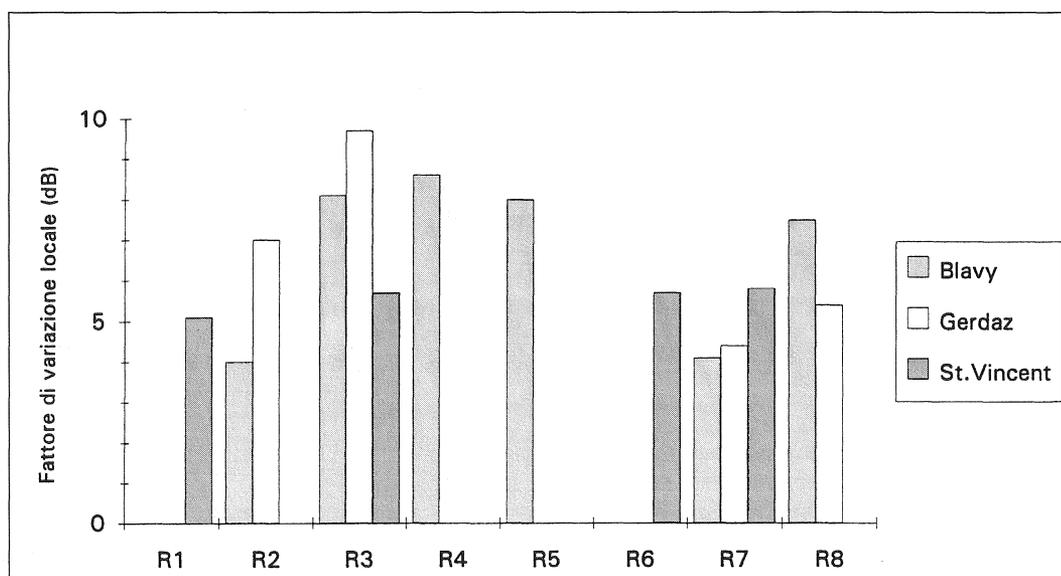


Fig. 9 — Fattore di variazione locale del campo elettromagnetico valutato sui diversi percorsi (ricezione mobile).

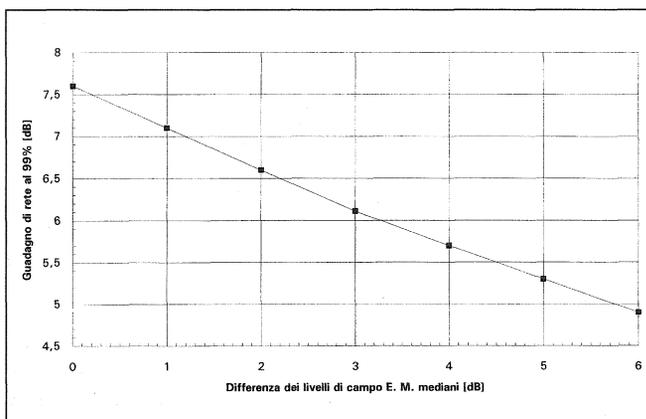


Fig. 10 — Guadagno di rete SFN teorico (due trasmettitori, distribuzione log-normale del campo, deviazione standard = 5,5 dB)

- 4 • Percorso R3 tra il km 16,5 e il km 22,5: il campo del trasmettitore di Gerdaz è predominante.
- 5 • Percorso R6 tra l'inizio del percorso e il km 3: il trasmettitore di Gerdaz è predominante.
- 6 • Percorso R7 tra il km 9,6 e il km 16,8: il campo più elevato è quello di Gerdaz, mentre i campi generati da Blavy e S. Vincent sono più bassi.
- 7 • Percorso R7 tra il km 16,8 e il km 19,2: il trasmettitore di Gerdaz è predominante.

Per ciascuno dei sette casi è stato calcolato:

- il livello mediano del campo generato dai singoli trasmettitori;
- la differenza dei livelli mediani rispetto al trasmettitore che ha il maggior livello ($\Delta 50\%$) preso come riferimento;
- il guadagno della rete SFN al 99% rispetto al trasmettitore di riferimento, calcolato come media delle differenze tra i livelli di campo al 99% misurati sulla rete SFN e quelli relativi al trasmettitore di riferimento.

I risultati sono riportati in tabella 2.

