

GAMMA DI PRODOTTI

CENTRALI DI TESTA CATV



▲ SERIE RACK 19"
Versione Professionale programmabile per Canali Adiacenti; Combinatori Attivi a 8-16-24 e 32 Ingressi



▲ SERIE MODULARE
Vasta Gamma disponibile per Impianti CATV e SMATV

DISTRIBUZIONE IF SATELLITE e TV 47-2150 MHz
sia digitale che analogica fino 80 o 160 utenti



▲ SIA 502/30
Doppio Amplificatore IF Satellite ad alto livello, 950-2150 MHz, con tilt positivo di 8 dB e Combinatore TV 47-850 MHz



▲ TSM 522/...
Multi-switch a 2 linee e 4 utenti a stato solido, per SAT e TV, 47-2500 MHz, ing./usc. passanti, perdita equalizzata in frequenza



▲ TSM 524/...
Come mod. TSM 522 ma con 4 linee e 4 utenti, commutazione 12V-18V e impulso 22 KHz, perdita derivazione a richiesta 12-18-24 dB, ottimo isolamento e basso consumo, 3 mA per utente

ALTRI STRUMENTI
(disponibili anche versioni economiche solo TV)



▲ HP3-SAT
Analizzatore Satellite Multi-funzione, Multi-standard, digitale con memoria, 890-2100 MHz



▲ HP4-TS
Analizzatore Combinato RD-TV e SAT, Multi-funzione e Multi-standard, digitale con memoria 46-870, 950-1850 MHz (5-65 opz.) 12-18V e impulso 22 KHz

RO.VE.R.-INSTRUMENTS PRESENTA: IL PIU' VASTO RANGE DI ANALIZZATORI PER RADIO-TV-CATV E SATELLITE

PREZZI SPECIALI
INSTALLATORE fino giugno '96:
Versione base. Trasporto,
IVA e tasse escluse.
Pagamento
all'ordine

LIT. 1.290.000

LS4-SPECTRASAT

Analizzatore SAT Semplificato Multi-stand. 880-2100 MHz, 12-18 V e impulso 22 KHz (Consigliato per installazioni individuali)

LIT. 1.900.000

LM4-SAT

Analizzatore SAT Multi-standard, 850-2150 MHz, 12-18V e impulso 22 KHz

LIT. 3.600.000

LM5-TS

Analizzatore combinato RADIO, TV e SAT, multi-standard, compatto 46-2150 MHz (5-65 MHz opz.), 12-18 V e impulso 22 KHz

FORNITI COMPLETI DI:

- Borsa con Cinghia Trasporto e Tasca Porta Attrezzi
- Trasformatore Rete Approvato "CE"
- Pacco Batterie NI-CAD Intercombiabile e Ricaricabile
- Paraluce e Accessori Vari

mod. "LS4-SPECTRASAT"

- Molto compatto e leggero (3 Kg) e facile da usare
- Previsto per bande L, S, C e KU
- Multi-standard NTSC-PAL-SECAM
- Demodulatore audio/video universale
- Doppia scala lettura livello in dBμV e dBm
- Tutti i comandi accessibili dal pannello frontale
- Tripla scala frequenza per bande L, C e KU
- Piloti tutti multi-switch e LNC sing. doppi e quadrupli
- Dinamica lettura livello da 50 a 100 dBμV (-10 a 40 dBmV)
- RBW Spectrum 18 MHz, prec. 8 dB, stabilità temp. 0,1 dB/°C

mod. "LM4-SAT"

- Molto compatto e leggero (3,5 Kg) e facile da usare
- Previsto per bande L, S, C e KU
- Multi-standard NTSC-PAL-SECAM
- Demodulatore audio/video universale
- Ottima ripetibilità e precisione di misura
- Doppia scala lettura livello in dBμV e dBm
- Tutti i comandi accessibili dal pannello frontale
- Tripla scala frequenza per bande L, C e KU
- Piloti tutti multi-switch e LNC sing. doppi e quadrupli
- Dinam. lett. liv. da 35 a 110 dBμV (140 upz.) -73 a 2 dBm
- RBW Spectrum 8 MHz, prec. 3,5 dB, stabilità temp. 0,08 dB/°C

mod. "LM5-TS"

- Molto compatto e leggero (5 Kg) e facile da usare
- Ingresso unico per IF-RD-TV e SAT
- Ottima ripetibilità e precis. di misura
- Fornito con tutti gli stand. TV B G I D K L M
- Tutti i comandi accessibili dal pannello frontale
- Demodulatore audio RADIO-TV-SAT universale
- Sintonia rapida e fine, con indic. mec. al centro banda
- Piloti tutti multi-switch e LNC sing. doppi e quadrupli
- Dinamica lett. livello da 25 a 130 dBμV (-35 a +90 dBmV)
- Previsto per tutti gli stand. SAT L, S, C, KU (NTSC, PAL, SECAM)
- Frequenzimetro digitale, 100 KHz risol. in RD-TV, 1 MHz in SAT
- RBW Spec. 0,1/0,8/8 MHz, prec. 3 dB, stab. temp. 0,04 dB/°C

I PIU' PICCOLI, COMPLETI, LEGGERI e ROBUSTI LABORATORI PORTATILI DEL MONDO, CON I QUALI POTETE EFFETTUARE LE SEGUENTI MISURE:

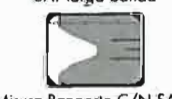
LM4 & LS4



Immag. SAT in bande C e KU e Indice Livello In Alto



Analizzatore di Spettro SAT larga banda



Misura Rapporto C/N SAT e Relativo Calcolo dell'S/N



Misura Polarizzazione Incrociata SAT



Tripla Scala Frequenza per bande L, C e KU

LM5-TS



Immag. TV e SAT e Indice Livello In Alto



Analizzatore di spettro larga banda RADIO-TV e SAT



Misura Rapporto C/N SAT e Relativo Calcolo dell'S/N



Misura Polarizzazione Incrociata SAT



Analisi Canale TV Stereo, Cromo e Sincro

ALTRE FUNZIONI SPECIALI DI: HP2-TS & HP4-TS & HP3-SAT



Analisi Spettroale Portanti Sat S.C.P.C. (con filtro 100 KHz)



Canale TV monofonico, Cromo e Sincro (con filtro 800 KHz)



Canale TV Stereo Analog e Cromo (con filtro 100 KHz)



Canale TV Stereo NICAM e Cromo (con filtro 100 KHz)



Audio/Video Monitor e Demodulatore Audio/Video



Generatore di Rumore (Calibrato Incorporato) (30-2150 MHz)



Funzione Volutore per Taratura Filtro, Amplif. ecc.



Misura R.O.S. (R.L. in dB)



Riflettometro per Misura Distanza Inter. Cavi Coax



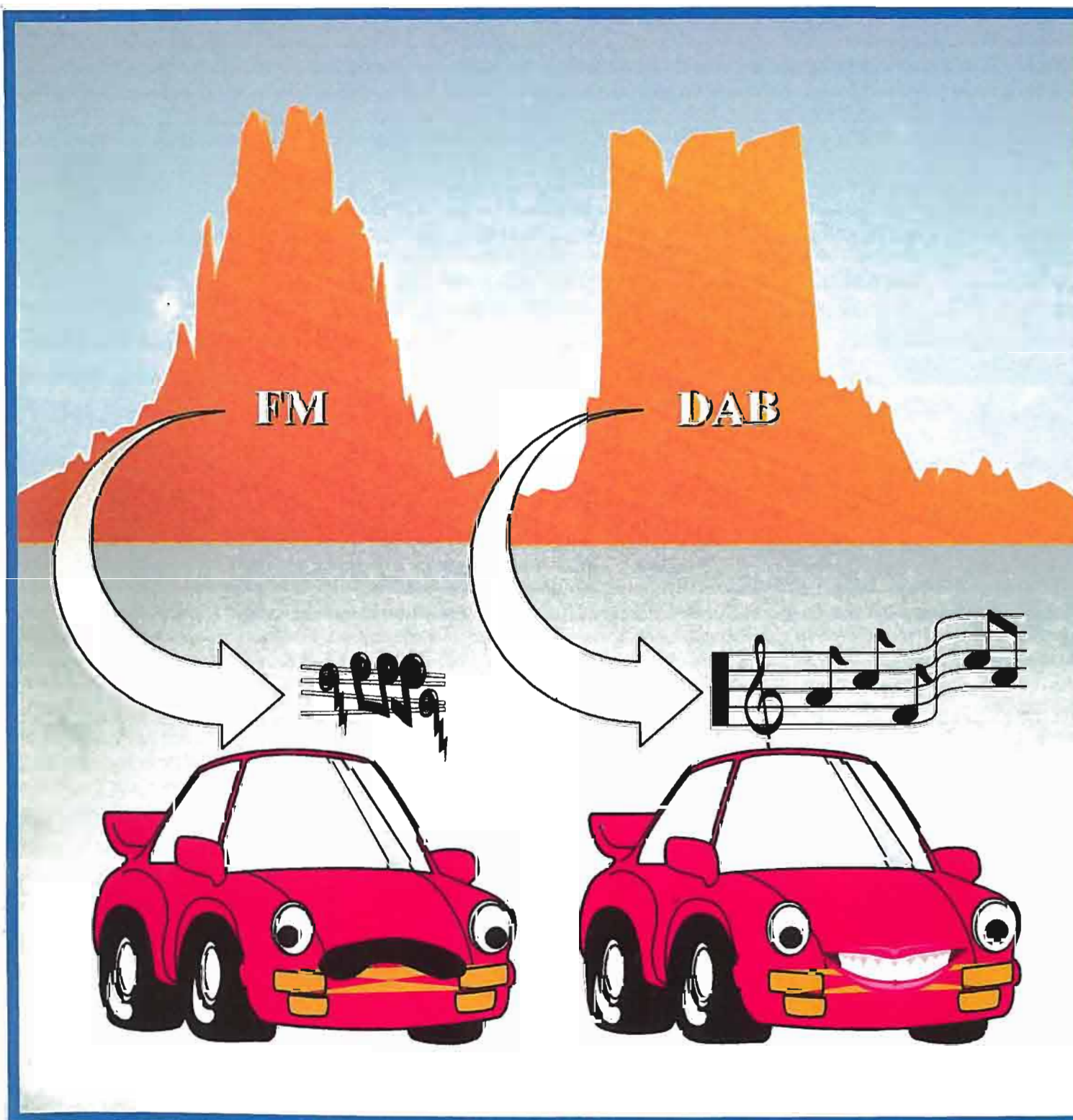
Memoria Programma e Frequenzimetro Digitale

ELETRONICA E TELECOMUNICAZIONI

ANNO XLV NUMERO 2 e 3 - 1996

RAI-ERI

L. 16000



sped. abb. post. Torino n. 1/97 - Legge 549/95 art. 2 comma 26

In vendita presso i migliori rivenditori del settore, per ulteriori informazioni:
RO.VE.R. S.p.A. • Via Parini 2/4 • 25010 COLOMBARE DI SIRMIONE (BS) • ITALIA • Tel 030.9198.1 (r.a.) • Fax 030.9906894

NUMERO SPECIALE sul DAB (Digital Audio Broadcasting)

NUOVA ERI
Edizioni RAI Radiotelevisione Italiana S.p.A.
 Sede in Torino - Via Arsenale, 41
 Capitale Sociale L. 1.000.000.000 interamente versato - n. 3760.86 - Reg. Soc. del Tribunale di Torino - Codice Fiscale n. 05351940019

BILANCIO AL 31/12/95
STATO PATRIMONIALE

ATTIVO	31.12.1995	31.12.1994	PASSIVO	31.12.1995	31.12.1994
A) CREDITI VERSO SOCI PER VERSAMENTI DOVUTI			A) PATRIMONIO NETTO		
I) parte già richiamata			I) CAPITALE	5.000.000.000	5.000.000.000
II) parte non richiamata			II) RISERVA SOVRAPPREZZO EMISSIONE AZIONI		
A) TOT. CREDITI VERSO SOCI PER VERSAMENTI DOVUTI	0	0	III) RISERVE DI RIVALUTAZIONE		
B) IMMOBILIZZAZIONI			IV) RISERVA LEGALE		
I) Immobilizzazioni immateriali			V) RISERVA AZIONI PROPRIE IN PORTAFOGLIO		
1) costi di impianto e di ampliamento			IV) RISERVE STATUTARIE		
2) costi di ricerca sviluppo e pubblicità			VII) ALTRE RISERVE		
3) diritti brevetto,utilizzi opere d'ingegno			VIII) UTILI (PERITE) ES. PREC. PORTATI A NUOVO		
4) concessioni licenze marchi e simili			IX) UTILE (PERDITA) DELL' ESERCIZIO		
5) avviamento			Perdita 01-01 / 31-12-1995	(3.008.370.657)	(20.487.068.658)
6) immobilizzazioni in corso ed acconti			Perdita ripianata in corso d'anno	2.897.315.418	15.334.523.579
7) altre immobilizzazioni immateriali	264.206.563	503.001.661	(Assemblea del 20.04.1995)		
I) Totale immobilizzazioni immateriali	264.206.563	503.001.661			
II) Immobilizzazioni materiali			A) TOTALE PATRIMONIO NETTO	4.888.944.761	(152.545.079)
1) terreni e fabbricati					
2) impianti e macchinario	77.283.657	3.974.919.313	B) FONDI PER RISCHI ED ONERI		
3) attrezzature industriali e commerciali	467.815	125.040.680	1) fondi trattamento quiescenza e simili	507.492.407	565.491.637
4) altri beni	967.792.121	755.689	2) fondi per imposte		
5) immobilizzazioni materiali in corso ed acconti			3) altri fondi	4.807.601.887	1.000.000.000
I) Totale immobilizzazioni materiali	1.045.543.593	1.306.348.104	B) TOTALI FONDI PER RISCHI ED ONERI	5.315.094.294	1.565.491.637
II) Immobilizzazioni finanziarie			C) TRATTAMENTO FINE RAPPORTO LAVORO SUBORD.		
1) partecipazione in:			1) fondo trattamento di fine rapporto	3.627.112.089	4.946.880.332
a) imprese controllate			C) TOTALE TRATT. FINE RAPPORTO LAVORO SUBORD.	3.627.112.089	4.946.880.332
b) imprese collegate					
c) altre imprese	16.785.000	16.785.000	D) DEBITI		
2) totale partecipazioni	16.785.000	16.785.000	1) obbligazioni:		
2) crediti finanziari verso:			a) in scadenza entro l'esercizio successivo		
a) imp. controllate esigibili entro es. succ.			b) in scadenza oltre l'esercizio successivo	0	0
c) imp. collegate esigibili entro es. succ.			1) totali obbligazioni		
d) imp. collegate esigibili oltre es. succ.			2) obbligazioni convertibili:		
e) imp. controllanti esigibili entro es. succ.			a) in scadenza entro l'esercizio successivo		
f) imp. controllanti esigibili oltre es. succ.			b) in scadenza oltre l'esercizio successivo	0	0
g) altri esigibili entro esercizio successivo			2) totali obbligazioni convertibili		
h) altri esigibili oltre esercizio successivo			3) debiti verso banche:		
2) totale crediti	0	0	a) in scadenza entro l'esercizio successivo		
3) altri titoli			b) in scadenza oltre l'esercizio successivo	3.767.951.232	
4) azioni proprie			3) totale debiti verso banche	0	3.767.951.232
III) Totale immobilizzazioni finanziarie	16.785.000	16.785.000	4) debiti verso altri finanziatori		
B) TOTALE IMMOBILIZZAZIONI	1.326.535.156	5.926.850.447	a) in scadenza entro l'esercizio successivo		
C) ATTIVO CIRCOLANTE			b) in scadenza oltre l'esercizio successivo	0	0
I) Rimanenze			4) totale debiti verso altri finanziatori		
1) materie prime, sussidiarie e di consumo	246.882.236	1.362.655.154	5) acconti da clienti		
2) prodotti in corso di lav. e semilavorati			a) in scadenza entro l'esercizio successivo	2.341.726.543	3.350.425.279
3) lavori in corso su ordinazione			b) in scadenza oltre l'esercizio successivo	2.341.726.543	3.350.425.279
4) prodotti finiti e merci	102.405.497	1.786.389.053	5) totale acconti da clienti		
5) acconti			6) debiti verso fornitori		
I) TOTALE RIMANENZE	349.287.733	3.149.044.207	a) in scadenza entro l'esercizio successivo	7.175.009.678	16.471.465.996
II) Crediti			b) in scadenza oltre l'esercizio successivo	7.175.009.678	16.471.465.996
1) crediti verso clienti:			6) totale debiti verso fornitori		
a) esigibili entro esercizio successivo	21.180.392.704	18.853.818.421	7) debiti rapp. da titoli di credito		
b) esigibili oltre esercizio successivo	8.584.798.000	18.853.818.421	a) in scadenza entro l'esercizio successivo		
1) totale crediti verso clienti	29.765.190.704		b) in scadenza oltre l'esercizio successivo	0	0
2) imprese controllate			7) totale debiti rapp. da titoli di credito		
a) esigibili entro esercizio successivo			8) debiti verso imprese controllate		
b) esigibili oltre esercizio successivo	0	0	a) in scadenza entro l'esercizio successivo		
3) imprese collegate			b) in scadenza oltre l'esercizio successivo	0	0
a) esigibili entro esercizio successivo			8) totale debiti verso imprese controllate		
b) esigibili oltre esercizio successivo	0	0	9) debiti verso imprese collegate		
4) totale crediti verso controllate	0	0	a) in scadenza entro l'esercizio successivo		
4) imprese controllanti			b) in scadenza oltre l'esercizio successivo	0	0
a) esigibili entro esercizio successivo	679.490.791	3.708.691.011	9) totale debiti verso imprese collegate		
b) esigibili oltre esercizio successivo	679.490.791	3.708.691.011	10) debiti verso impresa controllante		
5) altri			a) in scadenza entro l'esercizio successivo	7.237.217.844	780.772.609
a) esigibili entro esercizio successivo	1.579.876.719	3.664.030.621	b) in scadenza oltre l'esercizio successivo	7.237.217.844	780.772.609
b) esigibili oltre esercizio successivo			10) totale debiti verso impresa controllante		
5) totali crediti verso altri	1.579.876.719	3.664.030.621	a) in scadenza entro l'esercizio successivo	572.307.146	727.683.197
II) TOTALE CREDITI	32.024.558.214	26.226.540.053	b) in scadenza oltre l'esercizio successivo	572.307.146	727.683.197
III) ATTIVITÀ FINANZIARIE CHE NON COSTITUISCONO IMMOBILIZZAZIONI	0	0	12) debiti verso istituti previdenziali		
IV) Disponibilità liquide			a) in scadenza entro l'esercizio successivo	574.701.958	718.175.263
1) depositi postali	145.399.206	27.341.285	b) in scadenza oltre l'esercizio successivo	574.701.958	718.175.263
2) assegni			12) totale debiti verso istituti previdenziali		
3) valori e denaro in cassa	49.589.376	170.722.333	13) altri debiti		
IV) TOTALE DISPONIBILITÀ LIQUIDE	194.988.582	198.063.618	a) in scadenza entro l'esercizio successivo	2.846.025.577	2.863.470.742
C) TOTALE ATTIVO CIRCOLANTE	32.568.834.529	29.573.647.878	b) in scadenza oltre l'esercizio successivo	2.846.025.577	2.863.470.742
D) RATEI E RISCONTI ATTIVI			13) totale altri debiti	20.546.988.746	28.679.944.318
1) disagio su prestiti			E) RATEI E RISCONTI PASSIVI		
2) altri ratei attivi	742.331.233	19.299.083	1) aggio su prestiti	287.502.000	480.026.200
3) altri risconti attivi	27.940.972	19.299.083	2) altri ratei passivi		
D) TOTALE RATEI E RISCONTI ATTIVI	770.272.205		3) altri risconti passivi		
TOTALE ATTIVO (A+B+C+D)	34.665.641.890	35.519.797.408	E) TOTALE RATEI E RISCONTI PASSIVI	287.502.000	480.026.200
			TOTALE PASSIVO (A+B+C+D)	34.665.641.890	35.519.797.408

