

CAMPAGNA DI MISURE DAB-T SU IMPIANTI TRASMITTENTI SINGOLI

R. FRIGERIO, R. PELLIZZONI*

SOMMARIO — Si riportano i risultati di una campagna di misure effettuate in Valle d'Aosta, in ricezione mobile nell'area di servizio dei singoli impianti trasmettenti, finalizzata alla determinazione della copertura in termini di campo e.m. mediano (50%) e del fattore di variazione locale per segnali a banda larga e a banda stretta ottenuto dal confronto tra le misure con segnale DAB a banda larga e segnale PAL a banda stretta. Si riportano inoltre i risultati del confronto tra i valori mediani del campo e.m. misurato ed i valori ricavati dai metodi di previsione di campo e.m. ITU-R Racc. 370-5 e RAI Punto-Punto.

SUMMARY — *Field trials with single transmitters for T-DAB.* This article presents some results of DAB field test, in mobile reception, carried out in Aosta-Valley, in order to evaluate both the coverage area of each single operating transmitters and the location factor, by the standard deviation in wide band for DAB signal and in narrow band for PAL signal. The measurement results have been also compared with prediction ITU-R Racc. 370-5 and RAI Punto-Punto methods, with the aim to investigate the performances of these methods when applied to wide-band signals.

1. Introduzione

Nell'ambito della sperimentazione DAB-T in Valle d'Aosta è previsto lo studio delle caratteristiche di propagazione dei segnali a larga banda, con modulazione digitale di tipo COFDM, allo scopo di ricavarne le informazioni necessarie all'adeguamento dei metodi di previsione punto-punto e ITU-R PN.370-5 attualmente calibrati sulle esigenze di pianificazione dei tradizionali servizi analogici.

Nei mesi di ottobre e dicembre 1994 è stata effettuata in Valle d'Aosta una prima serie di misure in movimento dedicate principalmente alla *verifica delle aree di servizio dei singoli trasmettitori*, che costituiscono la rete a singola frequenza realizzata per la sperimentazione, e allo studio del *fattore di variazione locale dei segnali a larga banda relativi al campo e.m. irradiato dei singoli trasmettitori*. In questo rapporto ne vengono illustrati i risultati.

I valori del campo e.m. in area di servizio possono essere calcolati in anticipo applicando i due metodi più diffusamente impiegati per i sistemi analogici: il metodo ITU-R Racc. 370-5 ed il metodo RAI Punto-Punto. Anche se tali metodi risultano inadeguati per i sistemi numerici, si ritiene utile ed indicativo effettuare, a scopo di confronto, una elaborazione statistica dei risultati calcolati e di quelli derivati dalle misure (valori mediani), ricavando l'errore medio di previsione, la deviazione standard e l'errore massimo raggruppati per tipologia di territorio (urbano, sub-urbano, rurale) e per categoria dei profili tra punto trasmittente e

punto ricevente. Saranno riportati i risultati del confronto con alcune osservazioni critiche e giustificativi degli scostamenti rilevati in relazione ai limiti dei metodi predittivi impiegati.

Le caratteristiche radioelettriche dei trasmettitori, quali la ERP massima e le direzioni di massima irradiazione, che compongono la rete sperimentale a singola frequenza in Valle d'Aosta sono riportate nell'articolo «Architettura e sistemistica della rete SFN in Valle d'Aosta» in questo numero della rivista. I tre trasmettitori sono stati dimensionati in modo da servire la città di Aosta con campi di intensità simile. Per ulteriori dettagli si rimanda agli articoli indicati in bibliografia 1 e 2.

Ogni trasmettitore può in alternativa irradiare un segnale modulato in PAL alla frequenza di 224,25 MHz con la stessa ERP di irradiazione del segnale DAB.

2. Strumenti e metodologie impiegati nelle rilevazioni

La vettura Regata week-end utilizzata per le misure in movimento è stata dotata di una antenna a stilo $\lambda/4$ collocata al centro del tettuccio e di un'antenna per la ricezione dei satelliti del sistema GPS utilizzato per la rilevazione della posizione del veicolo durante le misure. All'interno della vettura sono stati sistemati un misuracampo Rohde & Schwarz ESVB, un computer portatile ed il ricevitore GPS Pathfinder Professional prodotto dalla Trimble Navigation.

La procedura di rilevazione delle misure è gestita da un software dedicato che attraverso una serie di menù a scelta consente all'operatore di impostare la configurazione del misuracampo ed altri dati o commenti inerenti il percorso. Dato il via alle rilevazioni, selezionando l'apposito menù, il programma provvede poi a memorizzare con data e ora le

* P.i. Roberto Frigerio e Renato Pellizzoni del Controllo Qualità del Centro di Controllo RAI — Monza.

Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 12 Novembre 1996.

TABELLA 2
LUNGHEZZE DEI PERCORSI DI MISURA (IN CHILOMETRI) SUDDIVISI
PER TIPO DI AMBIENTE

	urbano	suburbano	rurale-montagnoso	tutti
Saint Vincent	16	117	23	156
Blavy Roisan	5.5	54	52	111.5
Gerdaz Gressan	5.5	58	32	95.5
tutti	27	229	107	363

misure che riceve dal misuracampo. La scansione delle rilevazioni è ricavata dal movimento della vettura mediante un dispositivo di divisione programmabile, realizzato nel laboratorio del Centro di Controllo, che fornisce un impulso di trigger al misuracampo ogni predefinito numero di impulsi ricevuti da un optoisolatore sollecitato dalla rotazione del cavo collegato al contachilometri della vettura. La rilevazione delle posizioni del veicolo avviene in modo indipendente dalla procedura di misura.

All'inizio di ogni percorso al ricevitore GPS viene dato il comando di memorizzare, in una memoria interna tampinata, tutte le posizioni che riesce a calcolare (circa una ogni secondo nelle condizioni migliori). Al termine delle rilevazioni le posizioni vengono scaricate nel disco rigido del computer e successivamente vengono corrette differenzialmente, confrontandole con i dati acquisiti da un altro ricevitore GPS situato nella stazione base a Monza. La fase di correzione è necessaria allo scopo di eliminare gli errori inseriti intenzionalmente, dal dipartimento della difesa statunitense, nel sistema GPS. Infine le posizioni corrette vengono assegnate alle misure in base alla corrispondenza temporale delle rilevazioni.

È da segnalare che la ricezione dei satelliti GPS raramente è venuta a mancare anche nelle condizioni più difficili come nei percorsi all'interno della città di Aosta.

3. Misure

In previsione di uno studio degli effetti dei fading veloci il passo di acquisizione delle misure è stato fissato a 25 cm di spostamento della vettura corrispondenti a circa $\lambda/5$. Le misure sono state rilevate lungo le principali strade nei dintorni di Aosta e St. Vincent, nella zona compresa fra le due città e all'interno delle stesse. Sono stati esaminati 13 percorsi di lunghezza diversa (9 dei quali ripetuti attivando a turno ognuno dei tre trasmettitori), suddivisi per tipo di territorio nelle categorie: urbano, sub-urbano e rurale. Su alcuni percorsi sono state rilevate, a scopo comparativo, anche misure a banda stretta irradiando da St. Vincent un segnale modulato in PAL.

Nella tabella 2 è indicato, per ogni tipo di territorio e per ogni trasmettitore, il numero di chilometri dei percorsi di misura.