Dall'esame della tabella 2 si possono fare le seguenti considerazioni:

- I casi 2 e 3 sono rappresentativi di aree in cui non vi è molta differenza tra i livelli mediani dei campi generati dai diversi trasmettitori. Nel caso 2 praticamente due soli trasmettitori (Gerdaz e Blavy) contribuiscono al guadagno di rete, con campi che differiscono mediamente di 2,7 dB. Nel caso 3 tutti e tre i trasmettitori danno un contributo, anche se con campi diversi. In queste condizioni si ha un buon guadagno di rete, superiore a 5 dB.
- I casi 4 e 7 sono rappresentativi di aree in cui un trasmettitore è predominante rispetto agli altri. In questi casi il guadagno di rete ha valori bassi.
- I casi 1, 5 e 6 sono intermedi rispetto ai precedenti.

TABELLA 2
GUADAGNO DI RETE SFN AL 99%

Caso	Tx rif.	$\Delta 50\%$ (dB)	guadagno di rete SFN al 99% (dB)
1	Gerdaz	13,4 (Gerdaz - Blavy) 20,4 (Gerdaz - S.V.)	1,4
2	Gerdaz	2,7 (Gerdaz - Blavy) 18,3 (Gerdaz - S.V.)	5,2
3	Gerdaz	6,4 (Gerdaz - Blavy) 4,5 (Gerdaz - S.V.)	5,4
4	Gerdaz	19,2 (Gerdaz - Blavy) 19,9 (Gerdaz - S.V.)	0,5
5	Gerdaz	13,1 (Gerdaz - Blavy) 8,8 (Gerdaz - S.V.)	2,2
6	Gerdaz	6,8 (Gerdaz - Blavy) 10,5 (Gerdaz - S.V.)	2,5
7	Gerdaz	18,4 (Gerdaz - Blavy) 21,4 (Gerdaz - S.V.)	0,9

Il guadagno di rete, nei vari casi esaminati, è risultato compreso tra 0,5 e 5,4 dB, a seconda della differenza tra i livelli dei campi generati dai vari trasmettitori, con risultati comparabili a quelli riportati in bibliografia 6 e 7. Tali valori sono in genere inferiori a quelli calcolati teoricamente probabilmente per il fatto che non è in generale verificata la completa scorrelazione tra la distribuzione dei campi che contribuiscono al fenomeno. In effetti i fenomeni dovuti al fading lento possono ripercuotersi in maniera correlata sui campi generati dai diversi trasmettitori.

5. Qualità dei segnali DAB-T e MF in ricezione mobile

Allo scopo di valutare le prestazioni del sistema DAB-T in termini di qualità del segnale sonoro in ricezione mobile, sono stati effettuati ascolti e registrazioni dei segnali ricevuti nell'area di servizio dei tre impianti trasmettenti in rete SFN ed è stato predisposto il confronto con il segnale sonoro irradiato in modulazione di frequenza (MF). Per questo il programma stereofonico Radio 2 Time, a modulazione di frequenza, è stato inserito contemporaneamente nel blocco DAB-T (blocco A; $f = 223,936$ MHz), generato presso l'impianto di St. Vincent e distribuito agli altri due impianti della rete SFN.

Nell'area di servizio, su percorsi differenziati (autostrada, ambiente urbano e montano), i segnali MF e DAB-T ricevuti in auto con entrambi i ricevitori sono stati registrati contemporaneamente all'immagine video del percorso. Le immagini e i due segnali sonori sono stati registrati su una cassetta (supporto Betacam), realizzando un audiovisivo presentato a mostre e convegni nazionali ed internazionali.

Dalle registrazioni suddette si possono trarre le seguenti conclusioni:

- La qualità del segnale DAB-T, irradiato dai tre impianti in rete SFN e ricevuto in movimento mantiene ovunque nell'area di servizio l'elevata qualità audio di sorgente senza degradamento apprezzabile dovuto alla propagazione.

- La qualità del segnale a modulazione di frequenza è talvolta degradata, specialmente in aree in cui si è in presenza di percorsi multipli (ambiente urbano montano). In queste condizioni sarebbe possibile migliorare la qualità del servizio MF solo attraverso un aumento del numero dei ripetitori e delle frequenze occupate.
- Questi risultati, seppure limitati ad un'area di sperimentazione circoscritta, consentono quindi di concludere che, dal punto di vista della qualità sonora e della disponibilità del servizio, il sistema DAB-T supera i limiti dell'attuale sistema a modulazione di frequenza e permette di portare all'utente la qualità del Compact Disc, anche in ricezione mobile grazie al tutto digitale presente nell'intera catena dalla produzione in studio alla diffusione in area di servizio.