NUMERO	DICEMBRE	1996
2 e 3		
ANNO XLV	DA PAGINA A	41 PAGINA 120

RIVISTA QUADRIMESTRALE
 A CURA DELLA RAI

DIRETTORE RESPONSABILE
 GIANFRANCO BARBIERI

COMITATO DIRETTIVO
 M. AGRESTI, F. ANGELI,
 G. M. POLACCO, R. CAPRA

REDAZIONE
 RENATO CAPRA
 GEMMA BONINO

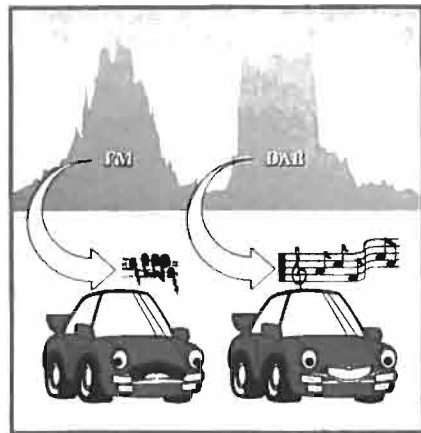
CENTRO RICERCHE RAI
 CORSO GIAMBONE, 68
 TEL. (011) 88 00 (int. 31 32)
 10135 TORINO

GESTIONE PRODOTTO
 DIREZIONE SVILUPPO COMMERCIALE
 EDITORIA PUBBLICITÀ E LIBRERIA
 VIALE MAZZINI, 14 - 00195 - ROMA

Distribuzione per l'Italia:
 SODIP "Angelo Patuzzi" S.p.A.
 via Bettola 18 - 20092 Cinisello Balsamo -
 Milano - Tel. (02) 660301 -
 Fax (02) 66030320

Affiliato alla Federazione
 Italiana Editori Giornali

Stampa: ILTE - Moncalieri (Torino)



Un'ampia rassegna di articoli dedicati interamente
 al Sistema DAB (Digital Audio Broadcasting)
 costituiscono questo Numero Speciale di "Elettro-
 nica e Telecomunicazioni".

ELETRONICA
E TELECOMUNICAZIONI

Sommario: pagina

Errata Corrige 42

Il servizio sperimentale RAI sul DAB - Premessa (M. Cominetti) 43

Il Coordinatore del Gruppo di lavoro RAI - DAB presenta l'argomento di questo numero speciale della Rivista, illustrando il Piano di sperimentazione della RAI sul DAB, gli sviluppi del lavoro che hanno condotto alla presentazione di un Rapporto Tecnico al Ministero PT e le prospettive perché anche in Italia si possa presto godere della radio del futuro.

Piano di sperimentazione della RAI sul DAB (M. Cominetti) 46

L'articolo descrive il piano di sperimentazione sul DAB (Digital Audio Broadcasting) condotto dalla RAI nell'area di servizio della rete isofrequenziale installata in Valle d'Aosta.

Sperimentazione DAB-T in Valle d'Aosta Sintesi dei risultati (M. Ariaudo) ... 53

L'articolo descrive l'architettura e le caratteristiche della rete sperimentale DAB-T in Valle d'Aosta, riportando i principali risultati delle misure condotte nell'area di servizio.

Architettura e sistemistica della Rete SFN in
 Valle d'Aosta (S. Berto, G. Bianchiotti, G. Garazzino, S. Meneghello) 58

Nell'articolo sono riportati i dati fondamentali del progetto della rete isofrequenziale sul canale H2 per la sperimentazione DAB in Valle d'Aosta. Vengono esposte le soluzioni operative adottate per superare i problemi derivanti da interferenze nell'area in questione ed i parametri specifici della rete di trasporto del segnale e degli impianti di diffusione per il corretto funzionamento in isofrequenza.

Funzionalità degli impianti trasmettenti e valutazione in campo
 del sistema DAB (G. Bianchiotti, S. Ripamonti) 68

L'articolo riporta i dati specifici della configurazione di rete e degli impianti. Viene inoltre descritto il procedimento adottato nelle misure e illustrati i risultati ottenuti, che si presentano sotto forma di istogrammi, nelle diverse condizioni di servizio.

Campagna di misure DAB-T su impianti
 trasmettenti singoli (R. Frigerio, R. Pellizzoni) 84

L'articolo illustra i risultati di una campagna di misure in Valle d'Aosta, 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.

Campagna di misure DAB-T su rete
 isofrequenziale (SFN) (A. Gallo, S. Ripamonti, V. Sardella) 94

L'articolo riporta i principali risultati ottenuti dalla campagna di misure con ricezione mobile effettuata dal Centro Ricerche RAI sulla rete isofrequenziale (SFN) realizzata in Valle d'Aosta per la sperimentazione del servizio DAB-T. Le misure di campo e.m., acquisite con riferimento alla posizione del mezzo sul percorso ottenuto da un sistema GPS, sono state successivamente rappresentate su cartine digitalizzate, rendendo in questo modo più immediata l'interpretazione e il confronto dei risultati.

Evoluzione della tecnologia di rete per il servizio DAB-T (S. Ripamonti) ... 104

L'articolo innalza la possibile architettura della rete per il servizio audio digitale DAB-T identificando le possibili differenti funzioni: Fornitore di programmi (Content Provider), Gestore del servizio (Service Provider) e Gestore della rete (Network Operator).

Previsione del servizio svolto da una rete DAB-T (G. Carere, R. Serafini) ... 108

L'articolo illustra un algoritmo automatico, sviluppato dalla RAI, per la previsione del servizio di una rete DAB-T. Vengono riportati i criteri di pianificazione seguiti e i parametri assunti come riferimento, illustrando, in forma grafica, i risultati che, l'applicazione del suddetto algoritmo alla simulazione della rete DAB-T in Valle d'Aosta, ha prodotto.

Metodi avanzati di predizione di campo per il sistema DAB-T (P. Forni) ... 112

L'articolo espone i concetti di base dei metodi predittivi di campo e.m. per i sistemi numerici, che operano su rete isofrequenziali (SFN: Single Frequency Network), studiati presso il Centro Ricerche RAI.

UNA COPIA L. 8000 (ESTERO L. 15000)
 COPIA ARRETRATA L. 15000 (ESTERO L. 15000)
 ABBONAMENTO ANNUALE L. 20000 (ESTERO L. 40000)
 VERSAMENTI RAI - Radiotelevisione Italiana Editoria Libreria - TORINO-C.C.P. N. 266106

SPEDIZIONE IN ABBONAMENTO POSTALE - GRUPPO IV/70

REG. ALLA CANCELLERIA DEL TRIBUNALE C.P. DI TORINO AL N. 494 IN DATA 6-11-1951

TUTTI I DIRITTI RISERVATI

LA RESPONSABILITÀ DEGLI SCRITTI FIRMATI SPETTA AI SINGOLI AUTORI
 1996 © BY RAI - Radiotelevisione italiana

(segue in 3ª di copertina)

ERRATA CORRIGE

Si riportano alcune correzioni da effettuare nell'articolo "Le distorsioni non lineari negli impianti di CATV" di F. Mussino, pubblicato nel numero precedente (pagg. 12-33).

Ci scusiamo con i lettori per l'inconveniente.

Sostituire le relazioni [3], [9], [22], [30], [33], [50], [51] e [94] con le seguenti:

$$[3] \quad V_u = k_1 V \cos \omega t + (1/2)k_2 V^2 + (1/2)k_2 V^2 \cos 2\omega t + (3/4)k_3 V^3 \cos \omega t + \\ + (1/4)k_3 V^3 \cos 3\omega t + (3/8)k_4 V^4 + (1/2)k_4 V^4 \cos 2\omega t + (1/8)k_4 V^4 \cos 4\omega t + \\ + (5/8)k_5 V^5 \cos \omega t + (5/16)k_5 V^5 \cos 3\omega t + (1/16)k_5 V^5 \cos 5\omega t +$$

$$+ (1/4)k_3 V_i^3 \cos 3\omega_i t \\ [9] \quad + (1/4)k_3 V_j^3 \cos 3\omega_j t \\ + (1/4)k_3 V_k^3 \cos 3\omega_k t$$

$$[22] \quad \frac{3k_3}{4} \cdot \sum_{i=1, j \neq i}^5 V_i^2 V_j \cdot \cos(2\omega_i \pm \omega_j)t$$

$$[30] \quad \frac{3k_4}{2} \cdot \sum_{i=1, j \neq i}^5 V_i^3 V_j \cdot \cos(\omega_i \pm \omega_j)t$$

$$[33] \quad \frac{3k_4}{4} \cdot \sum_{i=1, j=i+1}^{4,5} V_i^2 V_j^2 \cdot \cos(2\omega_i \pm 2\omega_j)t$$

$$[50] \quad \frac{5k_5}{8} \cdot \sum_{i=1, j \neq i}^5 V_i^3 V_j^2 \cdot \cos(3\omega_i \pm 2\omega_j)t$$

$$[51] \quad \frac{15k_5}{8} \cdot \sum_{i=1, j=i+1, k \neq i, j}^5 V_i^2 V_j^2 V_k \cdot \cos(2\omega_i \pm 2\omega_j \pm \omega_k)t$$

$$[94] \quad n_{(31)\min} = [(N/2) - 1]^2 + [(N/2) - 1](N/4)_{\text{arr.int.}} \quad (N \text{ dispari})$$

Pag. 24, quint'ultima riga della prima colonna, quarta e tredicesima riga della seconda colonna :
sostituire $-f_i - f_j - f_k$ con $-f_i - f_j + f_k$.

Pag 24, dodicesima riga della seconda colonna:
sostituire $f_{\text{can}} + d - 2\Delta$ con $f_{\text{can}} + 2\Delta$.

Pag 32, fine prima colonna, sostituire il valore di -42 dB con -46 dB.

II SERVIZIO SPERIMENTALE RAI SUL DAB

PREMESSA

Le tecnologie digitali sono alla base dei nuovi standard di diffusione radiofonica e televisiva e stanno rapidamente affermandosi in tutti gli anelli della catena di radiodiffusione: dalla generazione del segnale, al trasporto sulle reti di distribuzione, alla diffusione attraverso i canali da satellite, terrestri ed in cavo e nello stesso terminale d'utente.

L'introduzione di queste tecnologie nel mondo della radiodiffusione è stata possibile grazie allo sviluppo della componentistica digitale ad alta integrazione in grado di effettuare sofisticate operazioni di elaborazione e trattamento del segnale audio, video e dati, impensabili solo dieci anni addietro, che stanno alla base del successo dei Personal Computer, della Telefonia Cellulare digitale (GSM) e dell'Home Video (CD-ROM).

«Elevata qualità», «capacità trasmissiva», «flessibilità operativa», «multimedialità», «interattività» e «controllo di accesso», per servizi a pagamento, sono le caratteristiche della soluzione digitale che maggiormente influiscono sui servizi di radiodiffusione offrendo nuove ed interessanti prospettive di sviluppo.

Il DAB (*Digital Audio Broadcasting*) è la soluzione digitale per la radiofonica sviluppata in ambito al Consorzio europeo EU-147, con la partecipazione della RAI, per portare all'utenza domestica la qualità «Compact Disc» anche in ricezione mobile, senza risentire dei degradamenti introdotti sul canale via etere (riflessioni, rumore, interferenze, ecc.) che spesso peggiorano la qualità dell'attuale servizio radiofonico a modulazione di frequenza (MF). Il DAB offre inoltre interessanti prospettive per «servizi aggiuntivi» (multimedialità, datacast, audio-on-demand) e consente di ottimizzare lo sfruttamento dello spettro radioelettrico con l'introduzione di «reti isofrequenziali».

Il contributo della RAI sul DAB, nel contesto internazionale, avviene attraverso il Consorzio EU-147, l'UER, la CEPT e l'EuroDab Forum, al quale partecipano anche le Radio Nazionali Associate (RNA), recentemente costituito per promuovere l'introduzione e lo sviluppo del DAB in Europa.

In ambito nazionale la RAI, in collaborazione con il Ministero PT, è fortemente impegnata nelle attività di sperimentazione tecnica e di pianificazione delle frequenze per facilitare l'introduzione del nuovo servizio DAB-T nel nostro paese.

È stato pertanto costituito, in ambito alle Strutture RAI interessate un «Gruppo di lavoro sul DAB-T» (DAB sulle reti terrestri) con compiti prevalentemente tecnici e di sperimentazione, affidandone il coordinamento al Centro Ricerche. Il Gruppo si è avvalso del contributo degli esperti di varie Strutture della RAI, in particolare la Direzione Diffusione e Trasmissione, la sede di Aosta ed il Centro di Controllo di Monza.

Il principale obiettivo del Gruppo è stato la realizzazione in Valle di Aosta, su autorizzazione del Ministero PT, di una rete isofrequenziale in banda III (canale H2) sulla quale effettuare le sperimentazioni sul campo necessarie per individuare le problematiche tecnico-operative, ottimizzare l'architettura della rete, e definire modalità e criteri di pianificazione delle frequenze adatti alle caratteristiche del nuovo servizio digitale.

La copertura della rete comprende l'area urbana di Aosta ed include ampie aree pianeggianti lungo l'autostrada A5 e aree montane affette da propagazioni multiple; la rete potrà in prospettiva coprire la valle principale, fino al traforo del Monte Bianco.

La recente attivazione di un quarto trasmettitore al Col de Courtil estende la copertura alla bassa valle fino alla città di Ivrea — Piemonte.

Su tale rete, sono state effettuate alcune campagne di misura su larga scala, con ricezione fissa e mobile, i cui risultati sono riportati nel Rapporto Tecnico che nel giugno 1996 è stato sottoposto all'attenzione del Ministero PT.

I risultati ottenuti, seppure relativi ad un'area di sperimentazione circoscritta, confermano le ottime prestazioni del DAB in termini di qualità del segnale sonoro e di disponibilità del servizio e forniscono i concetti fondamentali per la futura pianificazione del servizio.

In prospettiva, l'introduzione nella rete degli impianti di Andrate e Torino-Eremo, appena si renderanno disponibili le relative frequenze, consentirà di estendere il servizio sperimentale DAB-T ad una utenza più consistente in Piemonte e Valle d'Aosta.

L'estensione del servizio ad altre aree del territorio nazionale si inserisce in una proposta operativa, già presentata al Ministero PT dalla RAI Direzione Diffusione e Trasmissione — Reti di Diffusione, che prevede la copertura in breve tempo di una consistente parte della popolazione italiana.