Nella figura 1 sono indicati, in proiezione cartografica Lambert sferica, i percorsi lungo i quali sono state effettuate le misure (ad esclusione dei tragitti cittadini), e la posizione dei trasmettitori della rete in esame. Ogni percorso è stato evidenziato con un proprio colore.

I segnali DAB sono stati misurati in RMS e predisponendo il filtro IF del misuracampo ad una larghezza di 1,5 MHz. Il segnale PAL è stato misurato rilevando il valore del picco sincronismi con il filtro IF a 300 kHz. I valori dati dal misuracampo erano espressi in tensione all'ingresso dello strumento ($\text{dB}(\mu\text{V})$) ed il coefficiente per la conversione in campi e.m. ($\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$) è stato calcolato pari a 18,5 dB (dato un guadagno di antenna di $-2,5$ dB ed una attenuazione del cavo di circa 1 dB).

Prima di procedere alla elaborazione le misure sono state passate ad un filtro software per l'eliminazione delle rilevazioni acquisite durante i periodi di *null symbol* e dei disturbi prodotti dalle accensioni e dalle iniezioni elettroniche dei motori.

4. Elaborazione delle misure

Le nuove tecniche di codifica e modulazione digitale dei sistemi di trasmissione DAB sono, come noto, efficacemente protette dagli effetti distorcitori del multipath ed al contrario si avvalgono del contributo energetico portato dalle riflessioni. Ai fini della verifica dell'estensione del servizio e per lo studio del fattore di variazione locale è necessario quindi ignorare i fading veloci e selettivi

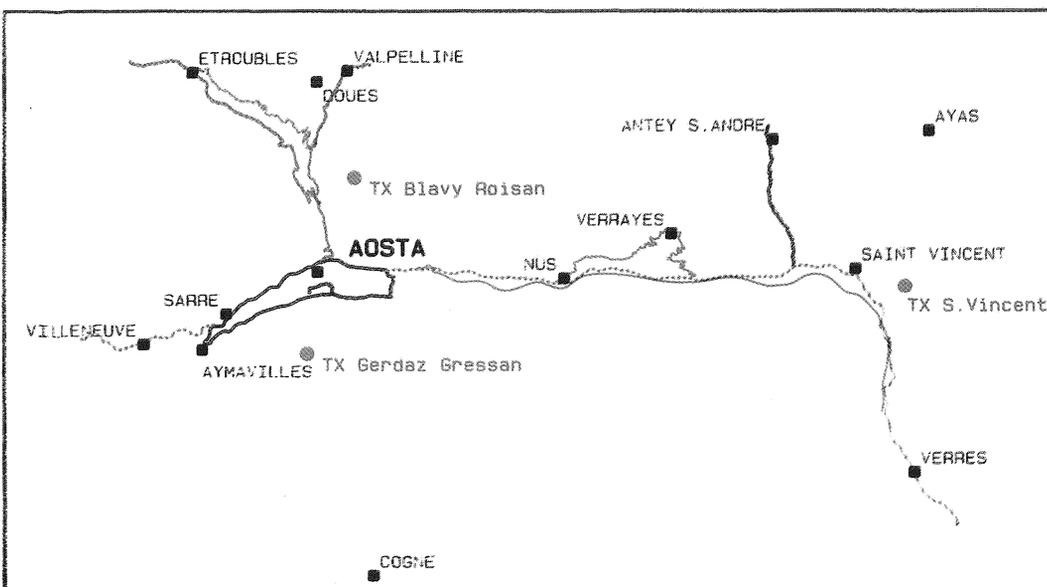


Fig. 1 — Indicazione, su proiezione cartografica Lambert, dei percorsi lungo i quali sono state effettuate le misure e la posizione dei trasmettitori della rete in esame.

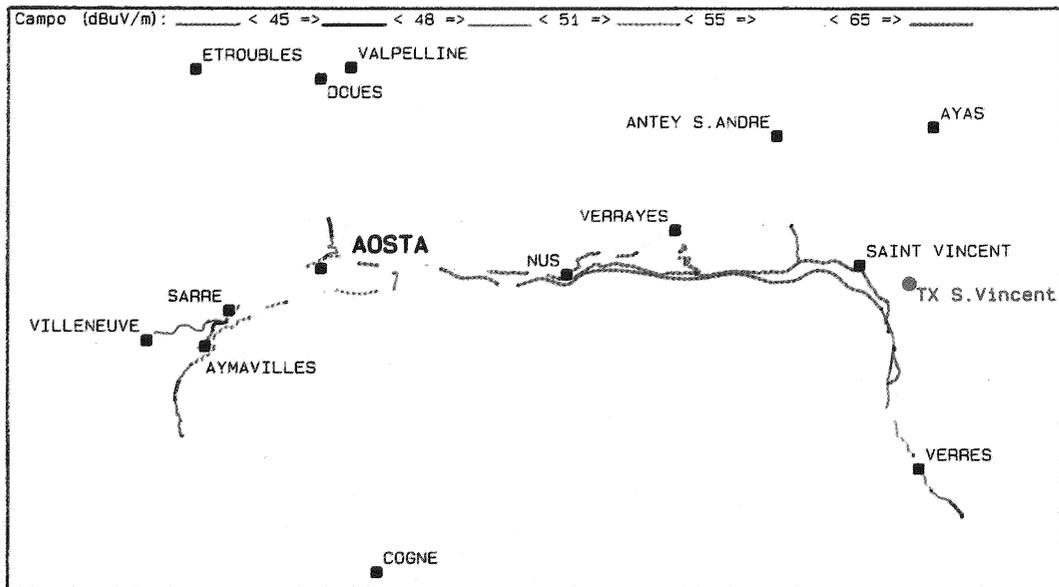


Fig. 2 — Indicazione dei percorsi di misura, suddivisi in tratti di 1 Km di lunghezza, per il trasmettitore di Saint Vincent. I colori indicano il valore del campo raggiunto dal 50% della distribuzione dello slow-fading.

(FAST-FADING) e prendere in considerazione solo le variazioni di segnale dovute allo SLOW-FADING ovvero alle attenuazioni date dagli ostacoli vicini e lontani, di grandi dimensioni rispetto alla lunghezza d'onda, che intercettano l'ellissoide di Fresnel. Le variazioni dovute esclusivamente allo slow fading sono state rilevate calcolando i valori medi dei campi ricevuti in ogni frazione di 25 metri di percorso (approssimando che all'interno di un settore di tale lunghezza lo slow fading sia costante). Dalle distribuzioni di tali medi, formate suddividendo i percorsi in tratti da 1 chilometro, sono stati ricavati la media, il mediano e la deviazione standard.

Sono stati esaminati anche gli effetti combinati dello SLOW+FAST-FADING ricavando gli stessi parametri dalla semplice distribuzione delle misure rilevate per ogni chilometro. In questo modo sono state elaborate anche le misure sul segnale modulato in PAL.

Il servizio nelle città di Aosta e St. Vincent è stato descritto con degli istogrammi che rappresentano, per lo slow fading, la percentuale di campioni per fasce di livello del campo ricevuto.

Il livello di campo minimo utile preso come riferimento per la verifica del servizio DAB è di 48 dB(μV/m) (livello minimo per il 50% dell'area) (vedi Bibl.3).

Il fattore di variazione locale è stato esaminato in dettaglio classificando ogni tratto di 1 chilometro per tipo di territorio (urbano, suburbano, rurale) e per categorie di distanza dal trasmettitore (da 0 a 5 Km, da 5 a 10 Km, da 10 a 15 Km etc.) e calcolando, per ogni classificazione, la media delle deviazioni standard.