6. Conclusioni

Si è descritta la campagna di misure DAB-T effettuata dal Centro Ricerche con ricezione mobile sulla rete sperimentale della Valle d'Aosta, operante sul canale H2/VHF, e sono stati presentati i principali risultati ottenuti. Per questa campagna è stata allestita un'auto, attrezzata con la necessaria strumentazione a bordo, ed è stato sviluppato il software di acquisizione, memorizzazione ed elaborazione dei dati attraverso PC.

Si è valutata la copertura del servizio misurando il campo e.m. per il 50% e per 99% delle località sia sui singoli trasmettitori (St. Vincent, Gerdaz e Blavy), mantenendo gli altri due spenti, che sulla rete SFN, con i tre impianti contemporaneamente attivi. Le misure sono state effettuate su otto percorsi stradali, relativi a diverse tipologie del territorio (urbano, sub-urbano, montano, rurale).

Dalla campagna di misure si possono trarre le seguenti conclusioni:

- La condizione di campo e.m. minimo ($35 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$) richiesto per il 99% delle località è stata sempre verificata con margini adeguati su tutti i percorsi esaminati dalla rete SFN.
- Per quanto riguarda il fattore di variazione locale del campo e.m. sono emersi valori compresi tra 5,8 e 9,3 dB, inferiori quindi al valore di 13 dB normalmente assunto come riferimento dall'EBU e dalla CEPT. Tali valori, seppure relativi ad una statistica ancora limitata, sono sostanzialmente coerenti con i risultati ottenuti in altri paesi e riportati in letteratura. In ogni caso è opportuno osservare che le misure sono state effettuate prevalentemente in una zona in cui la presenza di alte montagne crea echi di elevato livello che possono contribuire attraverso cammini multipli a ridurre le variazioni del

segnale ricevuto portando a valori del fattore di variazione locale inferiori.

- *Relativamente al guadagno di rete SFN* sono stati trovati valori compresi tra 0,5 e 5,4 dB a seconda della differenza tra i livelli di potenza mediani dei segnali ricevuti dai vari trasmettitori nelle aree esaminate, con risultati comparabili a quelli riportati in bibliografia.
- La qualità del segnale audio digitale si mantiene indenne dai disturbi e riproduce la qualità del segnale di sorgente su tutta l'area servita, anche in ambiente urbano e montano dove è frequente la propagazione multipercorso. In tali zone, per contro, la qualità del segnale audio trasmesso in modulazione di frequenza è spesso degradata a causa dell'effetto interferente dei contributi di riflessione.
- A scopo dimostrativo è stata effettuata, nell'area di servizio intorno ad Aosta, una registrazione del programma Radio 2 Time, diffuso sia in modulazione di frequenza che con il sistema DAB-T e ricevuto in movimento a bordo dell'auto attrezzata. La registrazione consente di confrontare direttamente la qualità dei due segnali audio analogico e digitale in varie condizioni di ricezione.

7. Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare il sig. O. Martinati per l'attiva collaborazione nella realizzazione del sistema di misura.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - M. ARIAUDO, G. BLANCHIETTI, S. RIPAMONTI: *Sperimentazione DAB: sistemistica della rete in Valle d'Aosta*, «Relazione Tecnica RAI Centro Ricerche», N. 92/53, 1992.
- 2 - R. FRIGERIO, R. PELLIZZONI: *Misure DAB in Valle d'Aosta*, «Relazione Tecnica RAI QTA/CQ Centro di Controllo», N. 1026, marzo 1995.
- 3 - M. COMINETTI: *The RAI plans for DAB field tests*, «EBU Technical Review», N° 262, Winter 1994.
- 4 - EBU: *Technical Bases for T-DAB Planning*, «Doc. SPB 495», gen. 1995.
- 5 - M.C.D. MADDOCKS e altri: *Digital Audio Broadcasting: Measuring techniques and coverage performance for a medium power VHF single frequency network*, «BBC RD»1995/2.
- 6 - R. SCHRAMM, J. FRANK: *Fading in the Mobile DAB Radio Channel. Measurements in a Single Frequency Network in Bavaria*, «IRT Technical Report», 20th Sep. 1994.
- 7 - ITU-R Special Publication: *Terrestrial and Satellite Digital Sound Broadcasting to Vehicular, Portable and Fixed Receivers in the VHF/UHF Bands*, Geneva, 1995.