Il servizio sperimentale DAB-T potrà essere sviluppato anche in collaborazione con l'emittenza radiofonica privata nel quadro di un progetto concordato di evoluzione tecnologica del mezzo radiofonico.

Il successo del DAB nello scenario europeo dipende fortemente dalla disponibilità di frequenze e di ricevitori commerciali a basso costo.

La RAI, in consultazione con il Ministero delle Poste e congiuntamente alla RNA, sta facendo ogni sforzo per rendere disponibili le necessarie risorse in frequenza sul territorio per i futuri servizi DAB, contribuendo attivamente all'attività della CEPT (Comunità Europea delle Poste e Telecomunicazioni), che nella Conferenza di Pianificazione di Wiesbaden (luglio 1995) ha provveduto all'assegnazione dei blocchi DAB per l'Italia.

Inoltre, come avviene di solito nella fase introduttiva dei nuovi servizi di diffusione (es. Radio Data System), la RAI è aperta alla collaborazione con l'industria elettronica nazionale ed europea, per promuovere lo sviluppo degli apparati di trasmissione DAB. In particolare la RAI partecipa, in qualità di socio onorario, all'Associazione DBTA (Digital Broadcasting Technology Association) costituitasi recentemente, su iniziativa di alcune aziende operanti nel settore, per promuovere lo sviluppo delle nuove tecnologie digitali nei servizi televisivi e radiofonici sulle reti terrestri. I ricevitori DAB, la cui disponibilità è prevista per fine 1997, inizio 1998, avranno lo stesso formato delle attuali autoradio, facili da installare ed equipaggiati con una semplice antenna ricevente a stilo; consentiranno inoltre la ricezione dei programmi trasmessi in modulazione di frequenza e di ampiezza (MF/MA) ed includeranno un piccolo display LCD ed un'interfaccia dati per servizi multimediali.

I primi servizi DAB sulle reti terrestri saranno introdotti in fase operativa in Gran Bretagna, Germania e Svezia, dove sono già stati effettuati consistenti investimenti nelle infrastrutture di produzione e di rete e sono già in corso servizi pilota su larga scala con contributo finanziario governativo.

Di seguito si riportano le tappe più significative dell'attività condotta dalla RAI sul DAB:

- **Gennaio '92**
Ingresso nel Consorzio Eureka 147.
- **Gennaio '93 - Dicembre '94**
— Costituzione del «Gruppo di Lavoro RAI-DAB».
— Progetto e realizzazione della rete isofrequenziale DAB in Valle d'Aosta (3 impianti trasmettenti).
- **Gennaio '95**
Inizio della campagna di misure DAB sul campo e contatti preliminari con RNA (Radio Nazionali Associate).
- **Nel corso del 1995-96**
— Adesione della RAI all'EuroDab Forum.
— Dimostrazioni DAB al Salone del Libro di Torino, a RadioExpo di Bologna, alla Mostra 100 anni di Radio di Roma e al Simposio Internazionale DAB a Montreux.
— Installazione del quarto impianto trasmettente al Col de Courtil.
— Avvio del Servizio sperimentale DAB.
- **Attività prevista a breve/medio termine**
— Estensione della rete dalla Valle d'Aosta al Piemonte.
— Contatti tra la RAI (Direzione DT/ Reti di Diffusione) e il Ministero PT per l'avvio di trasmissioni sperimentali DAB nelle maggiori città italiane.

Mario Cominetti
Coordinatore del Gruppo di Lavoro RAI – DAB

PIANO DI SPERIMENTAZIONE DELLA RAI SUL DAB

M. COMINETTI*

SOMMARIO — Si descrive il piano di sperimentazione sul DAB (Digital Audio Broadcasting) condotto dalla RAI nell'area di servizio della rete isofrequenziale installata in Valle d'Aosta. Tale rete, operante in VHF sul canale H2 (corrispondente al canale 12 europeo) assegnato su base sperimentale dal Ministero PT, comprende quattro trasmettitori sincronizzati in frequenza e localizzati presso gli impianti RAI di St. Vincent (capo rete), Gerdaz, Blavy e Col de Courtil. Attualmente viene irradiato un blocco DAB (1,5 MHz) che fornisce una capacità equivalente di sei programmi stereofonici di elevata qualità (256 Kbit/s per programma). Il multiplex DAB e la modulazione digitale COFDM sono generati a St. Vincent e distribuiti agli altri impianti trasmettenti della rete tramite collegamento in ponte radio a microonde.

Le sperimentazioni in area riguardano sia la ricezione fissa che la ricezione mobile, su mezzi appositamente attrezzati, e si inquadrano nell'attività del Gruppo di lavoro RAI costituito per individuare i criteri di pianificazione e risolvere i problemi tecnico-operativi connessi con l'introduzione del servizio DAB sulle reti diffusive terrestri.

SUMMARY — The article briefly describes the plans for DAB field tests conducted in the Aosta Valley test-bed. The tests will assess the system performance, characterise the RF channel and evaluate the coverage of a single frequency network (SFN) including four transmitters on VHF channel 12 located at St. Vincent, Gerdaz, Blavy and Col de Courtil.

One DAB block (1,5 MHz) is currently used to broadcast six high quality stereo programmes (256 Kbit/s per programme). These experiments, involving both mobile and fixed reception, are part of the activity of a RAI DAB Working Group aimed at identifying and studying the technical and operational aspects for the introduction of T-DAB services in Italy.

1. Generalità

Il DAB, acronimo di Digital Audio Broadcasting (Bibl. 1), è il sistema avanzato di radiofonia digitale sviluppato in seno al progetto europeo Eureka 147 di cui la RAI è membro sin dal 1992. La RAI aderisce inoltre, insieme alla RNA (Radio Nazionali Associate), all'EuroDab Forum costituitosi in ambito alla Comunità Europea per promuovere l'introduzione del DAB sulle reti terrestri e, in prospettiva, sui canali via satellite.

La tecnologia DAB, oggetto di numerose sperimentazioni in vari paesi europei ed extraeuropei, è matura per essere introdotta sulle reti terrestri, sia in banda VHF che in banda L, e rappresenta un elemento innovativo rivoluzionario nella qualità dei servizi radiofonici. Si stima che i primi ricevitori commerciali saranno disponibili all'inizio del 1998 consentendo così l'avvio dei primi servizi regolari in Gran Bretagna, in Germania e in Svezia dove sono già stati effettuati significativi investimenti nelle infrastrutture di produzione e di rete.

Il DAB offre all'utenza radiofonica la qualità superba del *Compact-Disc* in ricezione mobile, portatile e fissa; consente al fornitore del servizio di soddisfare le esigenze

dell'utenza adattando dinamicamente la capacità trasmissiva alle caratteristiche del programma radiofonico (musica, parlato, ecc.) ed offre, in prospettiva, servizi a valore aggiunto, multimediali e di datacast, anche con caratteristiche di interattività (Audio On Demand, AOD).

Il DAB rappresenta uno dei più importanti traguardi tecnologici nel campo della ricerca applicata alle trasmissioni radio e segna il passaggio all'epoca del «tutto digitale». Infatti utilizza le tecniche digitali nell'intera catena: dalla produzione in studio alla diffusione e alla ricezione. La qualità compact disc del segnale di sorgente viene quindi conservata integra fino al ricevitore di utente, anche in condizioni di propagazione affetta da interferenze, riflessioni e rumore, naturale o industriale, che spesso degradano la qualità di ricezione dei programmi in modulazione di frequenza.

L'ottima qualità audio del DAB è resa possibile dalla sofisticata tecnica di codifica del segnale (MUSICAM), che opera con preciso riferimento alla sensibilità auditiva dell'orecchio umano, trasmettendo integralmente tutte le componenti del suono che possono essere percepite dall'ascoltatore. Il secondo elemento che consente l'elevata qualità del servizio sia nella ricezione domestica, che con ricevitori portatili o autoradio, è l'impiego di un rivoluzionario sistema di modulazione digitale (COFDM) che, mediante suddivisione del flusso numerico su un gran numero

di portanti, supera gli effetti del degradamento introdotto sul segnale via etere dal rumore, dalle interferenze e dalle riflessioni multiple (sia negli ambienti urbani e montani), spesso presenti nella ricezione mobile.

Un'altra importante caratteristica del DAB è la multiplexazione su un unico flusso numerico di più programmi radiofonici e servizi dati addizionali, che vengono irradiati sulla stessa portante a radiofrequenza con la proprietà di poter operare su reti isofrequenziali SFN (Single Frequency Network): è cioè possibile utilizzare la stessa frequenza di diffusione su trasmettitori circolari che coprono aree adiacenti, contrariamente a quanto avviene con l'attuale sistema analogico FM che richiede frequenze diverse. La prerogativa di impiegare una sola frequenza per trasmettere da sei a otto programmi stereofonici di alta qualità in rete SFN, su base nazionale o regionale, consente un'utilizzazione più redditizia dello spettro radioelettrico.

Infine il DAB è molto più di un sistema per la diffusione di programmi radiofonici in quanto offre la possibilità di introdurre, in prospettiva, i nuovi servizi multimediali via etere, quali la diffusione di dati, testi e immagini, ed altri servizi quali ad esempio un canale di informazioni sul traffico (TMC).

1.1 ASPETTI SISTEMISTICI E DI PIANIFICAZIONE

L'introduzione del DAB sulle reti terrestri richiede di rendere disponibile una adeguata porzione di spettro, sia in banda III-VHF, particolarmente adatta ai servizi nazionali e regionali, che in banda L (1452-1492 MHz) più orientata ai servizi locali.

Inoltre, l'avvio di un servizio terrestre DAB-T richiede di effettuare un esame globale di vari fattori tecnico-operativi: le problematiche di rete per il trasporto e la diffusione del segnale, l'influenza della propagazione multipercorso e l'individuazione di adeguati criteri di pianificazione.

Gli Enti di radiodiffusione, pubblici e privati, nonché le Amministrazioni sono profondamente coinvolti in questa attività sotto il coordinamento della CEPT e dell'ITU-R. La CEPT, nella Conferenza di Wiesbaden (luglio '95) ha provveduto alla assegnazione dei blocchi DAB ai vari paesi tenendo conto dei requisiti di compatibilità nelle aree adiacenti.

Il contributo della RAI, con la realizzazione della rete isofrequenziale in Valle d'Aosta, rappresenta quindi un primo concreto passo verso l'introduzione del DAB-T nel nostro paese.

Specificare l'area di copertura di un servizio DAB-T richiede un'analisi accurata e l'adozione di criteri in parte diversi da quelli applicati nella pianificazione dei servizi radiofonici in modulazione di frequenza (MF). Ad esempio, il tipico comportamento a *soglia* del segnale digitale nei confronti del rumore od altri degradamenti può determinare una improvvisa interruzione del servizio qualora vengano superati i margini per la corretta ricezione del segnale. Se invece, grazie all'impiego di opportuni criteri di pianificazione, tali margini vengono garantiti, si renderà sempre disponibile all'utente la qualità perfetta del segnale audio di sorgente, anche in condizioni di ricezione affette da severi degradamenti. Il segnale analogico MF, per contro, risente in modo più graduale dei degradamenti introdotti dal canale diffusivo, che riducono però in ogni caso la qualità del servizio costringendo talvolta l'utente a tollerare un degradamento anche sensibile, in particolare nella ricezione mobile affetta da riflessioni multipercorso.

Questo comportamento del segnale digitale suggerisce quindi di adottare, in fase di pianificazione del servizio, curve di propagazione basate su requisiti più rigorosi rispetto al criterio F(50,50) stabilito dalla Racc. PN-370-5 dell'ITU-R (Bibl. 2), sia per quanto riguarda il riferimento alle località che alla *disponibilità temporale* del servizio. Da varie parti si propone di adottare altri criteri [ad es. F(99,99)] la cui validità dovrà essere confermata mediante indagini sperimentali sul campo.

1.2 RETI ISOFREQUENZIALI (SFN)

La capacità del DAB di operare su reti isofrequenziali (Single Frequency Network, SFN) di vasta copertura, offre significativi vantaggi in termini di ottimizzazione dello spettro. Gli effetti di interferenza mutua dei segnali provenienti dai vari trasmettitori operanti sulla stessa frequenza nelle aree di sovrapposizione vengono infatti compensati dall'elevato valore dell'intervallo di guardia del sistema.

In banda III-VHF, tale *intervallo di guardia* è di 256 µs, e consente di superare anche in ricezione mobile, gli effetti distruttivi della propagazione multipercorso, purché il ritardo degli echi sia contenuto entro i 300 µs. Ciò consente in pratica di operare con trasmettitori distanti almeno 100 Km. rendendo possibile l'introduzione di reti SFN a larga copertura che utilizzano in gran parte i siti che già ospitano le installazioni adibite alla diffusione del servizio radiofonico MF. I costi di investimento per il gestore del servizio risultano così principalmente dovuti al necessario adeguamento degli impianti di diffusione alla tecnologia digitale ed alla realizzazione della rete di trasporto del segnale DAB, codificato e multiplexato nel punto di generazione. L'interconnessione di vari impianti trasmettenti in rete SFN richiede che vengano soddisfatti specifici requisiti tecnici ed operativi quali: la sincronizzazione temporale del segnale, la coerenza di frequenza, l'identico contenuto del multiplex di banda base.

La distribuzione del segnale agli impianti di diffusione può avvenire sia mediante reti di terra (in ponte radio o fibra ottica) che via satellite inserendo il multiplex DAB su un flusso a 2,048 Mbit/s secondo lo standard WG1/WG2 definito da E.U.147. L'utilizzazione di un collegamento via satellite è molto interessante, sia in termini di costo che di flessibilità, in quanto consente di alimentare direttamente tutti gli impianti di diffusione della rete inclusi i *ripetitori* radiofonici, normalmente non collegati dalle reti di trasporto di terra.

Il *guadagno di rete* è un importante parametro che caratterizza le reti SFN migliorandone le prestazioni; esso esige un'indagine accurata nell'ottimizzazione dell'area di copertura e può essere valutato mediante campagne di misura in ricezione mobile. La potenza equivalente irradiata (ERP) e i requisiti specifici dei trasmettitori DAB (per es. linearità, stabilità in frequenza, maschera dello spettro RF irradiato) sono altri importanti aspetti tecnici da considerare nel progetto della rete SFN.

L'introduzione dei servizi DAB-T comporta un'attenta considerazione delle problematiche e delle modalità relative alla gestione del segnale digitale lungo la catena di radiodiffusione: dalla codifica del segnale e dalla generazione del multiplex DAB in studio, al trasporto sulla rete di distribuzione, alla diffusione da parte degli impianti trasmettenti ed infine alla ricezione da parte dell'utente. È necessario inoltre disporre di adeguate tecniche di valutazione delle prestazioni del segnale in campo con le quali

* Dr. Mario Cominetti del Centro Ricerche RAI — Torino. Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 4 Ottobre 1996.

individuare i parametri necessari per un'efficace pianificazione dello spettro.

Allo scopo di affrontare e risolvere le suddette problematiche tecnico-operative il Centro Ricerche RAI, in stretta collaborazione con altre Strutture aziendali e con l'autorizzazione del Ministero PT, ha progettato e realizzato la rete isofrequenziale DAB-T sul canale H2 in Valle d'Aosta, sulla quale sono state condotte le prime campagne di misura in ricezione fissa e mobile.

L'obiettivo principale è stato quello di creare una infrastruttura adatta per effettuare valutazioni sperimentali sul campo, in una prima fase, e per promuovere successivamente l'avvio di un servizio sperimentale che dovrebbe progressivamente estendersi ad altre aree del territorio nazionale, ad iniziare dal Piemonte, secondo una proposta già sottoposta al Ministero PT dalla RAI Direzione Diffusione e Trasmissione - Reti di diffusione.

Per raggiungere gli obiettivi suddetti è stato creato un Gruppo di Lavoro che comprende il Centro Ricerche, la Direzione Diffusione e Trasmissione, il Centro di Controllo (Monza) e la Sede RAI di Aosta.

I risultati delle indagini sperimentali, tuttora in corso, dovrebbero rispondere ai molti aspetti tecnici ed operativi ancora sul tappeto e fornire gli elementi di pianificazione necessari per facilitare l'introduzione dei servizi DAB-T in Italia, almeno per quanto riguarda la banda III-VHF.

2. L'area di sperimentazione

La rete sperimentale (Bibl. 3) comprende tre trasmettitori operanti in isofrequenza (rete SFN) sul canale H2 (223-230 MHz). I trasmettitori sono sincronizzati in frequenza attraverso una sottoportante pilota a 10 MHz associata al segnale DAB di banda base e distribuita tramite collegamento in ponte radio ai vari impianti trasmissivi. È possibile equalizzare i ritardi di propagazione dei segnali DAB irradiati agendo separatamente sul segnale di banda base nei vari impianti. Nella prima fase delle sperimentazioni in area si è proceduto ad equalizzare i ritardi ed il livello dei segnali RF dei tre trasmettitori su un'area di copertura all'intorno della città di Aosta. Ciò ha consentito di valutare le prestazioni del sistema in condizioni di interferenza multipercorso fra segnali di livello comparabile provenienti dai tre trasmettitori. In una seconda fase si provvederà ad ottimizzare l'area di copertura globale della rete SFN sfruttando opportunamente i diagrammi di irradiazione delle antenne e agendo sui livelli dei segnali RF irradiati.