Le misure sono state elaborate su workstation Apollo ed HP710 con software codificato in linguaggio C.

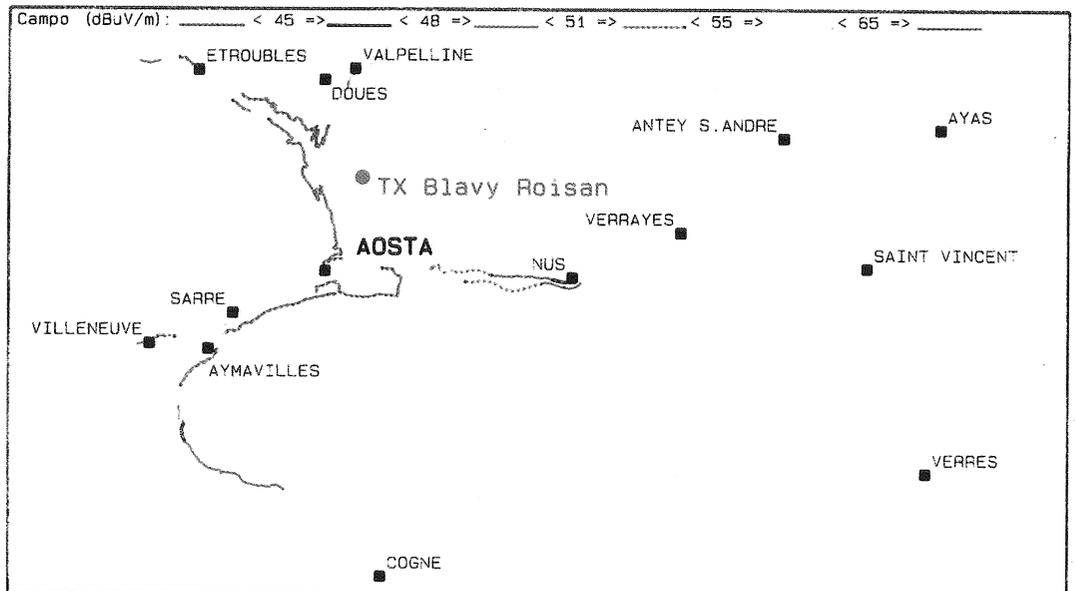


Fig. 3 — Indicazione dei percorsi di misura, suddivisi in tratti di 1 Km di lunghezza, per il trasmettitore di Blavy. I colori indicano il valore del campo raggiunto dal 50% della distribuzione dello slow-fading.

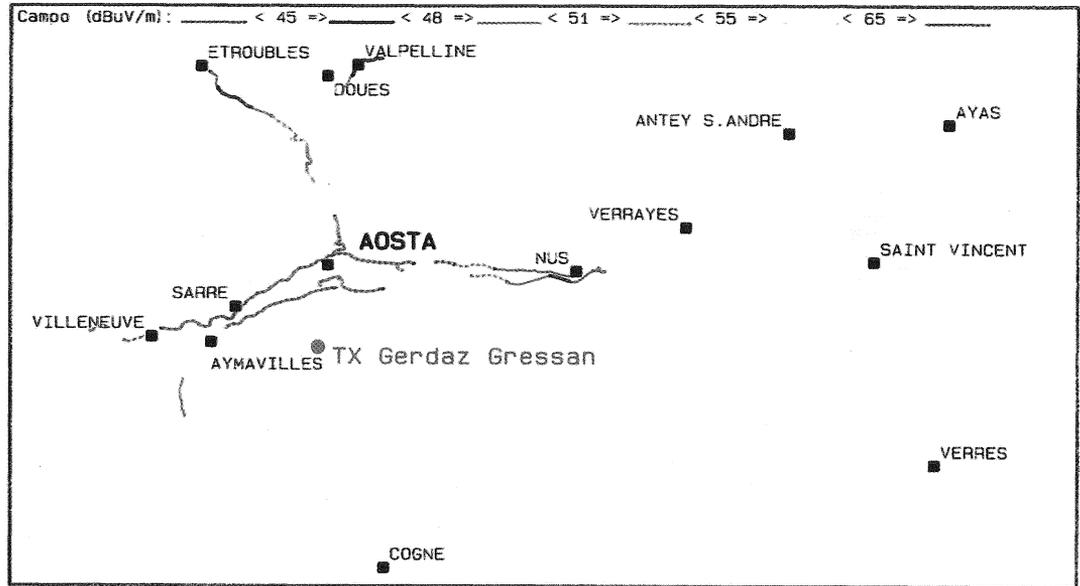


Fig. 4 — Indicazione dei percorsi di misura, suddivisi in tratti di 1 Km di lunghezza, per il trasmettitore di Gerdaz. I colori indicano il valore del campo raggiunto dal 50% della distribuzione dello slow-fading.

5. Risultati delle elaborazioni

5.1 AREE DI SERVIZIO

Nelle figure 2, 3 e 4 sono indicati per ogni trasmettitore, in rappresentazione di tipo cartografico, i percorsi di misura suddivisi a tratti, di 1 km di lunghezza, colorati in funzione del livello raggiunto dal 50% della distribuzione dello slow-fading.

Nella figura 5 sono riportati, con lo stesso tipo di rappresentazione cartografica ma non in scala, i dettagli del servizio dato da un trasmettitore lungo un percorso preso a campione, con il relativo andamento dei campi mediani calcolati ogni 25 metri. La linea rossa tracciata nel grafico dei campi mediani indica la soglia di campo minimo utile richiesto per il 50% dei luoghi (48 dB(μV/m)).

Il trasmettitore di St. Vincent, che ha l'area di servizio più estesa, raggiunge, con campi generalmente superiori a 55 dB(μV/m), Aosta in direzione ovest, Antey S.Andrè in

direzione nord lungo la statale 406 del Cervino, e Verres in direzione sud.

La statale 27 del San Bernardo, Aosta e le periferie a sud ed a ovest sono servite dal trasmettitore di Blavy con campi maggiori di 55 dB(μV/m).

Il trasmettitore di Gerdaz serve, con campi maggiori di 60 dB(μV/m) Aosta e le periferie est e nord.

Ad iniziare dalla periferia est di Aosta, andando in direzione di St. Vincent, il segnale di Gerdaz diminuisce rapidamente scendendo dopo pochi chilometri sotto la soglia del campo minimo utile.

Nelle figure 6 e 7 sono riportati gli istogrammi che descrivono la distribuzione dei campi all'interno delle città di Aosta e St. Vincent.

Nella cittadina di St. Vincent il campo, fornito dal vicino trasmettitore situato in località Salirod, è sempre superiore a 66 dB(μV/m) ed il 90% dei valori è compreso fra 72 e 90 dB(μV/m).

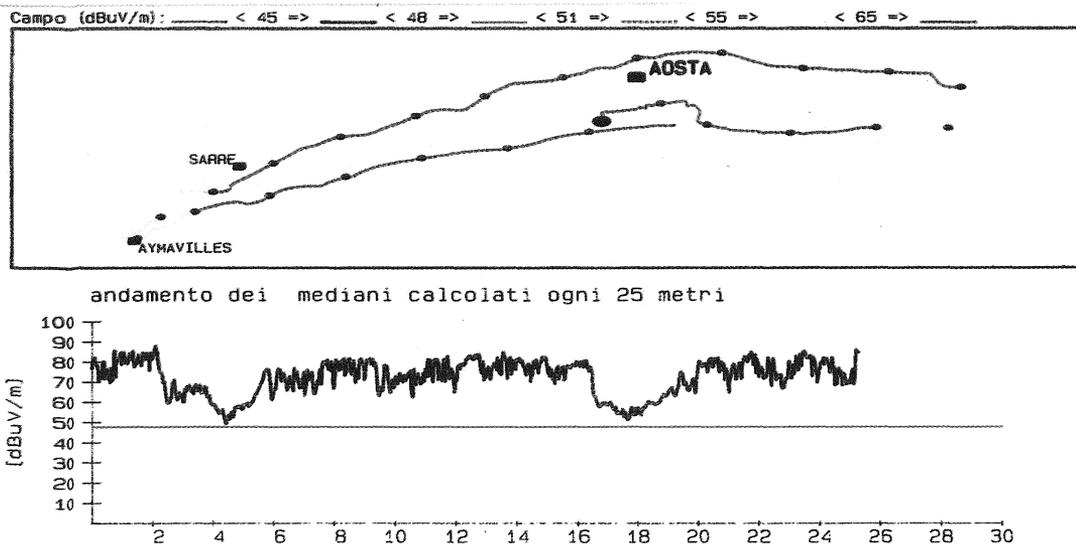


Fig. 5 — In alto, parte del percorso di Fig. 4 preso a campione; in basso, andamento dei relativi campi mediani calcolati ogni 25 metri. La linea rossa indica la soglia di campo minimo utile richiesto dal servizio per il 50% dei luoghi.

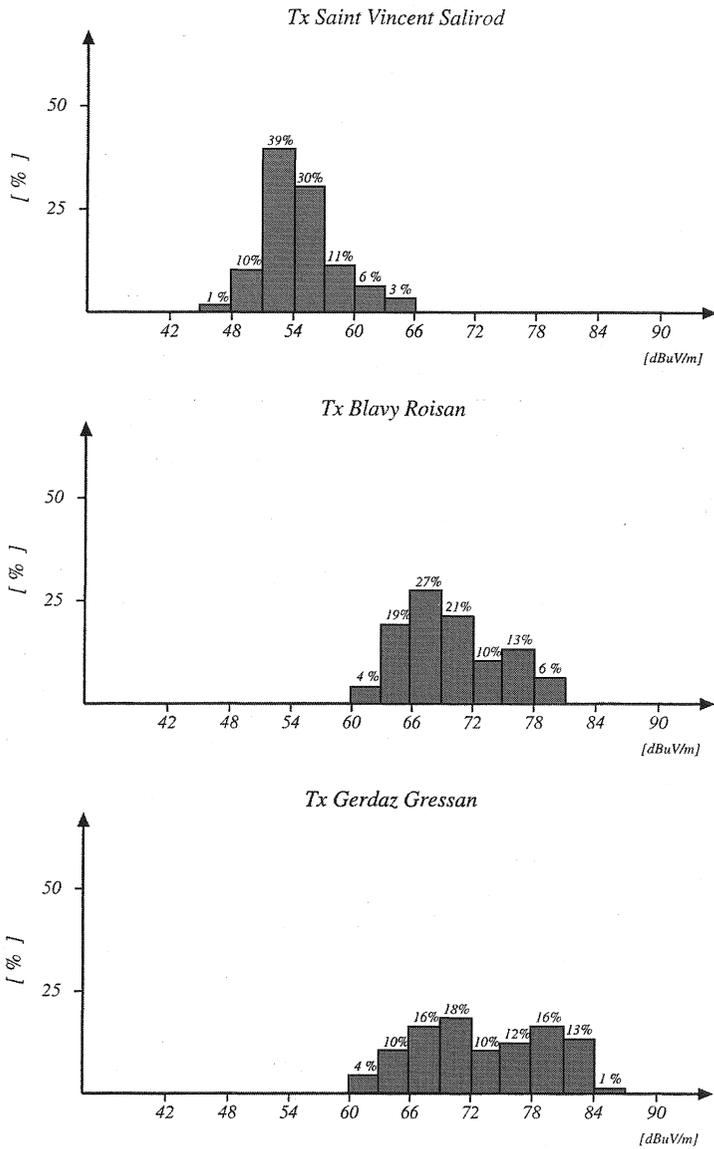


Fig. 6 — Indicazione dei campi medi (ogni 25 metri) nella città di Aosta. Le tre condizioni rappresentano i valori relativi ai singoli trasmettitori in potenza.

Nella città di Aosta i campi forniti dai trasmettitori di Blavy e Gerdaz sono sempre superiori a 60 dB(μ V/m).

I valori di campo maggiori sono dati dal trasmettitore di Gerdaz. I campi forniti dal trasmettitore di St. Vincent sono sufficienti a garantire il servizio almeno nel 90% della città.

Le distribuzioni dei campi forniti dai trasmettitori più vicini (Blavy e Gerdaz ad Aosta e St. Vincent Salirod a St. Vincent) hanno una dispersione maggiore se confrontate con la più compatta distribuzione dei campi forniti dal trasmettitore di Saint Vincent ad Aosta. Tale fenomeno è comprensibile se si considera che muovendosi all'interno della città di Aosta si hanno limitate variazioni di percorso del segnale proveniente dal lontano trasmettitore di Saint Vincent. Al contrario il percorso dei segnali provenienti dai trasmettitori più vicini varia sensibilmente, dipendendo principalmente dagli ostacoli vicini, con conseguente notevole variazione delle attenuazioni.

I singoli trasmettitori di St. Vincent, Blavy e Gerdaz in tutte le zone esaminate forniscono livelli di campo e.m. al

Tx Saint Vincent Salirod: campi e.m. (mediani ogni 25 m)

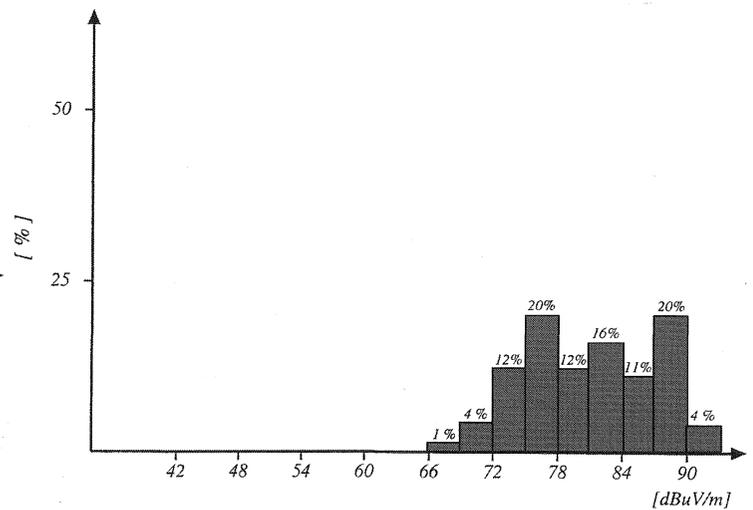


Fig. 7 — Indicazione dei campi medi (ogni 25 metri) nella città di Saint Vincent con il solo trasmettitore di Salirod in potenza.

50% nettamente superiori alla soglia di 48 dB(μ V/m), considerata il livello del campo minimo utile. Sono comunque previste ulteriori misure, attivando contemporaneamente i tre trasmettitori, allo scopo di esaminare gli eventuali miglioramenti, in termini di aumenti di segnale e diminuzione della dispersione, procurati dal guadagno di rete.