I trasmettitori sono installati a Saint Vincent (il principale centro trasmissivo RAI della Valle d'Aosta), Gerdaz e Blavy. La rete SFN si è resa operativa per le prime indagini sperimentali a partire dal 1° gennaio 1995. Nell'estate 1996 è stato installato un quarto impianto trasmissivo al Col de Courtil.

Il segnale DAB, che occupa una larghezza di banda RF di 1,5 MHz (blocco DAB), può essere posizionato all'interno della banda di 7 MHz del canale H2. Potenzialmente fino a quattro blocchi DAB possono essere trasmessi in uno stesso canale RF. Molto importante, ai fini della pianificazione dei futuri servizi DAB che sfrutteranno l'intera capacità trasmissiva del canale H2, sarà la verifica dei problemi di compatibilità fra blocchi adiacenti, che potrà richiedere particolari condizioni di linearità dei trasmettitori nonché l'impiego di opportuni filtri a radiofrequenza onde limitare il debordamento dello spettro.

Poiché il canale adiacente inferiore (canale H1) non è utilizzato nell'area di servizio del canale H2, la rete sperimentale SFN permetterà anche di effettuare esperimenti sui sistemi televisivi digitali terrestri aventi una larghezza di banda di circa 7,5 MHz, la cui normativa è stata recentemente definita in ambito al Consorzio europeo DVB.

La copertura della rete sperimentale SFN include aree urbane e densamente popolate intorno alla città di Aosta, aree rurali e vaste aree pianeggianti lungo l'autostrada A5 Torino-Aosta, aree collinari e montagnose affette da severa propagazione multipercorso. Il terreno di sperimentazione rappresenta quindi un banco di prova molto significativo delle varie condizioni di ricezione riscontrabili in area di servizio. La rete SFN è stata inoltre proposta come parte dell'Host Nazionale Italiano per la futura attività europea in ambito ai progetti ACTS (Advanced Communications Technologies and Services). La figura 1 illustra la completa architettura della rete, con indicazione della possibile interconnessione tra il Centro Ricerche RAI e lo CSELT, a Torino, attraverso un collegamento in fibra ottica a 34 Mbit/s. Ciò rende possibile l'eventuale interconnessione con la rete di comunicazione a larga banda (BCN, Broadband Communication Network) dell'Host Nazionale Italiano. Per ulteriori dettagli sulla struttura della rete si rimanda alla (Bibl. 3).

Nell'attuale configurazione della rete il trasporto del segnale DAB, dal punto di generazione presso il trasmettitore di St. Vincent (stazione capo rete) agli altri trasmettitori, viene attuato attraverso collegamenti in ponte radio a microonde, con punto di distribuzione intermedio alla Sede RAI di Aosta. Il primo salto da St. Vincent alla Sede RAI opera a 2 GHz, mentre le altre due tratte, da Aosta a Gerdaz e da Aosta a Blavy, operano a 10,5 GHz.

Gli apparati di codifica e di multiplexazione (fino a un massimo di sei programmi stereo da 256 Kbit/s su un blocco DAB) nonché il modulatore digitale COFDM sono installati presso il trasmettitore di St. Vincent. È allo studio la possibilità di generare il segnale DAB presso il Centro Ricerche RAI a Torino e di inviarlo a St. Vincent tramite collegamento in ponte radio a 2 GHz oppure attraverso un collegamento via satellite in banda Ku (14/11 GHz). Una stazione trasmissiva con EIRP di 72 dBW (antenna da 2,4 m.) installata presso il Centro Ricerche permetterà l'accesso diretto al satellite.

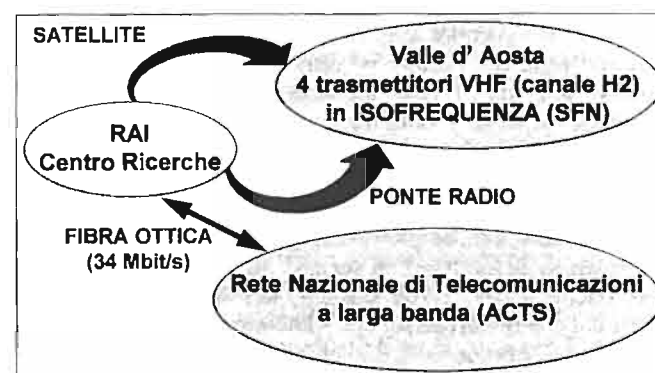


Fig. 1 — Architettura della rete sperimentale DAB-T

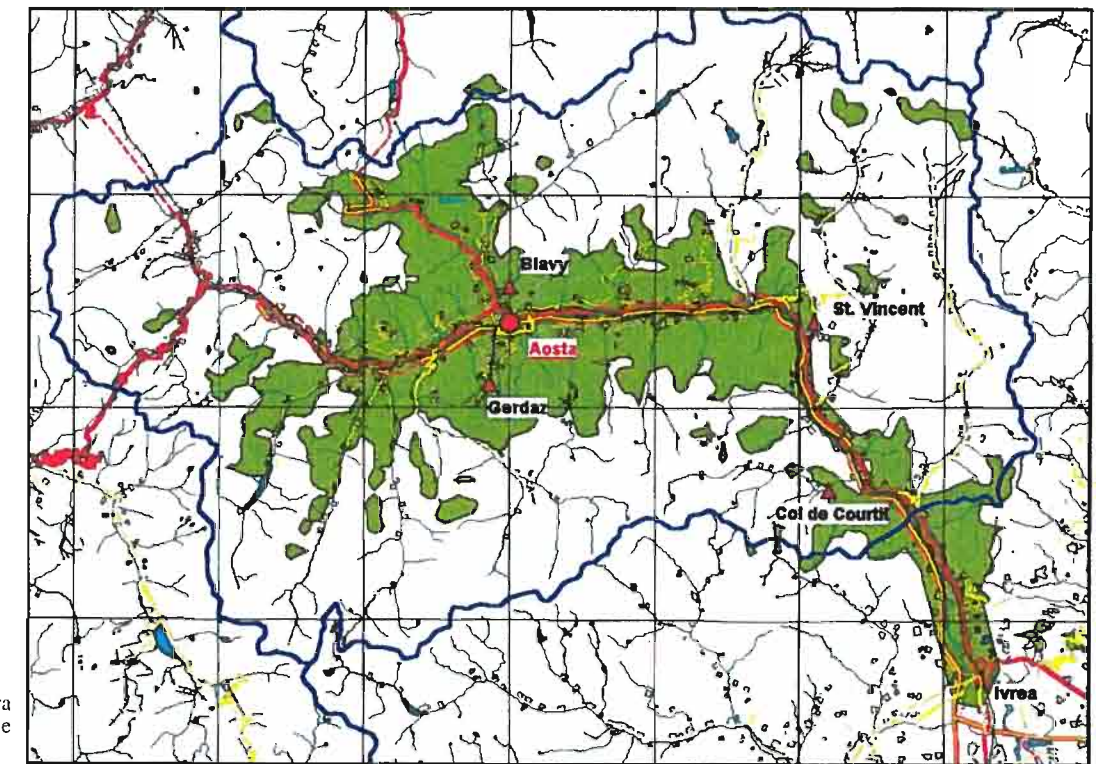


Fig. 2 — Area di copertura del Servizio sperimentale DAB-T in Valle d'Aosta

In prospettiva, le funzioni di codifica e multiplexazione del segnale potrebbero venire separate dalla funzione di modulazione digitale COFDM effettuata presso ogni trasmettitore della rete SFN, analogamente a quanto avverrà sulla rete RAI destinata a gestire il servizio operativo DAB-T. Un apposito adattatore di rete verrà utilizzato per il trasporto ai trasmettitori del multiplex DAB tramite collegamento in ponte radio o via satellite Hot-Bird 1 su un flusso a 2,048 Mbit/s (Racc. G. 703 del CCITT) che potrebbe essere associato, nello stesso transponder, al segnale PAL/MF dei programmi di RAIUNO (di RAIDUE o di RAITRE). Per la trasmissione del segnale a 2,048 Mbit/s si adotterà lo standard DVB; ciò consentirà una ricezione affidabile da Hot-Bird 1 con piccole antenne riceventi (1,2 metri), facilmente installabili presso gli impianti trasmissivi della rete. La sincronizzazione del multiplex DAB, necessaria per assicurare il corretto funzionamento in isofrequenza dei trasmettitori è ottenuta grazie ad opportune informazioni inserite nel protocollo di trasmissione del flusso a 2,048 Mbit/s.

Gli impianti trasmissivi della rete SFN operano in modo continuo 24 ore su 24. Al fine di non introdurre significative distorsioni di non-linearità che potrebbero degradare il segnale DAB viene introdotto un Back-Off (OBO) sulla potenza irradiata (ERP) mantenendola di 3-5 dB al di sotto del valore nominale. Inoltre è possibile inserire un filtro di banda sul segnale RF irradiato per evitare interferenze verso altri servizi operanti sui canali adiacenti. Ogni trasmettitore può essere controllato a distanza da vari punti dell'area di servizio con un radiotelefono a 459,825 MHz. Su ognuno dei tre trasmettitori si possono controllare i seguenti parametri:

- Commutazione accensione/spegnimento
- Potenza irradiata rispetto al valore nominale

- Commutazione polarizzazione RF (verticale / orizzontale)
- Segnale in banda base (DAB, TV digitale, PAL).

Presso ogni trasmettitore, il segnale DAB viene fatto transitare attraverso una linea di ritardo regolabile a passi di 50 ns. Ciò permette di equalizzare il ritardo relativo fra i segnali irradiati dai tre trasmettitori nell'area di servizio.

In tutti gli impianti è stata adottata la stessa configurazione di antenna trasmissiva sul canale H2. Essa consiste di due pannelli radianti polarizzati verticalmente: ogni pannello contiene quattro dipoli, che forniscono un guadagno di circa 9 dB. Nella sperimentazione DAB si adotta la polarizzazione verticale in quanto nel ricevitore a bordo dell'autoveicolo viene utilizzata un'antenna a stilo. Due pannelli radianti, in polarizzazione orizzontale sono installati sullo stesso traliccio in vista di futuri esperimenti di televisione digitale.

3. Obiettivi della sperimentazione

L'intero piano di sperimentazione prevede essenzialmente tre tipi di prove:

- *prove di laboratorio*, per valutare le prestazioni del sistema e dei ricevitori DAB in presenza di rumore, interferenze e propagazione multipercorso;
- *caratterizzazione del canale trasmissivo*, da effettuare in area con ricezione fissa, raccogliendo dati sulla distribuzione degli echi ed individuando i parametri critici per la pianificazione del servizio;
- *prove di copertura del servizio*, da effettuare in area con ricezione mobile.

3.1 PROVE DI LABORATORIO

Prima di avviare le campagne di sperimentazione sul campo è necessario verificare in laboratorio la corrispondenza alla normativa ETSI (Bibl. 1) degli apparati di generazione e verificare le prestazioni dei ricevitori DAB disponibili. Si tratta di apparati della terza generazione che presentano ancora caratteristiche semiprofessionali. Particolare attenzione è stata rivolta al funzionamento nel Modo I, previsto per i servizi DAB-T operanti in banda III-VHF. Sull'intera catena DAB simulata in laboratorio sono state effettuate le seguenti misure:

- rapporto portante-rumore (C/N) alla soglia di percettibilità dei disturbi;
- tasso di errore (BER) in funzione del rapporto C/N (dB);
- caratterizzazione del front-end del ricevitore in termini di: rapporto C/N in funzione della tensione di ingresso [dB(μ V)]
- interferenza DAB — B/PAL e viceversa (CCI ed ACI);
- prestazioni del sistema su canale simulato affetto da propagazione multipercorso ed effetto Doppler.

3.2 CARATTERIZZAZIONE DEL CANALE TRASMISSIVO

Queste prove, da effettuare sul campo, hanno come obiettivo principale la caratterizzazione della rete SFN (affidabilità degli impianti, flessibilità operativa, verifica dei dati di progetto, ecc.), la verifica delle prestazioni del DAB in ricezione fissa e mobile, e la caratterizzazione del canale di diffusione terrestre nella banda III-VHF (Bibl. 4). Verranno inoltre verificate le previsioni del campo elettromagnetico (e.m.) disponibile nell'area di servizio di ogni singolo trasmettitore e si individueranno alcuni tipici percorsi di prova sui quali effettuare le valutazioni del servizio in ricezione mobile.

Per quanto riguarda la valutazione della rete SFN si considerano i seguenti aspetti:

- stabilità di frequenza dei trasmettitori;
- linearità dei trasmettitori necessaria per limitare le emissioni spettrali fuori banda, con particolare attenzione alla trasmissione di blocchi DAB adiacenti all'interno dello stesso canale RF;
- equalizzazione del ritardo di propagazione relativo ai tre trasmettitori per soddisfare gli obiettivi di copertura del servizio;
- verifica in area delle previsioni di campo relative ai tre impianti trasmettenti.

Le campagne di misura riguardano sia la *ricezione fissa* che la *ricezione mobile*. Nel primo caso viene utilizzato un automezzo, messo a disposizione dal Centro di Controllo di Monza, equipaggiato di antenna direttiva Yagi (con guadagno di 7 dB) posta a 10 metri dal suolo e di antenna omnidirezionale Ground plane posta a circa 3 metri dal suolo. Le misure in ricezione mobile sono effettuate con una autovettura equipaggiata di antenna a stilo in $\lambda/4$.

Il principale obiettivo è l'identificazione dei parametri che hanno una influenza diretta sulle prestazioni della rete SFN, quali la sensibilità del segnale DAB alle varie cause di degradamento (propagazione multipercorso, interferenze, effetto Doppler). Particolare attenzione è rivolta a determinare l'influenza sulla qualità della ricezione dell'ambiente entro cui l'automezzo si muove, e precisamente se in

area urbana, rurale, collinare, montagnosa, su tratte autostradali, ecc.

Le campagne di misura in ricezione fissa si svolgono in due fasi consecutive: una prima fase focalizzata sull'area di servizio di ogni singolo trasmettitore (con gli altri due spenti), ed una seconda fase con i tre trasmettitori contemporaneamente operativi in rete SFN. In entrambi i casi vengono considerati i seguenti parametri:

- intensità di campo (dB(μ V/m)) disponibile nella ricezione diretta;
- intensità di campo (dB(μ V/m)) alla soglia di percettibilità del degradamento, ottenuta attenuando il segnale RF all'ingresso del ricevitore;
- tasso d'errore (BER);
- acquisizione e memorizzazione dello spettro RF;
- risposta impulsiva del canale RF e memorizzazione degli echi.

I risultati di queste misure consentono di valutare il guadagno della rete SFN. Tale guadagno è un parametro caratteristico della rete, ed è attribuibile al fatto che i segnali dei trasmettitori si sommano mutuamente all'ingresso del ricevitore. Tuttavia, non tutti i segnali provenienti da riflessione multipercorso si sommano in modo costruttivo, ma solo quelli i cui ritardi rientrano nell'intervallo di guardia del sistema.

L'indagine per la caratterizzazione del canale radio, in ricezione fissa, è effettuata utilizzando anche un secondo metodo di misura sviluppato dal Centro Ricerche (Bibl. 5) i cui risultati vengono confrontati con il metodo classico che utilizza la sequenza CAZAC del segnale DAB/COFDM. Detto metodo, che consente di pervenire alla statistica degli echi (cioè numero degli echi, ampiezza e ritardo) si basa sulla acquisizione e sull'elaborazione numerica di un impulso sen X/X inserito nell'intervallo di cancellazione di quadro di un segnale PAL irradiato dal trasmettitore (al posto del segnale DAB) e ricevuto attraverso un ricevitore televisivo professionale.

Per una valutazione completa del sistema DAB e la caratterizzazione del canale radio su rete SFN si rende necessario effettuare ulteriori misure in *ricezione mobile*. A questo scopo è stata equipaggiata presso il Centro Ricerche una speciale autovettura che verrà utilizzata anche per dimostrazioni al pubblico e per la promozione del servizio. A bordo dell'autovettura, con ascolto diretto in cuffia, è possibile effettuare un confronto diretto fra la qualità audio del DAB e quella del suono convenzionale MF, entrambi generati da uno stesso programma radiofonico (ad es. Radio1). Su un piccolo visore a cristalli liquidi, installato sul cruscotto dell'autovettura, è possibile visualizzare la distribuzione degli echi presenti sul segnale DAB ricevuto.

Lungo il percorso, a velocità costante, vengono effettuate sul segnale DAB/COFDM: misure di intensità di campo (nella banda di 1,5 MHz) e di tasso di errore (BER), ottenuto contando gli errori verificatisi in un determinato intervallo di tempo. Alle misure viene associata l'indicazione della posizione del veicolo sul terreno fornita da un ricevitore GPS (Global Positioning System). Un analizzatore di spettro viene usato, in casi particolari, per visualizzare lo spettro RF ricevuto. L'acquisizione dei dati è sincronizzata alla rotazione dell'albero motore del veicolo ed è controllata da un personal computer. La ricezione del segnale viene effettuata utilizzando una antenna a stilo in $\lambda/4$ installata sull'autovettura a 1,5 metri dal suolo.

Queste misure vengono effettuate sull'autostrada A5, nel tratto St.Vincent — Aosta, con velocità diverse dell'autoveicolo (tipicamente 60 e 100 Km/h) al fine di valutare l'influenza dell'effetto Doppler sulla qualità del segnale ricevuto.