5.2 FATTORE DI VARIAZIONE LOCALE

Per lo studio del fattore di variazione locale, le deviazioni standard delle distribuzioni dello slow fading calcolate per ogni chilometro di percorso sono state classificate per fasce di distanze dal trasmettitore e per caratteristiche del territorio (urbano, suburbano e rurale). I valori medi di ogni classificazione sono stati utilizzati per la costruzione degli istogrammi di figura 8 e 9.

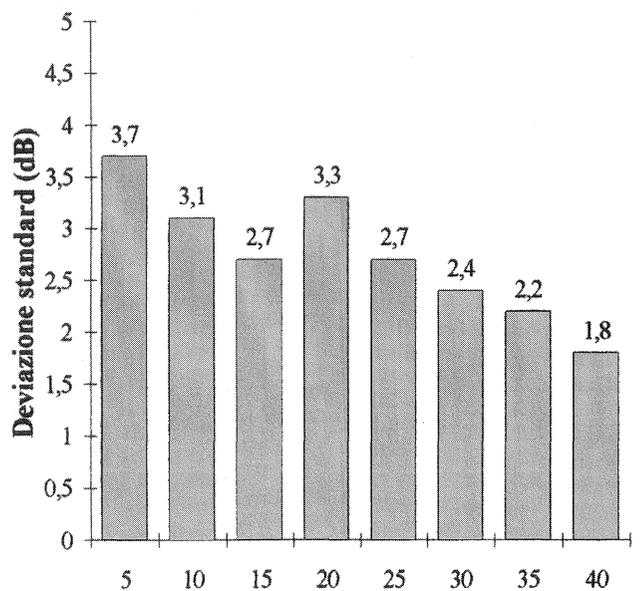


Fig. 8 — Deviazioni standard dello slow fading per fasce di distanze dal TX.

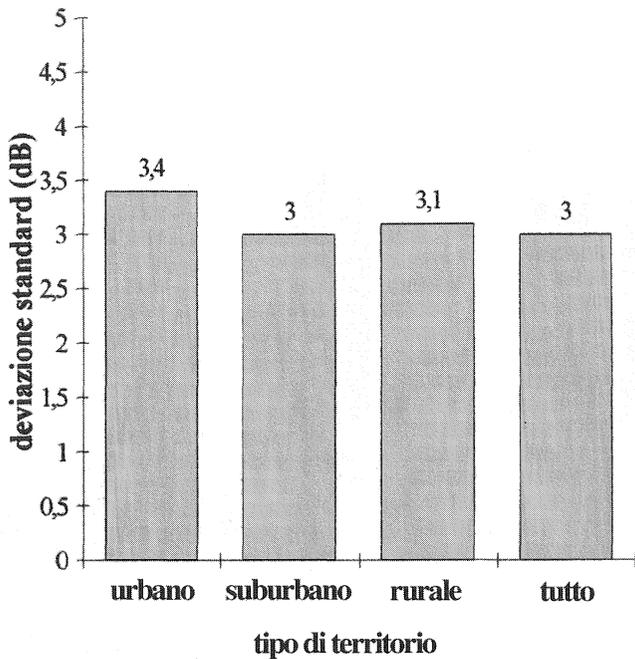


Fig. 9 — Deviazioni standard dello slow fading per tipo di territorio.

La deviazione standard diminuisce gradatamente all'aumentare della distanza e risulta leggermente maggiore in territorio urbano. I valori in termini assoluti sono comunque sensibilmente inferiori a 5,5 dB che attualmente è il valore più ricorrente nei documenti EBU. È opportuno tuttavia ricordare che la principale caratteristica della zona in cui sono state rilevate le misure è la presenza di alte montagne (i cui fianchi rappresentano efficaci punti di riflessione) e che le poche misure finora raccolte in ambienti simili, in ambito EBU, hanno dato risultati praticamente identici a quelli qui presentati. È comprensibile d'altra parte che la presenza di numerose e forti riflessioni attenui le variazioni di segnale dovute allo slow fading consentendo, anche in condizioni di forte schermatura del raggio diretto, di ricevere segnali di livello non trascurabile.

Poiché il valore medio di tutte le deviazioni standard calcolate è di 3 dB (figura 9), il coefficiente di passaggio tra il 50% e il 99% delle località, supponendo una distribuzione di tipo log-normale, risulta di circa 7 dB ($3 \cdot 2,33$) rispetto ai 13 dB ($5,5 \cdot 2,33$) attualmente stimati in ambito EBU.

Permane comunque la necessità di ulteriori verifiche essendo poche le misure che è stato possibile raccogliere in ambiente urbano, date le piccole dimensioni delle città, e considerando che, a causa delle poche strade percorribili e della limitata area di influenza dei trasmettitori, la grande maggioranza delle misure è stata rilevata in condizioni di continua visibilità dell'antenna trasmittente e quindi in condizioni di minore variabilità del segnale.

5.3 EFFETTO COMBINATO SLOW+FAST FADING

Allo scopo di esaminare gli effetti combinati dello slow+fast fading sono state calcolate le deviazioni standard, per ogni chilometro, delle distribuzioni di tutte le misure senza preelaborazioni rivolte a rimuovere gli effetti del fast fading. I valori medi calcolati per classi di distanze dal trasmettitore e per categorie di territorio sono riportati

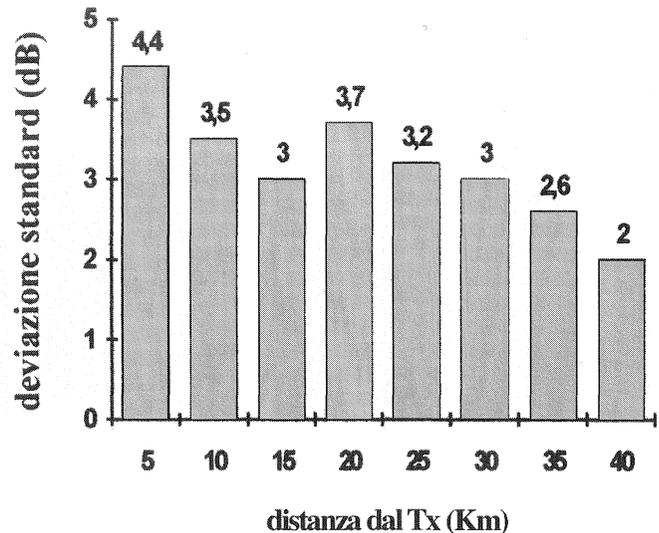


Fig. 10 — Deviazione standard dello slow+fast fading per fasce di distanze dal Tx.

negli istogrammi delle figure 10 e 11. Il comportamento è simile a quello dello slow fading (figure 8 e 9) con la differenza che i valori sono più alti di $0,2 \div 0,9$ dB. Ciò conferma che gli effetti del fast fading sui segnali a larga banda sono limitati e meno importanti delle variazioni dovute alla presenza di ostacoli fra l'antenna trasmittente e quella ricevente.

5.4 CONFRONTO DAB — PAL

Lungo sette percorsi, di cui tre cittadini, sono state effettuate anche misure a banda stretta (300 kHz in modo Peak) su un segnale modulato in PAL irradiato da St. Vincent con la stessa ERP di irradiazione del segnale DAB. Nell'istogramma della figura 12 sono riportati i risultati di tali misure a confronto con i risultati delle misure rilevate, a banda larga sul segnale DAB, nella stessa selezione di percorsi. I valori confrontati sono le deviazioni standard delle distribuzioni dei campi, calcolate per ogni chilometro, date dall'effetto combinato slow+fast fading.