La procedura per la raccolta e l'analisi dei dati di misura, in ricezione fissa e mobile, consente di pervenire a risultati direttamente confrontabili con quelli ottenuti in laboratorio su canale radio simulato.

Le misure in ricezione mobile sono effettuate su una varietà di percorsi selezionati che includono aree urbane (nella città di Aosta), zone collinari e montagnose oltre al tratto autostradale già citato. Particolare attenzione è rivolta alla qualità relativa tra segnale DAB e segnale analogico MF.

3.3 VALUTAZIONE DELL'AREA DI COPERTURA DEL SERVIZIO

La pianificazione dei servizi televisivi e radiofonici MF sulle reti terrestri utilizza metodi di predizione della propagazione che fanno riferimento all'intensità di campo medio, misurato a *banda stretta* sulla portante del segnale RF, disponibile nel 50% di una determinata area e per il 50% del tempo, impiegando una antenna ricevente posta a 10 metri di altezza rispetto al suolo. La disponibilità di curve

di correzione per le misure a *banda stretta* permette di stimare l'intensità di campo disponibile ad una altezza minima di circa 3 metri per una percentuale assegnata dell'area di copertura.

La pianificazione del servizio DAB-T richiede di sviluppare metodi di predizione della propagazione che forniscano l'intensità di campo minimo a 1,5 metri al disopra del terreno, cioè al livello tipico dell'antenna ricevente a bordo delle autovetture. Tali metodi devono inoltre tenere conto della minor sensibilità alle riflessioni multipercorso del segnale DAB, a *banda larga*, rispetto al segnale analogico MF, a *banda stretta*.

È quindi necessario rivedere i metodi di predizione di campo e.m. della Racc. PN. 370-5 dell'ITU-R adottando opportuni fattori di correzione relativi al *fattore di variazione locale* e al *guadagno di altezza dell'antenna ricevente*. In base all'esperienza finora acquisita nelle sperimentazioni DAB-T in Europa e nel Nord America, sono disponibili alcune indicazioni preliminari sui fattori di correzione e sulla distribuzione statistica dell'intensità di campo. I risultati sembrano indicare una deviazione standard dell'intensità di campo, nella banda III-VHF, dell'ordine di 5,5 dB rispetto agli 8,3 dB ipotizzati nella Racc. PN. 370-5 per la statistica del fattore di variazione locale. Tuttavia,



Fig. 3 - Autovettura attrezzata dal Centro Ricerche RAI per la ricezione mobile del DAB.

questi risultati non rappresentano ancora un campione sufficientemente accurato della situazione reale. Perciò sono necessarie prove di campo in ricezione mobile più estese per meglio identificare il modello di propagazione, l'influenza del terreno, nonché l'impatto della banda del ricevitore sull'intensità di campo misurata.

I valori di intensità di campo relativi alle misure a larga banda sul segnale DAB (1,5 MHz) saranno quindi confrontati con i valori ottenuti a banda stretta (120 kHz) secondo le modalità correntemente adottate sui segnali radiofonici MF, al fine di identificare la statistica degli errori che influenzano il metodo di misura.

Queste prove di campo sono effettuate dal Centro di Controllo di Monza, con la collaborazione del Centro Ricerche, nell'area di ciascun trasmettitore mantenendo gli altri due trasmettitori spenti. Lo scopo è di raccogliere le informazioni necessarie per la pianificazione, quali i requisiti di copertura del servizio e l'identificazione dei parametri di correzione necessari per adeguare gli attuali metodi di predizione della propagazione al caso della diffusione digitale terrestre. La differente tipologia dell'area di sperimentazione è particolarmente interessante a questo riguardo.

Le misure sono effettuate con un'autovettura equipaggiata con misuratore di campo professionale controllato da un personal computer e da un ricevitore GPS. L'intensità di campo del segnale DAB-T viene registrata in modo continuo sincronizzando le acquisizioni con la rotazione dell'albero motore del veicolo ad intervalli di 25 cm., corrispondenti a circa 1/5 della lunghezza d'onda della portante RF del canale H2. Ogni blocco di 80 misure, che corrisponde ad un percorso di 20 metri, viene identificato dalla posizione del veicolo fornita dal ricevitore GPS. Questa procedura permette di ottenere acquisizioni dettagliate del profilo dell'intensità di campo lungo il percorso. Le misure sono effettuate allontanandosi progressivamente dal trasmettitore fino al raggiungimento della soglia minima dell'intensità di campo richiesto per una buona qualità di ricezione del segnale DAB. I risultati sono elaborati separatamente secondo il tipo di area esaminata: urbana, rurale, montagnosa, ecc.

In una prima fase, le misure di intensità di campo sono effettuate a 1,5 metri al di sopra del terreno con l'antenna ricevente dell'autoveicolo (dipolo a $\lambda/4$). Le misure sono quindi ripetute, sui percorsi più significativi impiegando un automezzo attrezzato con antenna a dipolo $\lambda/2$ installata a 10 metri al di sopra del terreno.

Tutte le misure di campo, sono effettuate alle altezze di 1,5 e 10 metri, sia nel modo a banda larga (1,5 MHz) che nel modo a banda stretta (120 kHz) allo scopo di valutare l'influenza dei fading selettivi nella ricezione mobile in VHF.

L'intervallo di acquisizione molto corto (25 cm.) permette di separare, nella procedura di elaborazione dei dati, gli effetti di evanescenza veloce e selettiva, dovuti alla propagazione multipercorso, dalle attenuazioni di campo non selettive e stabili (evanescenza lenta) attribuibili alla presenza di ostacoli fra l'antenna ricevente ed il trasmettitore.

4. Conclusioni

I rapidi sviluppi in atto sul DAB, con l'introduzione di nuove applicazioni orientate alla multimedialità ed alla interattività e la prossima disponibilità di ricevitori com-

merciali, hanno accelerato i piani di sperimentazione tecnica del sistema e favorito l'introduzione nel contesto europeo ed internazionale di servizi sperimentali e/o preoperativi. Queste attività sono state inoltre incoraggiate dai risultati della Conferenza di Pianificazione della CEPT tenutasi a Wiesbaden (luglio '95) che ha individuato le gamme di frequenza utilizzabili per i servizi DAB-T nei vari paesi europei.

Il Gruppo di lavoro RAI sul DAB opera da tempo su tali tematiche con l'obiettivo di tradurre l'interessante prospettiva offerta da questo rivoluzionario sistema in una realtà concreta per l'Azienda e per il nostro paese. La rete isofrequenziale sul canale H2 realizzata in Valle d'Aosta, con l'autorizzazione del Ministero PT, rappresenta l'importante banco di prova sul quale, in una prima fase, è stato possibile valutare le potenzialità del DAB nei confronti dell'attuale servizio radiofonico a modulazione di frequenza, per evolvere successivamente nel primo servizio sperimentale DAB effettuato dalla RAI.

La fase di sperimentazione è stata condotta secondo le indicazioni del piano descritto nel presente articolo, con particolare attenzione alla valutazione dei fattori tecnico-operativi, alle problematiche della rete di trasporto e degli impianti di diffusione del segnale, all'influenza della propagazione multipercorso introdotta dalla tormentata orografia del territorio ed all'individuazione di adeguati criteri di pianificazione per il nuovo servizio, con particolare attenzione alla ricezione mobile.

A conclusione della fase di sperimentazione sul campo, i cui risultati sono stati riportati nella relazione presentata dalla RAI al Ministero PT (giugno '96), si può sostanzialmente ritenere che i criteri di valutazione ed i parametri di misura della qualità del servizio proposti nel presente articolo rappresentino un sostanziale riferimento di progetto della rete nella fase di progressiva estensione del servizio sperimentale ad altre aree del territorio nazionale secondo le procedure concordate tra la RAI e il Ministero PT.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - European Telecommunication Standard ETS 300 401: *Radio broadcast systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers* -ETSI, November 1994.
- 2 - ITU-R Rec. PN 370-5: *VHF and UHF propagation curves for the frequency range from 30 MHz to 1000 MHz*, 1990.
- 3 - COMINETTI M.: *The RAI plans for DAB field tests* — EBU Technical Review, No. 262, Winter 1994.
- 4 - ARIAUDO M., RIPAMONTI S.: *Channel 12 single frequency network in the Aosta Valley. Measurement procedure* — RAI Research Centre, September 1994.
- 5 - ARIAUDO M., BLANCHIETTI G., RIPAMONTI S.: *Experimental evaluation of the radio channel statistical characteristics* — RAI Research Centre, June 1994.

SPERIMENTAZIONE DAB-T IN VALLE D'AOSTA SINTESI DEI RISULTATI

M. ARIAUDO*

Sommario — Il presente articolo introduce sinteticamente l'architettura e le caratteristiche della rete sperimentale DAB-T in Valle d'Aosta e riporta i risultati fondamentali delle misure condotte in area di servizio. Sono riportati alcuni dati relativi al confronto della qualità in campo del servizio radio DAB-T nei confronti del servizio a modulazione di frequenza. Sono accennate le problematiche relative ai metodi avanzati di previsione di campo per sistemi numerici in rete isofrequenziale.

Summary — The present article introduces syntetically the architecture and the main characteristics of the experimental Single Frequency Network (SFN) in the Aosta Valley and reports the most important results of the measurement campaigns in the service area. Some elements relevant to the quality comparison in the field between DAB-T and FM radio service are presented. A short account of the problems relevant to the advanced field strenght prediction methods for digital systems in SFN is given.

1. Introduzione

La rete sperimentale DAB-T in Valle d'Aosta è stata sviluppata sulla base del piano di sperimentazione che la RAI effettua nel contesto della partecipazione al Consorzio Europeo Eureka 147 («Piano di sperimentazione della RAI sul DAB-T» in questo numero della rivista).

Lo studio, il progetto e la realizzazione della rete è stato effettuato da un Gruppo di lavoro con la partecipazione di varie strutture della RAI.

Il sistema numerico DAB-T, per le sue caratteristiche di codifica e di modulazione garantisce una superba qualità del segnale sonoro anche in aree di ricezione affetta da riflessioni e disturbi e può operare in rete isofrequenziale con impianti irradianti sulla stessa frequenza anche in aree adiacenti ed in sovrapposizione.

Questi due elementi distintivi del nuovo sistema ed altamente innovativi per la radiofonia richiedono peraltro di applicare nuovi concetti, metodologie e procedimenti nella progettazione e realizzazione della rete di trasporto e degli impianti di diffusione; nella predizione della intensità di campo in area di servizio e nelle misure per la validazione del sistema in campo e l'acquisizione dei parametri per la pianificazione del nuovo servizio sul territorio.

Le problematiche affrontate sono state molteplici e complesse:

- Analisi e rilevazione dei fenomeni interferenziali nell'area interessata, dato l'intensivo utilizzo dello spettro VHF per emittenze televisive.

- Studio dell'architettura della rete isofrequenziale e modalità di trasporto del segnale agli impianti di diffusione.
- Tecniche di sincronizzazione degli apparati di trasmissione, equalizzazione dei ritardi di propagazione e controllo remoto degli impianti.
- Studio della propagazione e.m. con applicazione della Teoria Geometrica della Diffrazione e tecniche di ray-tracing, finalizzata allo sviluppo di metodi predittivi dell'intensità di campo in area, adeguati alle caratteristiche del sistema numerico DAB-T in rete isofrequenziale SFN.
- Sviluppo di metodologie avanzate per misure (intensità di campo, tasso d'errore) georiferite GPS per la validazione del sistema di campo, la verifica della copertura del servizio e l'ottimizzazione dei parametri per la pianificazione del territorio.

I diversi argomenti sono trattati in dettaglio negli articoli che seguono. Nei paragrafi successivi del presente articolo si riportano sinteticamente le caratteristiche essenziali della rete e degli impianti e si riassumono i risultati delle misure in area. Viene illustrato il confronto sulla qualità del segnale sonoro DAB-T ricevuto in movimento a bordo di un'auto nei confronti del segnale in modulazione di frequenza, su alcuni percorsi nell'area di servizio. È dato infine un breve cenno sulle linee di indirizzo dello studio sui metodi predittivi avanzati.

2. Architettura e problematiche di rete SFN

L'architettura e la sistemistica della rete isofrequenziale (SFN) sono descritte in dettaglio nell'articolo «Architettura e sistemistica della rete SFN in Valle d'Aosta» in questo

* Dr.ssa Margherita Ariaudo del Centro Ricerche RAI — Torino. Datiloscritto pervenuto alla Redazione l'8 Novembre 1996.

numero della rivista, con particolare attenzione alle problematiche della rete di trasporto e degli impianti di diffusione (sincronizzazione in frequenza, equalizzazione dei ritardi, linearità dell'amplificatore finale, sistema radiante).

Nell'attuale realizzazione della rete SFN, si effettua la codifica del segnale audio di sorgente (MUSICAM), la moltiplicazione e la modulazione (COFDM) in un unico punto che, per comodità operative, è stato individuato nell'impianto caporete di St. Vincent.

Il trasporto agli altri impianti di diffusione del segnale DAB, modulato COFDM, relativo al blocco così costituito, avviene attraverso ponte radio analogico in modalità «pseudo-video».

Presso ciascun impianto trasmittente della rete SFN viene effettuata la conversione alla frequenza finale e la successiva amplificazione e diffusione sul canale H2.

Questa soluzione è stata dettata dalle caratteristiche tecnologiche degli apparati DAB disponibili al momento del progetto e realizzazione della rete in Valle d'Aosta.

L'evoluzione tecnologica consente ora di adottare soluzioni avanzate, flessibili e più adatte alla configurazione di servizi DAB-T nazionali e regionali, nei quali l'architettura di rete prevede, in generale, la codifica e la moltiplicazione dei vari programmi localizzata in un solo punto. Il trasporto del segnale DAB dal moltiplicatore ai centri trasmettenti, può essere effettuato attraverso collegamenti numerici (ponte radio, fibra ottica, satellite) su un flusso a 2.048 Mbit/s secondo gli standard ITU-T.

Possibili soluzioni tecnologiche «avanzate» per l'architettura di rete nell'intera catena di radiodiffusione del servizio DAB-T (codifica, moltiplicazione, trasporto e diffusione) sono analizzate nell'articolo «Evoluzione della tecnologia di rete per il servizio DAB-T» in questo numero della rivista.

La notevole flessibilità di gestione del multiplex e della capacità trasmissiva (circa 1,5 Mbit/s disponibile per blocco DAB) consentita dalle soluzioni tecnologiche suddette permette di adottare configurazioni operative diverse per numero e qualità dei programmi, a seconda dei requisiti del servizio.

A titolo di esempio, si riporta in tabella la configurazione del multiplex per il servizio DAB nazionale adottata dalla BBC sul blocco 12D nell'area di Londra:

TABELLA 1
CONFIGURAZIONE DEL MULTIPLEX DAB DEL SERVIZIO NAZIONALE BBC

Programma	Bit-rate (kbit/s)	Servizio
1	192	BBC Radio 1 DAB
2	192	BBC Radio 2 DAB
3	192	BBC Radio 3 DAB
4	192	BBC Radio 4 DAB
5	96	BBC R5 Live DAB
6	96	BBC World Service
7	96	BBC Parliament
8	96	5 Live Sports +

Nell'ipotesi di estensione del servizio sperimentale DAB-T si potrebbe prevedere una configurazione del multiplex che comprendesse per esempio:

i tre programmi stereofonici RAI (Radio 1, 2 e 3) codificati a 192 kbit/s, un programma «sperimentale» di alta qualità originato localmente da sorgenti digitali (compact-

disc, DAT) codificato a 256 kbit/s, un programma monofonico (ad es. canale RAI-Parlamento) codificato a 64 kbit/s, un canale dati da 64 kbit/s per la sperimentazione di servizi multimediali.

La capacità residua potrebbe essere destinata ad ospitare fino a tre programmi stereofonici forniti dall'emittenza privata.

3. Validazione del sistema in area di servizio

3.1 RICEZIONE FISSA

Le campagne di misura in area di servizio sono iniziate con una fase di verifica della funzionalità operativa dei tre impianti trasmettenti attuata mediante misure di campo e.m. in alcuni punti significativi sul territorio.

Le misure di campo sono state effettuate con antenna Yagi a 10 m di altezza sulla portante video di un segnale PAL e sul segnale DAB con la stessa potenza irradiata. I risultati sono riportati nell'articolo «Funzionalità degli impianti trasmettenti e valutazione in campo del sistema DAB» in questo numero della rivista, e risultano in discreto accordo con le previsioni di campo effettuate con i metodi in uso per i sistemi analogici.

Nel caso della ricezione del segnale DAB-T si è utilizzata un'antenna omnidirezionale situata ad una altezza di circa 1,5 m rispetto al suolo. Pertanto, ai fini dell'utilizzo dei metodi tradizionali di predizione del campo e.m. per la pianificazione, è necessario verificare la validità del fattore di correzione di 10 dB, assunto dalla CEPT, per tenere conto del «guadagno di altezza dell'antenna» (GAA) passando da 1,5 a 10 m.

I risultati delle misure di campo e.m. effettuate hanno indicato un valore medio di GAA di 7,5 dB con una deviazione standard di 6,3 dB. L'elevato valore della deviazione standard, imputabile anche al limitato numero di misure, non consente di trarre conclusioni definitive. Sembrerebbe comunque possibile ritenere che l'ipotesi CEPT di 10 dB garantisca margini adeguati.

Un importante obiettivo delle misure effettuate con ricezione fissa nei punti esaminati è stata la caratterizzazione del canale radio attraverso la risposta impulsiva su un segnale di prova $\sin(x)/x$ e la registrazione degli echi ricavati dalla sequenza CAZAC (Constant Amplitude and Zero AutoCorrelation sequence) del segnale DAB/COFDM.

La presenza degli echi, riscontrata con l'antenna omnidirezionale, genera in taluni casi una sensibile alterazione dello spettro del segnale DAB, con conseguente degradamento (dell'ordine di 2÷3 dB) delle prestazioni del sistema in termini di campo e.m. minimo richiesto, rispetto a quello con antenna direttiva.

Le misure della potenza all'ingresso del ricevitore alla soglia di funzionamento del sistema DAB-T e del campo e.m. derivato hanno evidenziato l'effetto migliorativo della rete SFN, rispetto alla condizione di impianti singoli, in termini di valore medio e di deviazione standard, come risulta dalla Tab. 2.

Circa la statistica degli echi nella condizione SFN si è osservata essenzialmente la presenza di echi principali, dovuti ai tre trasmettitori. Gli echi dovuti a riflessioni multiple sono risultati di basso livello e contenuti in ogni caso all'interno dell'intervallo di guardia del sistema ($\tau_g = 256 \mu s$).

TABELLA 2
POTENZA, CAMPO E.M. E C/N RICHIESTI ALLA SOGLIA DI ERRORE DEL RICEVITORE

	Potenza Media [dBm]	σ (dB)	Campo e.m. soglia dBmV/m	C/N (dB)
Tipo ricezione				
Canale gaussiano ideale				7
Canale Rayleigh			35	15
YAGI direttiva (impianti singoli)	-87,5		31,8	11,8
Omnidirezionale (impianti singoli)	-87,5	3,2	34,5	14,5
Omnidirezionale SFN	-88,6	2,5	33,4	13,4

3.2 RICEZIONE MOBILE

Specificare l'area di copertura del servizio DAB-T richiede l'adozione di criteri in parte diversi da quelli applicati nella pianificazione dei servizi radiofonici in modulazione di frequenza (MF). Infatti il tipico comportamento a soglia del segnale digitale nei confronti del rumore od altri degradamenti può determinare una improvvisa interruzione del servizio qualora vengano superati i margini per la corretta ricezione del segnale. Se invece, grazie all'impiego di opportuni criteri di pianificazione, tali margini sono garantiti, si renderà sempre disponibile all'utente la qualità perfetta del segnale audio di sorgente, anche in condizioni di ricezione affette da severi degradamenti.

Questo comportamento a soglia del segnale digitale suggerisce quindi di adottare, in fase di pianificazione del servizio, curve di propagazione basate su requisiti più rigorosi rispetto al criterio F (50,50) stabilito dalla Racc. 370-5 dell'ITU-R, sia per quanto riguarda il riferimento alle località che alla disponibilità temporale del servizio. Si propone correntemente di adottare il criterio F(99,99), la cui validità dovrà essere confermata mediante indagini sperimentali sul campo.

È necessario, pertanto, rivedere i metodi di predizione di campo e.m. della Racc. 370-5 dell'ITU-R adottando opportune correzioni relative al fattore di variazione locale e al guadagno di altezza dell'antenna ricevente.

L'individuazione di tali fattori di correzione richiede che vengano effettuate estese campagne di misura in ricezione mobile per meglio identificare il modello di propagazione, l'influenza del terreno, nonché l'impatto della banda del ricevitore sull'intensità di campo misurata.

I risultati delle campagne suddette devono quindi essere confrontati con i parametri di pianificazione adottati dalla CEPT per il servizio DAB-T, riportati in Tab 3.

Una **prima campagna di misure** è stata effettuata dal Centro di Controllo di Monza, con la collaborazione del Centro Ricerche, su alcuni percorsi selezionati nell'area dei singoli trasmettitori. («Campagna di misure DAB-T su impianti trasmettenti singoli» in questo numero della rivista).

Lo scopo è stato quello di raccogliere informazioni relative al campo e.m. mediano (50%) nelle varie località; al fattore di variazione locale, derivato dalla deviazione standard del campo mediano tenendo conto sia dell'influenza del territorio che della distanza rispetto al trasmettitore; e all'influenza della misura a banda larga (sul segnale DAB; 1.5 MHz) e a banda stretta (sul segnale PAL; 300 kHz).

TABELLA 3
PARAMETRI DI PIANIFICAZIONE DEL SISTEMA DAB-T PER IL METODO DI PREDIZIONE ITU-R RACC. 370

Banda di frequenza	Banda III
Cifra di rumore del ricevitore (dB)	7
Flusso di potenza di rumore impulsivo (dBW/m ²)	-134,6
Rapporto portante/rumore C/N (dB) alla soglia (Canale Rayleigh, velocità 130 Km/h)	15
Intensità di campo minima (dBμV/m)	35
Guadagno di altezza dell'antenna (dB)	10
Fattore di correzione da 50% al 99% delle località (dB)	13
Campo mediano minimo per la pianificazione (dBμV/m) a 10 m. di altezza	58

È stata inoltre effettuata una verifica della validità di due metodi predittivi per la stima del campo e.m.: il metodo A (punto-punto) e il metodo B (ITU-R Racc. 370-5).

I risultati della campagna di misure si possono così sintetizzare:

- Il valore mediano del campo e.m. risulta in tutte le zone esaminate superiore a 48 dBμV/m che rappresenta il livello minimo a 1,5 m di altezza rispetto al suolo, stabilito dalla CEPT.
- Il fattore di variazione locale derivato dalla deviazione standard ($\sigma = 3$ dB), nell'ipotesi di distribuzione log-normale, risulta uguale a 7 dB ed è pertanto inferiore al valore di 13 dB assunto dalla CEPT. Ulteriori verifiche sono necessarie specialmente in ambiente urbano in zone non in visibilità diretta dell'antenna trasmittente ed in condizioni di maggiore variabilità del segnale.
- Il confronto fra segnale DAB-T a banda larga e PAL a banda stretta evidenzia come prevedibile una deviazione standard del campo e.m. mediano maggiore per il segnale a banda stretta. Il valore risultante di circa 4 dB (con variazioni di $\pm 0,5$ dB in funzione della distanza dal trasmettitore), è comunque inferiore agli 8,3 dB riportati nella Racc. 370-5 per la deviazione standard del fattore di variazione locale.
- Dall'analisi dei valori derivati con i due metodi di previsione considerati risulta che:
 Il metodo A, 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 anche perché manca di fattori correttivi legati al tipo di ambiente, non disponendo di una banca dati dettagliata del territorio che contenga anche informazioni topografiche.
 Il metodo B, che prende in considerazione le caratteristiche topografiche del territorio e limitate informazioni sul profilo altimetrico, ha prodotto risultati migliori. Nessuno dei due metodi ha condotto comunque a 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 analogiche TV ed MF, che in genere prevedono un'utenza dotata di antenne direttive, non è strettamente necessario considerare i raggi rifles-

si che oltretutto producono solo effetti dannosi. Nella pianificazione delle reti di diffusione del segnale DAB-T, 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.

Una **seconda campagna di misura** in ricezione mobile è stata effettuata dal Centro Ricerche nell'area di servizio dei tre trasmettitori operanti singolarmente, ed in rete SFN, su vari percorsi in ambiente diversificato per un totale di circa 424 Km.

Le modalità ed i risultati ottenuti in questa campagna di misure sono riportati in dettaglio nell'articolo «Campagna di misure DAB-T su rete isofrequenziale SFN» in questo numero della rivista. Lo scopo principale è stato quello di ottenere, attraverso l'acquisizione e l'elaborazione statistica di un gran numero di dati, la verifica dell'estensione del servizio in termini di campo e.m. al 50% e al 99% e la determinazione dei valori dei 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*».

Rispetto alla prima campagna di misure è stato possibile definire con maggiore attendibilità il fattore di variazione locale dalla misura diretta del campo e.m. al 50% e al 99%, mentre nella prima campagna tale fattore è derivato dal valore della deviazione standard del campo mediano (50%).

Le elaborazioni tengono conto globalmente sia dei «fading lenti» che di quelli «veloci», che normalmente influenzano la ricezione mobile.

Nella effettuazione delle misure sono stati scelti otto itinerari diversi, particolarmente significativi per la caratterizzazione del territorio: urbano, suburbano, rurale e montano.

Relativamente alle buone prestazioni del DAB-T su rete isofrequenziale SFN, è opportuno segnalare che esse derivano dalla tolleranza del segnale alla propagazione per cammini multipli, per cui all'ingresso del ricevitore si verifica una mutua addizione dei segnali provenienti dai diversi percorsi.

Ciò avviene a condizione che i ritardi rispettivi non superino l'intervallo di guardia del sistema ($\tau_g = 256\mu s$). 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 vengono sommate. 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 sensibilmente l'area di copertura e la disponibilità del servizio.

Dalla campagna di misure si possono trarre i seguenti risultati:

- La condizione di campo e.m. minimo (35 dB μ V/m) richiesto dalla CEPT per il 99% delle località è stata sempre verificata con margini adeguati su tutti i percorsi esaminati della rete SFN. L'assunzione corrente del campo minimo di 35dB μ V/m, quale riferimento per il funzionamento del sistema DAB-T alla soglia di corretta ricezione, richiede però ulteriori approfondite verifiche da effettuarsi sui vari percorsi mediante misure di tasso di errore.
- Per quanto riguarda il fattore di variazione locale del campo e.m., in ambienti discretamente omogenei, si sono rilevati valori compresi tra 5,8 e 9,3 dB, inferiori quindi al valore di 13 dB normalmente assunto come riferimento dalla CEPT, sostanzialmente in accordo con il valore medio di 7 dB derivato dalle misure effettuate nella prima campagna («Campagna di misure DAB-T su impianti trasmettenti singoli» in questo numero della rivista). 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, attraverso cammini multipli, possono contribuire a ridurre le variazioni del segnale ricevuto, portando il fattore di variazione locale a valori 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. Tali risultati sono confrontabili a quelli riportati in bibliografia. Il massimo guadagno di rete si ha nelle aree di servizio in cui i vari trasmettitori contribuiscono con livelli di campo di entità confrontabile, mentre nelle zone in cui uno dei trasmettitori della rete SFN contribuisce con un campo significativamente più elevato rispetto agli altri trasmettitori, ad esempio in prossimità di ciascun trasmettitore, il guadagno di rete tende a zero.

4. Confronto sulla qualità di ricezione MF e DAB

Allo scopo di valutare le prestazioni del sistema DAB-T in termini di qualità del segnale sonoro nei confronti del segnale irradiato in modulazione di frequenza, sono stati effettuati ascolti e registrazioni nell'area di servizio dei tre impianti trasmettenti in rete SFN. Allo scopo il programma stereofonico Radio 2 Time, irradiato in modulazione di frequenza dai tre impianti di St.Vincent, Gerdaz e Blavy, è stato inserito contemporaneamente nel blocco DAB-T (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 FM e DAB-T ricevuti in movimento su auto attrezzata con entrambi i ricevitori, sono stati registrati contemporaneamente all'immagine video del percorso.

Le immagini e i due segnali audio sono stati registrati su cassetta Betacam, realizzando un audiovisivo che è stato presentato a Radio Expo (Bologna maggio '95) e alla mostra della radio (Roma novembre-dicembre '95).

Dalle registrazioni suddette si possono trarre le seguenti conclusioni:

- il segnale DAB-T ricevuto in movimento a bordo dell'auto attrezzata, mantiene ovunque nell'area di servizio della rete SFN l'elevata qualità audio di sorgente senza degradamento apprezzabile dovuto alla diffusione via etere.
- 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.

5. Previsioni di copertura del servizio DAB-T

Una prima indicazione delle previsioni di copertura sull'area di servizio del sistema DAB-T in rete SFN in Valle d'Aosta è stata ottenuta mediante lo sviluppo di un algoritmo automatico, basato su strutture modulari software. Tale metodo, sviluppato dalla Direzione Diffusione e Trasmissione-Reti di Diffusione, è descritto nell'articolo «Previsione del servizio svolto da una rete DAB-T» in questo numero della rivista. Esso illustra i criteri di pianificazione che si devono adottare per i nuovi sistemi di radiodiffusione digitale ed i parametri correttivi da introdurre per l'utilizzo dei metodi di previsione di campo e.m. per i sistemi analogici.

6. Metodi avanzati di previsione di campo

La determinazione dell'area di copertura del servizio DAB-T su rete SFN richiede la disponibilità di modelli predittivi di campo elettromagnetico e.m. adeguati alle caratteristiche del nuovo sistema digitale e di metodologie rappresentative basate sull'impiego di cartografie informatiche che rendano immediata ed evidente la valutazione tenendo conto della orografia del territorio.

Tali metodi, attualmente allo studio presso vari Enti, utilizzano procedure basate sull'impiego di modelli numerici dettagliati del territorio (DTM = Digital Terrain Model) in grado di migliorare l'approssimazione di predizione. Essi devono inoltre considerare i contributi al campo e.m. ricevuto provenienti da cammini multipli e soggetti a ritardi differenti e fornire, per ogni tratto sul territorio, la distribuzione in ampiezza e ritardo dei vari contributi di riflessione.

Presso il Centro Ricerche RAI è stata pertanto avviata una intensa attività di studio e di ricerca su *metodi predittivi* avanzati con sviluppo di adeguati modelli rappresentati-

vi delle diverse fenomenologie della propagazione, mediante l'impiego della teoria geometrica della diffrazione (GTD: Geometrical Theory of Diffraction), che viene descritta in dettaglio nell'articolo «Metodi avanzati di predizione di campo per il sistema DAB-T» in questo numero della rivista.

La prima fase dello studio è stata rivolta allo sviluppo di un ambiente software che consente la rappresentazione grafica su cartine digitalizzate per confrontare agevolmente le prestazioni dei vari metodi di previsione identificando i limiti di ciascuno. L'obiettivo finale è di pervenire allo sviluppo di un *metodo integrato* che utilizzi database *territoriali* dettagliati ed esegua predizioni attendibili con limitati tempi di elaborazione.

Allo stato attuale dello studio è possibile rappresentare la copertura sul territorio con i metodi predittivi tradizionali sotto forma di curve iso-livello che forniscono il campo e.m. in dB μ V/m, oppure sotto forma di rapporto segnale utile/segnale interferente (C/I). Noto il rapporto di protezione del sistema DAB-T (tipicamente 15 dB su rete SFN con ritardi compresi entro l'intervallo di guardia) è possibile pervenire direttamente ad una stima dell'area di copertura del servizio.

7. Conclusioni

I risultati conseguiti nella fase di sperimentazione del sistema DAB-T sulla *rete isofrequenziale* (SFN) in banda III (canale H2) realizzata dalla RAI in Valle d'Aosta confermano sostanzialmente le aspettative per quanto riguarda l'elevata qualità, l'affidabilità e la disponibilità del servizio, anche in condizioni di ricezione mobile affette da riflessioni multiple, spesso riscontrabili in aree urbane e montagnose. Questi risultati, seppure relativi ad una area di sperimentazione limitata, dimostrano globalmente la superiorità del DAB (full digital) rispetto all'attuale servizio MF (analogico).

La possibilità del DAB-T di operare in rete SFN, anche su vaste aree del territorio (con copertura nazionale e regionale), offre evidenti e considerevoli vantaggi in termini di sfruttamento delle risorse in frequenza e consente di allargare globalmente l'area di copertura del servizio rispetto ad una *rete multifrequenziale* (MFN), composta cioè di trasmettitori operanti con frequenze diverse, come avviene con le attuali reti radiofoniche MF.

Relativamente all'architettura ed alla sistemistica della rete SFN, sono state esaminate le problematiche tecnico-operative individuandone alcune soluzioni, con particolare attenzione alla rete di trasporto ed alla diffusione del segnale.

Le campagne di ricezione effettuate in area hanno consentito di pervenire ad una conoscenza più approfondita dei criteri e dei parametri di pianificazione del servizio, con particolare riferimento alla ricezione mobile, ed hanno evidenziato la necessità di sviluppare metodi avanzati di previsione di campo e.m. che tengano conto dell'orografia del territorio e del contributo dovuto alle riflessioni da cammini multipli.

ARCHITETTURA E SISTEMISTICA DELLA RETE SFN IN VALLE D'AOSTA

S. BERTO, G. BLANCHIETTI, G. GARAZZINO, S. MENEGHELLO *

SOMMARIO — Sono riportati gli elementi fondamentali e le linee guida del progetto della rete isofrequenziale sul canale H2 per la sperimentazione DAB in Valle d'Aosta. Si espongono le soluzioni operative adottate per superare le problematiche interferenziali relative al canale H2 nell'area interessata ed i parametri specifici della rete di trasporto del segnale e degli impianti di diffusione per il corretto funzionamento in isofrequenza.

Sono descritti in dettaglio gli impianti di generazione, trasporto e diffusione del segnale DAB-T con riferimento alla sincronizzazione in frequenza, equalizzazione del tempo di ritardo e linearità degli amplificatori a radiofrequenza, elementi particolarmente importanti per il DAB-T.