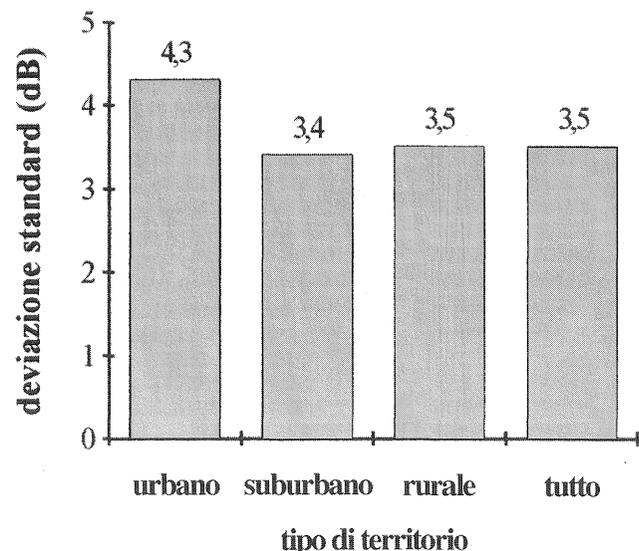


Fig. 11 — Deviazione standard dello slow+fast fading per tipo di territorio.

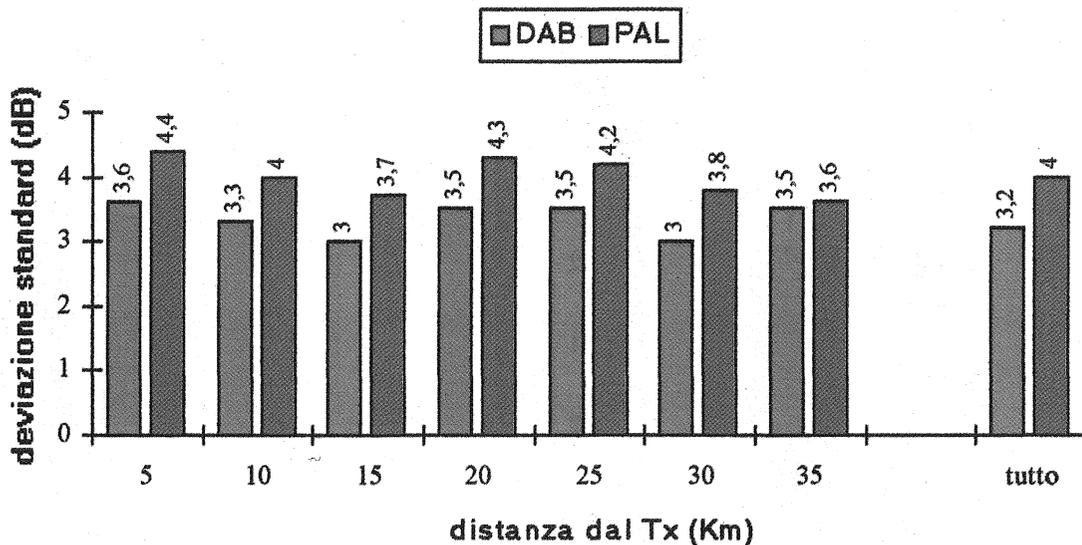


Fig. 12 — Deviazioni standard DAB e PAL dello slow+fast fading per classi di distanze.

Le misure sul segnale PAL hanno, come previsto, una deviazione standard maggiore rispetto al DAB anche se rimane comunque molto inferiore al valore di 8,3 dB che è la deviazione standard della curva del fattore di variazione locale per la banda III riportata nella Racc. 370. La differenza è ancora maggiore se si considera che la curva CCIR dovrebbe rappresentare un'area di circa 200 metri di lato, mentre i valori misurati rappresentano un chilometro di percorso, che mediamente corrisponde ad uno spostamento di minore entità ma sicuramente superiore a 200 metri.

Benché siano necessarie ulteriori verifiche e conferme quanto emerso finora, anche da misure effettuate in altre amministrazioni in ambito EBU, fa sospettare che l'attuale curva CCIR non rappresenti correttamente la distribuzione sul territorio dei campi ricevuti a banda stretta e non solo nelle zone montuose.

D'altra parte il fattore di variazione locale ha assunto particolare rilevanza solo recentemente da quando, nella pianificazione dei servizi a modulazione digitale, viene richiesto un campo minimo utile per il 99% dei luoghi. In precedenza il limitato impiego che aveva nella pianificazione dei tradizionali servizi analogici, per i quali si considerava servita un'area in cui il campo minimo utile è raggiunto nel 50% dei luoghi, non ha fatto sentire la necessità di maggiori e più dettagliate verifiche delle curve CCIR.

6. Confronto fra i metodi di previsione ITU-R Racc. 370-5 e RAI punto-punto

I risultati dei metodi di previsione ITU-R PN.370-5 e RAI Punto-Punto sono stati confrontati con misure a larga banda rilevate in Valle D'Aosta nella zona di sperimentazione della rete DAB su rete a singola frequenza. Vengono brevemente descritti i due metodi ed esaminati i risultati del confronto con le misure alla luce delle problematiche di pianificazione delle reti DAB.

6.1 METODI DI PREVISIONE

I metodi di previsione verificati sono sostanzialmente due: il metodo RAI Punto-Punto ed il metodo della Raccomandazione ITU-PN.370-5 (Bibl. 4 e 5). Quest'ultimo

consente il ricorso a parametri correttivi opzionali in relazione alle informazioni disponibili circa l'orografia del territorio. Si è perciò ritenuto opportuno verificarlo calcolando tre risultati distinti da diverse combinazioni dei correttivi opzionali previsti.

Il metodo RAI Punto-Punto (Bibl.6) utilizza modelli matematici che richiedono la rilevazione del profilo altimetrico ed applica coefficienti di correzione empirici calibrati con misure rilevate esclusivamente sul territorio italiano. Il valore di previsione risultante è rappresentativo di un'area le cui dimensioni dipendono dal modello digitale di territorio da cui vengono ricavati i profili. Gli effetti delle riflessioni, o della propagazione per percorsi multipli in generale, e delle caratteristiche ambientali in cui è collocato il punto ricevente non vengono presi in considerazione.

Il metodo della Racc. 370 (Bibl.4) è di facile applicazione e richiede poche e approssimative informazioni sull'orografia del territorio. È un metodo essenzialmente statistico ed il valore di previsione risultante è rappresentativo di un'area di circa 200 metri di lato. Nell'ultima revisione del marzo 1994 (Bibl.5) il metodo è stato modificato inserendo fra l'altro la correzione TCA (Terrain Clearance Angle) il cui scopo è di prendere in considerazione l'orografia del territorio in avvicinamento al punto ricevente.

Il valore di previsione iniziale, a cui successivamente sono applicabili correzioni opzionali, è derivato da curve di propagazione che descrivono l'andamento del campo ricevuto, in funzione della distanza e dell'altezza equivalente del trasmettitore, per un'altezza dell'antenna ricevente di 10 metri dal suolo. Le curve, che partono da una distanza minima di 10 chilometri, sono suddivise per bande VHF ed UHF, per percentuali di tempo e per percorsi di terra e di mare.

Un parametro di correzione (Height Gain), calcolato con una semplice formula in funzione del tipo di ambiente circostante (urbano, sub-urbano o rurale), permette di ricavare il campo ricevuto ad altezze diverse da 10 metri. Un altro parametro di correzione previsto nel metodo è Δh che dipende dal grado di irregolarità del terreno nella zona fra 10 e 50 chilometri di distanza dal trasmettitore in direzione del punto ricevente. I valori rilevati dalle curve di propagazione si riferiscono ad un $\Delta h = 50$ metri e quindi per valori diversi è prevista una correzione. Nell'ultima versione del-

la raccomandazione tuttavia si suggerisce di utilizzarlo in alternativa al TCA preferendo quest'ultimo se disponibile. Seguendo il suggerimento la verifica del metodo è stata effettuata confrontando con le misure le previsioni senza correzioni, con la correzione Height Gain, con la correzione TCA e con ambedue le correzioni senza considerare la correzione Δh .

6.2 RELAZIONI FRA MISURE E PREVISIONI

I profili altimetrici necessari per il calcolo delle previsioni con il metodo RAI Punto-Punto ed i dati necessari per le previsioni ITU-R PN.370-5 sono stati ricavati da una banca dati digitale del territorio che ha una risoluzione (pixel) di circa 230 m x 230 m. Per il confronto tra misure e previsioni si è perciò ritenuto opportuno associare ad ogni valore di previsione calcolato nel punto centrale di un pixel di territorio, attraversato dai percorsi di misura, il valore mediano delle misure raccolte nello stesso pixel. Tale valore è stato ricavato dalla distribuzione dei mediani relativi ai settori di 25 metri di percorso giacenti nel pixel. L'altezza dell'antenna ricevente, nel calcolo con il metodo RAI, è stata fissata a 2 metri dal suolo.

Le previsioni con il metodo ITU sono state calcolate solo nei pixels a distanza maggiore di 10 chilometri dal trasmettitore misurato essendo questa la distanza minima per l'applicabilità del metodo. L'altezza equivalente, necessaria per accedere alle curve di propagazione, e la correzione TCA sono calcolabili solo per distanze maggiori di 15 e 16 Km rispettivamente. Nei casi in cui la distanza era inferiore l'altezza equivalente è stata ricavata dalla differenza tra le altezze delle antenne trasmittente e ricevente e la correzione TCA non è stata considerata.

I valori di previsione sono stati calcolati tenendo conto dei diagrammi di irradiazione delle antenne trasmittenti.

La precisione dei metodi di previsione è stata valutata in base ai parametri statistici: media, valore massimo e deviazione standard dell'errore Eprev calcolato come la differenza fra il valore di previsione Fprev relativo ad un pixel ed il valore mediano Fmis delle misure rilevate all'interno dello stesso pixel:

$$E_{prev} = F_{prev} - F_{mis}$$

I risultati statistici di Eprev, relativi ai due metodi di previsione comprese le varianti del metodo ITU, sono stati inizialmente calcolati sulla base del confronto con tutte le misure e con le misure suddivise per tipi di ambiente: urbano, sub-urbano e rurale. Successivamente sono state effettuate ulteriori elaborazioni allo scopo di verificare in modo dettagliato il comportamento dei metodi in relazione alle caratteristiche dei profili.

6.3 ANALISI DEI RISULTATI DEL CONFRONTO

6.3.1 Metodo RAI Punto-Punto

Il metodo RAI produce errori notevoli, quasi sempre in senso pessimistico rispetto ai maggiori livelli misurati, con elevate deviazioni.

In ambiente urbano l'errore risulta di segno positivo con una deviazione standard relativamente piccola. Ciò dipende dal fatto che le città in cui sono state rilevate le misure sono in perfetta visibilità degli impianti trasmittenti ed il

metodo di previsione, che non considera le attenuazioni dovute agli edifici, produce valori semplicemente calcolati in spazio libero e quindi maggiori dei livelli misurati.

La deviazione standard è piccola per effetto della cosiddetta «perdita di ingombro» (clutter loss) che si traduce, in città, in una attenuazione quasi costante determinata dalla densità e vicinanza degli edifici che raramente permettono la visibilità dell'antenna trasmittente.

In ambiente sub-urbano la deviazione standard aumenta notevolmente e l'errore, che cambia di segno e diventa negativo, diminuisce leggermente. L'antenna ricevente è in posizioni più aperte ed è possibile ricevere campi considerevoli, anche quando la direzione del trasmettitore è pesantemente schermata, per effetto delle numerose riflessioni tipiche delle zone montagnose.

In ambiente rurale gli effetti delle riflessioni sono ancora più evidenti ed aumentano decisamente sia l'errore medio che la deviazione standard.

L'errore medio cresce all'aumentare della distanza ed in misura ancora maggiore, all'aumentare del numero di ostacoli, raggiungendo valori enormi con deviazioni standard sempre notevoli quando gli ostacoli sono più di due.

Gli errori minori si hanno sui profili in visibilità o radenti quando tuttavia il metodo produce il valore di campo calcolato in spazio libero e l'errore è di senso ottimistico.

Alle brevi distanze l'errore e la deviazione medi sono minori ma l'errore massimo è sempre notevole. Tale divergenza si spiega considerando che tra i punti a breve distanza sono in maggioranza quelli in visibilità (che riducono l'errore medio) ma ve ne sono anche alcuni pesantemente schermati nei quali l'errore raggiunge livelli considerevoli.

6.3.2 Metodo ITU-R PN.370-5

Il metodo della Racc. 370 produce risultati sensibilmente diversi in relazione alle correzioni applicate.

I risultati migliori sono stati ottenuti applicando la sola correzione Height Gain che ha prodotto un errore medio di circa -1.5 dB in tutti gli ambienti.

La correzione TCA causa, in tutti i casi esaminati, un drastico aumento della deviazione standard dell'errore di previsione mantenendo il segno positivo (previsioni ottimistiche) dell'errore iniziale delle previsioni (ottenute dalle sole curve di propagazione).

In ambiente rurale si ha una maggiore deviazione dell'errore; nei casi di profili in visibilità o radenti l'errore tende ad aumentare mentre diminuisce la deviazione.

In presenza di almeno un ostacolo lungo il profilo la deviazione standard tende ad aumentare.

Si è notato inoltre che in presenza di angoli TCA con elevati valori negativi ($\leq -1^\circ$), quando quindi il punto ricevente è significativamente schermato, la deviazione standard dell'errore aumenta sensibilmente soprattutto quando la correzione TCA è applicata.

6.3.3 Osservazioni sui risultati

Il quadro dei risultati ottenuti assume una chiara logica se visto alla luce delle peculiarità della zona montuosa, in cui sono state rilevate le misure, dove la presenza di numerose e forti riflessioni consente di ricevere segnali di notevole livello anche in punti fortemente schermati alla vista dell'antenna trasmittente (una meccanica di propagazione di questo tipo è descritta nel paragrafo 7 del Rapporto CCIR 1145 (Vol. 5) e viene definita con il nome di «obstacle gain»).

Il metodo RAI, come detto, prende in considerazione solo l'attenuazione del raggio diretto dall'antenna trasmittente a quella ricevente. Le previsioni prodotte nei punti lungo i percorsi di misura effettuati in Valle D'Aosta, dove si passa frequentemente e repentinamente da una condizione di visibilità del trasmettitore ad una di forte schermatura, hanno perciò una distribuzione con ampie deviazioni mentre in realtà il segnale ricevuto è relativamente costante grazie al contributo delle riflessioni.