SUMMARY — *Network architecture and system design of SFN in the Aosta Valley.* The fundamental design rules and guidelines of Single Frequency Network on channel 12 in the Aosta Valley for DAB experimental service are reported. The solutions adopted to overpass the channel 12 interference problems in the interested area are illustrated. Moreover the specific parameters for the transport network and broadcasting installations in isofrequency operation are given, with details referred to the frequency synchronisation, time-delay equalisation and radiofrequency amplifier linearity, very important elements for the DAB-T system.

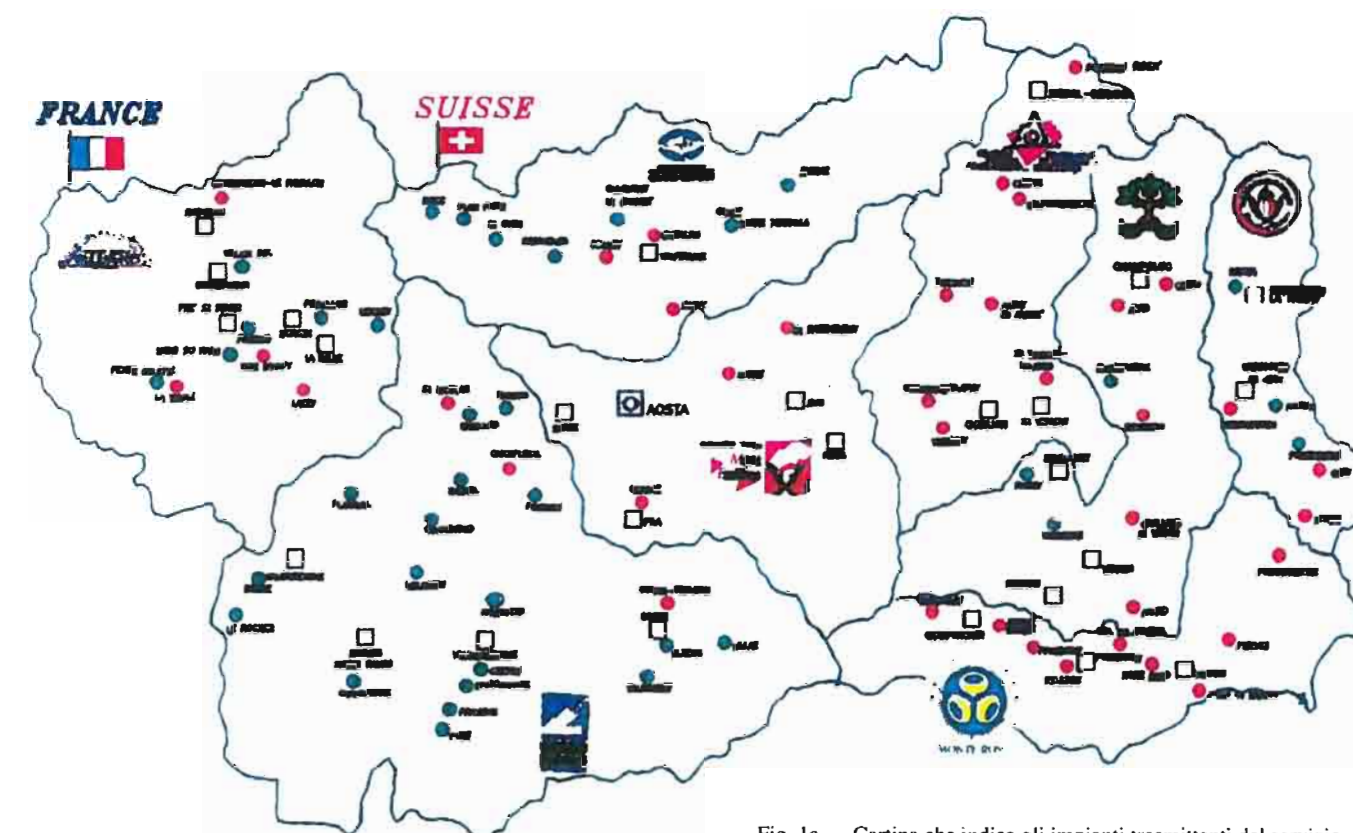


Fig. 1a — Cartina che indica gli impianti trasmettenti del servizio pubblico radiotelevisivo in Valle d'Aosta.

1. Introduzione

La rete a singola frequenza SFN (Single Frequency Network), in Valle d'Aosta, sulla quale si effettua il servizio sperimentale DAB-T su autorizzazione del Ministero PT, è stata progettata ed allestita dal Centro Ricerche in collaborazione con altre strutture aziendali della RAI nel contesto della partecipazione al progetto Eureka 147 DAB e nell'ambito più ampio della sperimentazione dei nuovi sistemi numerici. L'obiettivo primario è di disporre di una area di sperimentazione sulla quale verificare le prestazioni del sistema DAB-T e dei futuri sistemi di televisione numerica terrestre DVB-T nelle reali condizioni di ricezione in area di servizio.

La possibilità di utilizzare la stessa frequenza su impianti di diffusione con aree di copertura sovrapposte e/o adiacenti, deriva dalle caratteristiche dei nuovi sistemi numerici per la radiodiffusione terrestre, sia radiofonica che televisiva, che impiegano la modulazione multiplexing OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) consentendo una notevole ottimizzazione dello spettro di frequenze, anche se si pongono nuove problematiche relativamente alla generazione ed al trasporto del segnale agli impianti di diffusione ed alla struttura degli impianti stessi.

La rete SFN in Valle d'Aosta, operativa dal gennaio '95, consiste di quattro trasmettitori operanti in isofrequenza in banda III-VHF canale H2 (canale 12 europeo), sincronizzati in frequenza ed interconnessi tramite collegamento in ponte radio.

* P.i. Sante Berto, Giuseppe Blanchietti, Giorgio Garazzino e Sergio Meneghello del Centro Ricerche RAI — Torino.
Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 28 Giugno 1996.

Nel presente articolo viene riportata una analisi della situazione di utilizzo dello spettro di frequenze nella banda III-VHF in Valle d'Aosta, con particolare riferimento alla situazione interferenziale cocanale e sui canali adiacenti al canale H2 e si descrivono le soluzioni adottate per superare tali problemi.

Si analizza quindi la sistemistica generale della rete relativamente alla generazione, formazione del blocco DAB e al trasporto dello stesso agli impianti di diffusione; è descritta la struttura degli impianti con riferimento agli apparati ausiliari di telecontrollo e sono riportati i diagrammi misurati dello spettro irradiato da ciascun impianto.

2. Utilizzo dello spettro in banda III-VHF in Valle d'Aosta

Come accennato nell'introduzione il canale utilizzato nell'area di sperimentazione è il canale H2, canale 12 europeo, in linea con le indicazioni della CEPT (Bibl. 1) e con le sperimentazioni DAB-T condotte da altri Broadcasters Europei.

La situazione di utilizzo dei canali nella banda III in Valle d'Aosta è rappresentata nelle figure 1a e 1b che riportano la posizione e la frequenza degli impianti RAI, mentre nella figura 2 è riportato sotto forma di istogramma il numero di trasmettitori relativi a ciascun canale nella banda VHF.

Il canale televisivo H2 è stato reso libero in seguito ad accordi tra la RAI (Direzione Diffusione e Trasmissione — Reti di Diffusione) e le emittenti private, condotti sotto le direttive e l'assistenza del Ministero PT, che lo ha assegnato alla RAI su base sperimentale.

Fig. 1b — Località e canali degli impianti trasmettenti del servizio pubblico radiotelevisivo in Valle d'Aosta.

IMPIANTI GESTITI DALLA RAI

N	Impianto	TV1	TV2	TV3	TVF	TVS	NF1	NF2	NF3	DM1	DM2
1	ANTEY St ANDRE'	F/H 23/V 25/V	37/V 32/V								
2	AOSTA GERDAZ	D/H 27/H 29/H	46/H 54/H	93.4	97.6	99.8	367	1116			
3	AOSTA GERDAZ	H1/V 24/H 28/H	42/H 48/H								
4	ARNAD	D/H 22/H 32/H	44/H 28/H	89.3	93.5	95.9					
5	AYAS	25/H 25/H	54/H 58/H	66/H							
6	BLAVY	F/H 26/V 47/V	57/V 53/V	99.3	92.4	94.5					
7	BRUSSON	H1/H 21/H 33/H	39/H 54/H								
8	CHALLAND St VICT	24/H 27/H 39/H	46/H 64/H								
9	CHAMBAVE/CLAPEY	E/V 30/V 40/V	60/V 63/V								
10	CHAMPEVAL	H/H 27/H 33/H	41/H 45/H								
11	CHARBONNEY	37/V 41/V	45/V 57/V	60/V							
12	CHEILLON	H/H 29/H 39/H	58/H 65/H	90.1	94.3	99.5					
13	COGNE	E/V 34/H 35/H 33/H	50/H 51.8	93.7	98.5						
14	COL DE COURTIL	G/H 32/H 63/H	55/H 65/H	87.7	95.7	98.9					
15	COURMAYEUR L.P.	G/H 31/H 41/H	51/H 57/H								
16	CREPIN	H/H 24/H 30/H	51/H 54/H								
17	CREST	G/H 28/H 30/H	43/H 39/H	89.4	98.1	96.3					
18	DELIVRET	21-H 29-H	33-H 43-H	50-H							
19	DIALLEY	D/H 29/H 46/H	44/H 63/H	90.0	92.3	95.2					
20	FONTAINEMORE	G/V 21/V 28/V	49/V 64/V	89.5	94.8	97.2					
21	GABY	F/H 21/H 48/H	63/H 55/H	89.9	93.1	98.6					
22	GRAND ROSIER	D/H 27/H 41/H	51/H 34/H	88.6	90.6	93.0					
23	GROSSONEY	H/H 22/V 25/V	47/V 57/V	87.6	92.9	94.9					
24	HONE BARD	H1/V 24/H 37/H	31/H 39/H	88.3	91.6	93.7					
25	ISSIME	H/H 31/H 34/H	46/H 64/H								
26	LA THUILLIE	F/H 32/H 44/H 37/H	54/H 52.7	95.3	97.1						
27	LAZEY	G/H 25/H 42/H	48/H 34/H	89.1	91.3	94.4					
28	PERLOZ	D/V 24/H 40/H	51/H 61/H	88.2	91.3	95.4					
29	PIALEMENT	H/V 29/V 48/V	50/V 58/V	94.9	97.0	99.1					
30	PLATEAU ROSA	H1/H 27/H 39/H	49/H 64/H								
31	PONT St MARTIN	H1/H 27/H 39/H	49/H 64/H								
32	QUART	H/H 33/H 45/H	50/H 52/H								
33	St BARTELEMY	H2/H 42/V 53/V	57/V 61/V								
34	St NICOLAS	H1/H 24/H 49/H	37/H 51/H	88.3	90.4	94.0					
35	St VINCENT	G/H 31/H 41/H	51/H 57/H	88.9	91.1	96.3					
36	St VINCENT	H2/H 42/V 53/V	57/V 61/V								
37	TETE D'ARPY	E/H 26/H 57/H	42/H 59/H	89.3	94.7	96.7					
38	TETE D'ARPY										
39	TORIGNON	D/H 21/H 25/H	33/H 54/H	88.3	92.4	94.0					
40	VALTOURNENCHE	H1/H 27/H 39/H	49/H 64/H								
41	VERTHUY	F/V 22/H 47/H	59/H 62/H								

● Previsto

IMPIANTI GESTITI DA COMUNITA', ENTI, PRIVATI IN COLLABORAZIONE CON LA RAI

N	Impianto	TV1	TV2	TV3	TVF	TVS	NF1	NF2	NF3	DM1	DM2
C.M. GRAND COMBIN											
1	ETROUBLES	43-H 47-H	49-H 51-H	61-H							
2	ST OYEN	40-V 42-V	46-V 48-V	50-V							
3	PLAN PUITS	21-H 23-H	25-H 27-H	29-H							
4	RONC	24-H 26-H	28-H 30-H	32-H							
5	TORRE TORRELLA	37-H 41-H	43-H 45-H	47-H							
6	BIDNAZ	25-H 27-H	31-H 33-H	35-H							
7	LE CHANTE'	22-H 24-H	26-H 28-H	30-H							
C.M. GRAND PARADIS											
1	RUMIOT	29-V 33-V	35-V 39-V	41-V							
2	PLANAVALE	H-V 21-H	23-H 25-H	27-H							
3	BONNE	F-V 25-H	27-H 29-H	31-H							
4	LE ROCHER	27-H 29-H	31-H 33-H	35-H							
5	COURTHOUD	H-V 21-H	23-H 25-H	27-H							
6	MELIGNON	F-H 25-H	27-H 29-H	31-H							
7	CHAUDANNAZ	D-V 27-H	29-H 31-H	33-H							
8	ROVENAUD	H-V 21-H	23-H 25-H	27-H							
9	CRETON	F-V 25-H	27-H 29-H	31-H							
10	MONT ZEUC	D-V 21-H	23-H 25-H	27-H							
11	POIGNON	23-V 27-V	29-V 33-V	35-V							
12	BARRAL	26-V 40-V	42-V 46-V	48-V							
13	LILLAZ	33-H 43-H	45-H 49-H	51-H							
14	VALMONTY	33-V 43-V	45-V 49-V	51-V							
15	CHAILLOD	53-V 55-V	57-V 61-V	63-V							
16	MAISONNASSE	27-H 29-H	31-H 33-H	35-H							
17	PONT	26-V 30-V	32-V 36-V	38-V							
18	PRATIEUX	22-H 24-H	26-H 28-H	30-H							
C.M. VALDIGNE-H. BLANC											
1	MONT DU PARC	G-H 21-H	23-H 25-H	27-H							
2	PETITE GOLETTE	D-V 37-H	39-H 41-H	43-H							
3	LEICHEY	F-V 25-H	27-H 29-H	31-H							
4	FORTINO	23-H 27-H	29-H 33-H	35-H							
5	VILLALBA INF.	23-V 27-V	29-V 33-V	35-V							
6	PREVILLAIR	29-V 22-V	24-V 26-V	28-V							
C.M. EVANCON											
1	EXTREPIERAZ	25-H 35-H	45-H 50-H	40-H							
2	FUSEY	24-H 26-H	28-H 30-H	32-H							
3	CHEVRE	55-V 30-V	40-V 63-V	66-V							
C.M. MONTE ROSA											
1	PONTRENTAZ	E-H 30-H	36-H 38-H	52-H							
C.M. VALSER											
1	KROHC	H1-H 26-H	24-H 43-H	46-H							
2	BODMA	F-H 25-H	27-H 46-H	47-H							

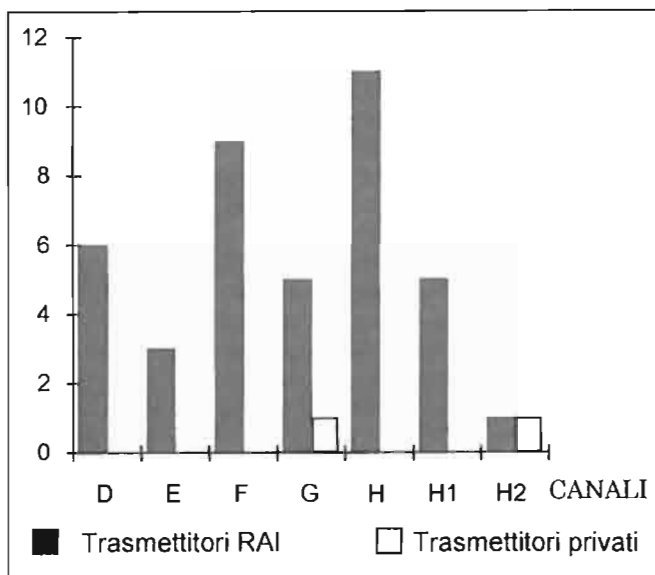


Fig.2 — Trasmettitori della RAI e dei privati nella Banda III VHF.

La situazione di utilizzo del canale H2, in Valle d'Aosta, è discretamente favorevole, in quanto su tale canale non sono presenti segnali radiotelevisivi ma si riscontrano, se pure in modo sporadico, alcuni trasferimenti MF. All'inizio della sperimentazione, si erano evidenziate alcune problematiche derivanti da interferenze cocanale del segnale DAB, irradiato da Gerdaz e St. Vincent, sul segnale PAL nell'area di servizio del ripetitore RAI di St. Bartelemy, utilizzante lo stesso canale H2 per la diffusione del programma televisivo di RAI 1. Per ovviare all'inconveniente, che richiedeva quantomeno di limitare la potenza del segnale numerico in diffusione, si è provveduto a cambiare la frequenza del ripetitore di St. Bartelemy dal canale H2 al canale E.

Analogamente erano state evidenziate problematiche relativamente alla interferenza sul canale adiacente H1, che alimenta a rimbalzo da St. Nicolas l'impianto di Gerdaz per la diffusione del programma RAI 1, a causa del disaccoppiamento insufficiente tra l'antenna ricevente del segnale PAL sul canale H1 e quella trasmittente DAB sul canale H2. Ciò determinava un peggioramento di qualità del segnale RAI 1 diffuso su Aosta dopo la conversione dal canale H1 al canale D.

Il problema è stato risolto fornendo il segnale di modulazione RAI 1 all'impianto di Gerdaz, per il servizio principale, attraverso un sistema a ponte radio semplificato B2. Di conseguenza l'alimentazione a rimbalzo da St. Nicolas permane solo come riserva e l'eventuale peggioramento determinato dal segnale numerico DAB è limitato alle sole condizioni sporadiche in cui il servizio sia effettuato attraverso l'impianto di riserva.