Gli errori maggiori si verificano nei punti schermati, situati in una direzione in cui il diagramma dell'antenna trasmittente ha un minimo, dove si riceve un raggio riflesso che invece ha origine da un massimo di irradiazione dell'antenna trasmittente. Il segnale misurato è quindi una riflessione irradiata alla massima potenza attenuata solo dalla perdita nel punto di riflessione (ad esempio il fianco di una montagna), che può valere anche pochi dB, mentre il metodo di previsione considera, oltre alle drastiche attenuazioni dovute agli ostacoli sulla linea di visibilità, anche la riduzione della potenza irradiata nella direzione del punto.

Gli errori minori, d'altra parte, si verificano nei punti in visibilità e nelle direzioni di massima irradiazione dei diagrammi d'antenna dove il segnale diretto è preponderante. La maggiore attenuazione ambientale nelle zone suburbane riduce il contributo delle riflessioni e quindi riduce gli errori di previsione rispetto alle zone rurali.

Le previsioni originate dalle curve di propagazione della Racc. 370 dipendono principalmente dalla distanza, anche in territorio montagnoso, e quindi hanno minori variazioni, lungo i percorsi di misura, con una distribuzione

più simile a quella dei valori misurati. L'azione peggiorativa della correzione TCA, che dà maggiore peso al profilo in avvicinamento al punto ricevente, era prevedibile alla luce degli effetti dei segnali riflessi descritti sopra. Il notevole incremento dell'errore e della deviazione sui profili con angoli TCA minori di -1° (dimostra che sono numerosi i casi in cui il punto ricevente è schermato nella direzione del trasmettitore, ma è raggiunto da riflessioni provenienti da direzioni più libere).

È da segnalare che la correzione Height Gain ha quasi azzerato gli errori medi, in tutti gli ambienti, confermando la validità del nuovo metodo di calcolo dei valori di correzione adottato nell'ultima revisione della Raccomandazione.

7. Conclusioni

Sono stati riportati i risultati di una campagna di misure DAB-T, effettuata in Valle d'Aosta, con ricezione mobile dai singoli impianti trasmittenti, che ha portato alla determinazione dell'area scelta da ciascun impianto e del fattore di variazione locale che corrisponde al coefficiente correttivo per passare dal 50% al 99% della copertura delle località.

Inoltre è stato effettuato il confronto tra la distribuzione statistica del campo e.m. misurato sul segnale DAB-T a larga banda (1,5 MHz) e sul segnale PAL a banda stretta (300 kHz) irradiando i segnali con la stessa ERP dall'impianto di St.Vincent.



Fig. 13 — Veduta frontale del Centro Tramittente RAI a Saint Vincent.

Infine è stato effettuato il confronto delle misure con i valori derivati dai metodi di previsione.

I principali risultati ottenuti sono:

- il valore mediano del campo e.m. risulta in tutte le zone esaminate superiore al valore di 48 dB(μ V/m) (livello minimo a 1,5 m di altezza sul livello del suolo, stabilito in sede CEPT per la pianificazione). Nelle città di Aosta e St. Vincent sono stati rilevati valori anche superiori (rispettivamente 60 dB(μ V/m) per Aosta e 66 dB(μ V/m) per St. Vincent).
- Il fattore di variazione locale risulta uguale a 7 dB, derivato dalla deviazione standard di 3 dB dei campi medi misurati, nell'ipotesi di distribuzione log-normale. È pertanto inferiore al valore fissato per la pianificazione dei segnali a banda larga (deviazione standard 5,5 dB; fattore di variazione locale 13 dB). Ulteriori verifiche sono necessarie specialmente in ambiente urbano in zone non in visibilità diretta dell'antenna trasmittente, in condizione di maggiore variabilità del segnale.
- L'analisi degli effetti combinati dello Slow+fast fading porta a valori di deviazione standard simili (se pure lievemente superiori) al caso della analisi dello slow fading, dal che si deduce che gli effetti del fast fading sui segnali a larga banda sono limitati.
- Il confronto segnale DAB-T a banda larga (1,5 MHz) e PAL a banda stretta (300 kHz) evidenzia una deviazione standard del campo e.m. maggiore per i segnali a banda stretta che risulta di circa 4 dB (con variazione di $\pm 0,5$ dB in funzione della distanza dal trasmettitore) ed è comunque inferiore al valore 8,3 dB, deviazione standard del fattore di variazione locale per segnali a banda stretta per la banda III riportata sulla Racc. 370.

Dal confronto delle misure con i valori derivati dai metodi di previsione RAI PuntoPunto ed ITU-R PN 370-5 risulta che:

- Il metodo RAI, che si basa solo sul calcolo delle attenuazioni lungo il profilo altimetrico, rilevato nel piano verticale della congiungente trasmettitore — punto ricevente, ha prodotto errori notevoli. Il metodo RAI inoltre manca anche di correttivi legati al tipo di ambiente non disponendo di una banca dati del territorio che contenga anche informazioni topografiche.
- Il metodo ITU-R della Racc. 370-5, che prende in considerazione le caratteristiche topografiche, seppure in

modo solo statistico, e limitate informazioni sul profilo altimetrico, ha prodotto risultati nettamente migliori ed in particolare, senza l'applicazione della correzione TCA. I valori delle correzioni Height Gain, modificati nell'ultima versione della Raccomandazione, trovano invece, nei risultati di questi confronti, una ulteriore conferma.

Attualmente per la pianificazione delle reti DAB-T è comunque sicuramente consigliabile il ricorso al metodo ITU che, d'altra parte, stando ai risultati fin qui ottenuti, sembra più adeguato a questo scopo che non alla pianificazione delle tradizionali reti TV ed FM per cui è stato creato.

Nessuno dei due metodi ha prodotto comunque risultati soddisfacenti poiché entrambi mancano di modelli che tengano conto dei raggi riflessi e della propagazione per percorsi multipli. D'altra parte per la pianificazione delle tradizionali reti TV ed MF, che in genere prevedono una utenza dotata di antenne direttive, non è strettamente necessario considerare i raggi riflessi che oltretutto producono solo effetti dannosi. Nella pianificazione delle reti di diffusione del segnale DAB, al contrario, non può essere ignorato il contributo energetico, che il sistema è in grado di utilizzare efficacemente, fornito dai raggi riflessi soprattutto nelle zone montuose.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - M. COMINETTI: *The RAI plans for DAB field tests* — «EBU Technical Review», No. 262, Winter 1994
- 2 - M. ARIAUDO, G. BLANCHIETTI: *Rete SFN per sistemi numerici in Val D'Aosta. Impianti di trasmissione*, «Relazione RAI Centro Ricerche», n. 95/02/1.
- 3 - Technical Bases for T-DAB «Planning document EBU SPB 495».
- 4 - Rec. 370-5: VHF and UHF propagation curves for frequency range from 30 MHz to 1000 MHz. ITU/CICR: «Recommendation of the CCIR», 1990. Geneva, 1990, Vol. 51 pp. 47 -74.
- 5 - Draft Revision of Rec. ITU-R PN.370-5, Document 5/63-E, SG 5 Meeting in Geneva, ITU 1994.
- 6 - RICCARDI M., ISOLA C.: *Computer-Aided VHF/UHF field-strength Predictions*, EBU Review — Technical. No. 228 June 1988.