La verifica della situazione interferenziale in Valle d'Aosta ha richiesto inizialmente un notevole impegno e le problematiche da essa derivanti sono state risolte grazie alla fattiva collaborazione delle strutture tecniche della RAI (Direzione Diffusione e Trasmissione e Sede RAI di Aosta).

3. Sistemistica generale della Rete SFN

La Valle d'Aosta ha caratteristiche adatte alla sperimentazione dei nuovi sistemi numerici radio televisivi in quanto presenta una tipologia territoriale differenziata con aree montane circostanti, zona urbana della città, zone pianeggianti sull'autostrada A5, che consentono di trarre indicazioni generali sulla operatività dei nuovi sistemi.

Gli impianti trasmettenti utilizzati nella rete sperimentale SFN per il DAB-T sono installati nei siti che ospitano gli impianti operativi per la diffusione del servizio radiofonico MF e televisivo della RAI, consentendo in tal modo un'ottimizzazione dei nuovi allestimenti grazie alla presenza dei servizi esistenti (infrastrutture, alimentazioni, ecc.).

Per avere fin dall'inizio un'area di sperimentazione sufficientemente ampia e diversificata per la tipologia dell'ambiente, sia nel fondovalle pianeggiante che nelle aree limitrofe montuose, sono stati scelti, gli impianti di St. Vincent, Gerdaz e Blavy, che permettono di avere un'area di copertura comprendente i centri abitati di Aosta, St. Vincent, Chatillon, Nus, ecc., il tratto autostradale A5 da Aosta al Gran S. Bernardo, oltre ad altre aree con minore densità abitativa e di traffico automobilistico.

Successivamente la rete SFN è stata estesa verso Sud con l'attivazione dell'impianto trasmettente del Col de Courtil in modo da avere copertura del servizio DAB-T sulla autostrada Torino-Aosta fino ad Ivrea ed aree limitrofe.

Il Centro trasmettente di St. Vincent dista 25 Km. dalla città di Aosta, rispetto alla quale gli impianti di Gerdaz e Blavy sono situati, in posizione elevata, simmetricamente a circa 6 Km di distanza in linea d'aria. Il Centro trasmettente di Col de Courtil è situato all'inizio della valle laterale di Champorcher ad una distanza di 15 Km in linea d'aria dal Centro di St. Vincent. In figura 3 è riportata la cartina geografica con l'indicazione delle quattro località.

Il Centro Trasmittente di St. Vincent è considerato impianto caporete, in quanto dotato di migliori infrastrutture relativamente a alimentazioni, attestazione dei collegamenti in ponte radio della rete nazionale, disponibilità dei segnali radio in banda base utilizzabili per il simulcast nel sistema DAB. La sistemistica generale della rete dipende largamente dalle caratteristiche del sistema numerico in sperimentazione; nel seguito si farà riferimento al DAB-T, anche se il progetto generale della rete è stato effettuato in modo aperto alla eventuale sperimentazione del sistema televisivo numerico terrestre DVB-T.

Come accennato nella introduzione, uno degli elementi innovativi che contraddistinguono il sistema DAB-T, è la caratteristica di operare in rete SFN con più impianti trasmettenti che utilizzano la stessa frequenza per la diffusione.

Si rimanda agli articoli di bibliografia 2, 3 e 4 per una approfondita descrizione del sistema DAB-T e delle tecniche di codifica e modulazione che lo distinguono, riassumendo qui di seguito le implicazioni essenziali per la rete di collegamento e gli impianti di diffusione.

- Per il corretto funzionamento in isofrequenza SFN è necessario che i segnali DAB-T irradiati dai vari impianti siano conformi nel contenuto del multiplex, coerenti in frequenza e sincroni nel tempo.
- La conformità del multiplex si può ottenere costituendo il multiplex numerico dei vari programmi radiofonici in un unico punto nodale della rete.



Fig. 3 — Siti dei trasmettitori per il servizio sperimentale DAB in Valle d'Aosta.

- La sincronizzazione nel tempo richiede l'equalizzazione del ritardo di propagazione relativo ai trasmettitori DAB della rete SFN.
- La precisione della frequenza necessaria ai diversi impianti operanti in isofrequenza è stimata intorno a una parte su 10^{-9} .

Per rispondere adeguatamente alle caratteristiche suddette, si è impiegata la tecnica di distribuzione del segnale DAB-T, modulato COFDM, ipotizzando dapprima di operare dal Centro Ricerche RAI di Torino e effettuare il trasporto del segnale agli impianti attraverso collegamenti via satellite o ponte radio. Successivamente, dato il carattere sperimentale della rete SFN e la necessità di limitare l'im-

pegno del collegamento da Torino a St. Vincent, si è scelto come punto per la generazione del segnale DAB il Centro trasmettente di St. Vincent, da cui il segnale viene trasportato agli altri tre impianti di Gerdaz, Blavy e Col de Courtil mediante un collegamento in ponte radio in modo *pseudo video*, realizzato con una prima tratta di collegamento fisso a 2 GHz tra St. Vincent e la sede RAI di Aosta e una successiva tratta di ponte mobile a 10,5 GHz tra la sede Aosta e gli impianti di Gerdaz e Blavy e con un collegamento in ponte mobile tra St. Vincent e Col de Courtil.

In figura 4 è riportato lo schema della rete SFN nelle linee fondamentali.

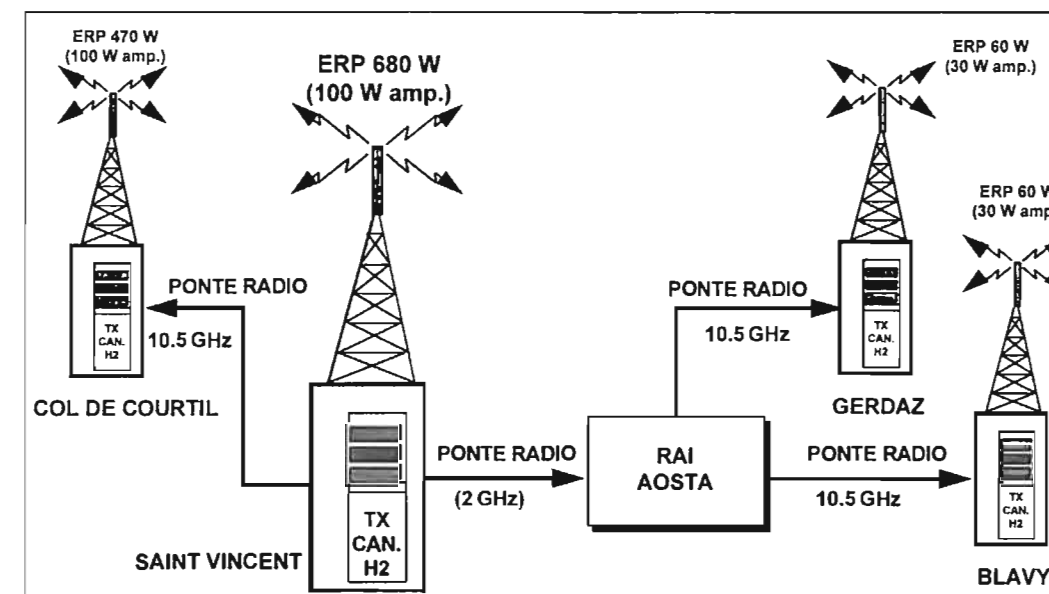


Fig. 4 — Rete sperimentale SFN sul Canale H12 in Valle d'Aosta — Impianti trasmettenti.

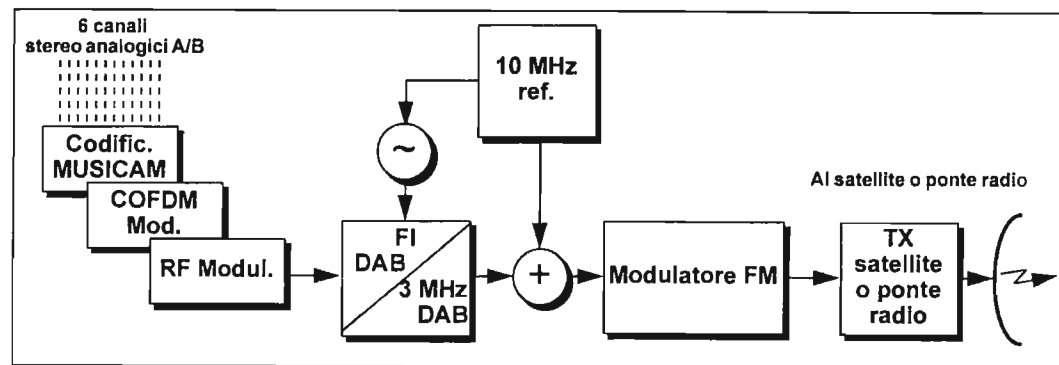


Fig. 5 — Rete SFN DAB — Formazione del blocco DAB e distribuzione del segnale COFDM.

4. Impianti di trasmissione per sistema numerico DAB in rete SFN

Per soddisfare i requisiti operativi esposti al paragrafo 3, si è adottata per la rete DAB-T la struttura riportata negli schemi a blocchi di figura 5, per la parte generazione e trasporto, e di figura 6 per la parte diffusione.

La generazione del blocco DAB avviene presso il Centro di St. Vincent attraverso il processo di codifica, modulazione e modulazione, con ingresso dei segnali audio analogici e uscita del segnale modulato COFDM a frequenza intermedia (36 MHz). Per il trasporto del segnale mediante collegamenti in ponte radio analogico si utilizza il cosiddetto modo «pseudo video» con conversione del segnale DAB/COFDM dalla frequenza intermedia di 36 MHz alla frequenza di 3 MHz, in banda video. A questo livello viene sommato un segnale di riferimento a 10 MHz per consentire la sincronizzazione in frequenza dei trasmettitori. Il segnale completo di banda base viene inviato al modulatore FM del collegamento in ponte radio (che, in generale, potrebbe anche essere un collegamento via satellite).

In tal modo si conserva la conformità del blocco DAB e si garantisce la perfetta sincronizzazione di tutti gli impianti di diffusione della rete SFN, attraverso un unico segnale di riferimento.

Per l'impianto caporete di St. Vincent, essendo la generazione e diffusione del segnale DAB-T nello stesso luogo, manca, ovviamente, il collegamento di trasporto anche se in linea di principio lo schema dell'impianto di trasmissione è simile a quelli di Gerdaz e Blavy e Col de Courtil. Per questi si è adottato lo schema riportato in figura 6. Il segnale ricevuto dal collegamento in ponte radio restituisce dopo la demodulazione FM, il segnale DAB-T, in banda video a 3 MHz e il segnale di riferimento a 10 MHz.

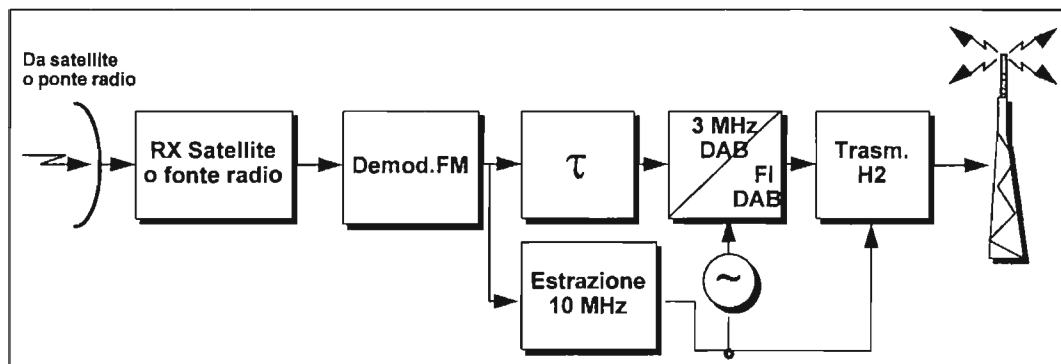


Fig. 6 — Rete SFN DAB — Ricezione del segnale COFDM ed impianto trasmettente DAB.

Quest'ultimo viene estratto e inviato alla sincronizzazione degli apparati convertitori mentre il segnale DAB-T di banda base, viene fatto transitare in un apposito ritardatore, che, a livello numerico, attraverso conversione A/D e susseguente D/A, permette di equalizzare il tempo di propagazione del segnale irradiato. Si opera quindi la conversione a frequenza intermedia e successivamente alla frequenza finale del canale H2, dove avviene l'amplificazione di potenza al valore finale previsto per la copertura.

Nei paragrafi successivi è data una descrizione più dettagliata degli impianti trasmettenti con rilievo alle differenze tra il «centro caporete» di St. Vincent e quelli di Gerdaz e Blavy e Col de Courtil.

4.1 IMPIANTO TRASMETTENTE CAPORETE SFN CON GENERAZIONE DEL SEGNALE DAB

Lo schema a blocchi del primo impianto trasmettente della rete SFN, a St. Vincent, dove viene attualmente generato il segnale DAB è più complesso degli altri, in quanto oltre agli apparati di generazione e a quelli specifici per la diffusione, comprende anche la generazione e l'inserimento in rete del segnale di riferimento in frequenza. È prevista inoltre la possibilità di irradiare in rete un segnale PAL-B, per misure di caratterizzazione in area del canale trasmissivo.

Lo schema a blocchi dell'impianto è riportato in figura 7 per la parte sorgente dei segnali e figura 8 per la parte relativa alla diffusione.

Dall'esame del diagramma a blocchi di figura 7 risultano le molteplici configurazioni dell'impianto, che consente di scegliere tra due diversi segnali di banda base BB1 e BB2 e tra due filtri di diversa larghezza di banda: ciò per consentire l'inserimento in banda base del segnale DAB oppure del segnale PAL per le verifiche preliminari in area. Il segnale di riferimento a 10 MHz viene sommato al se-

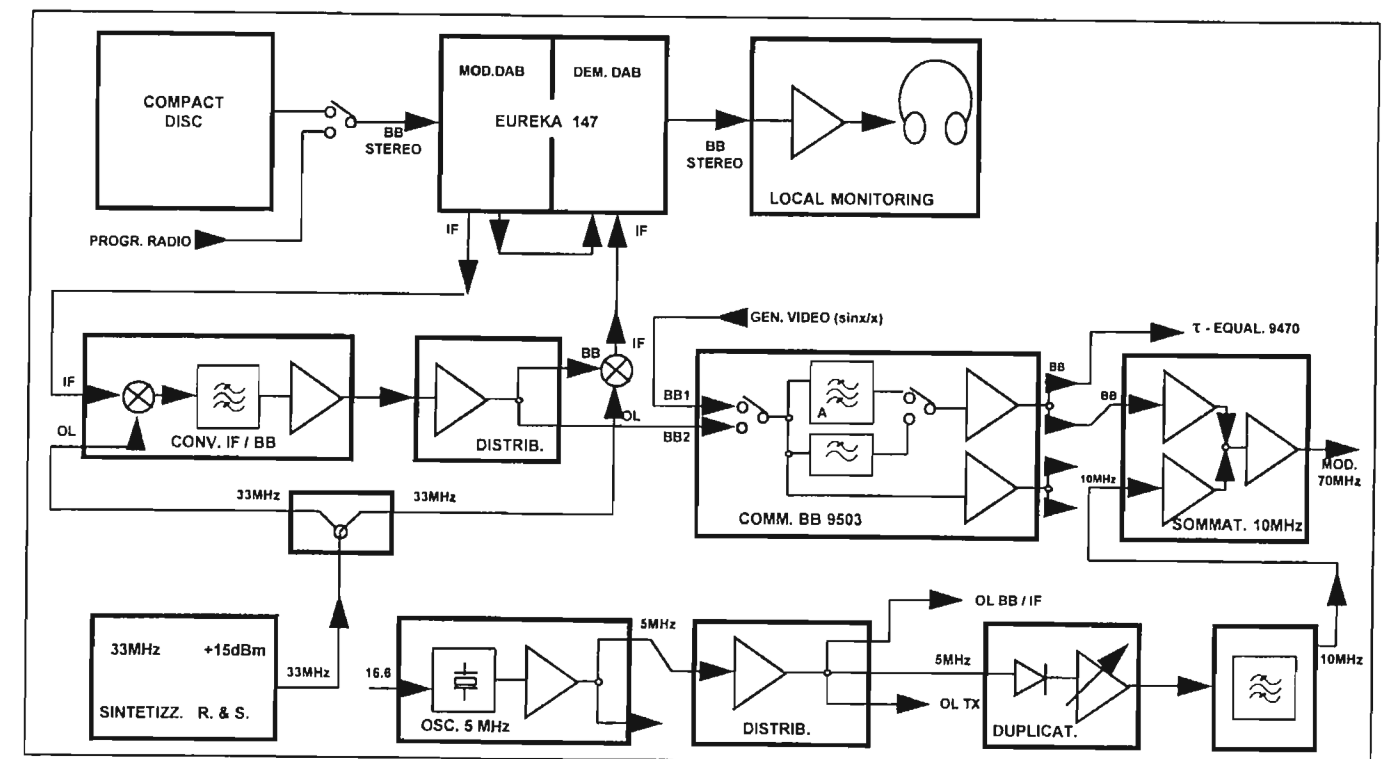
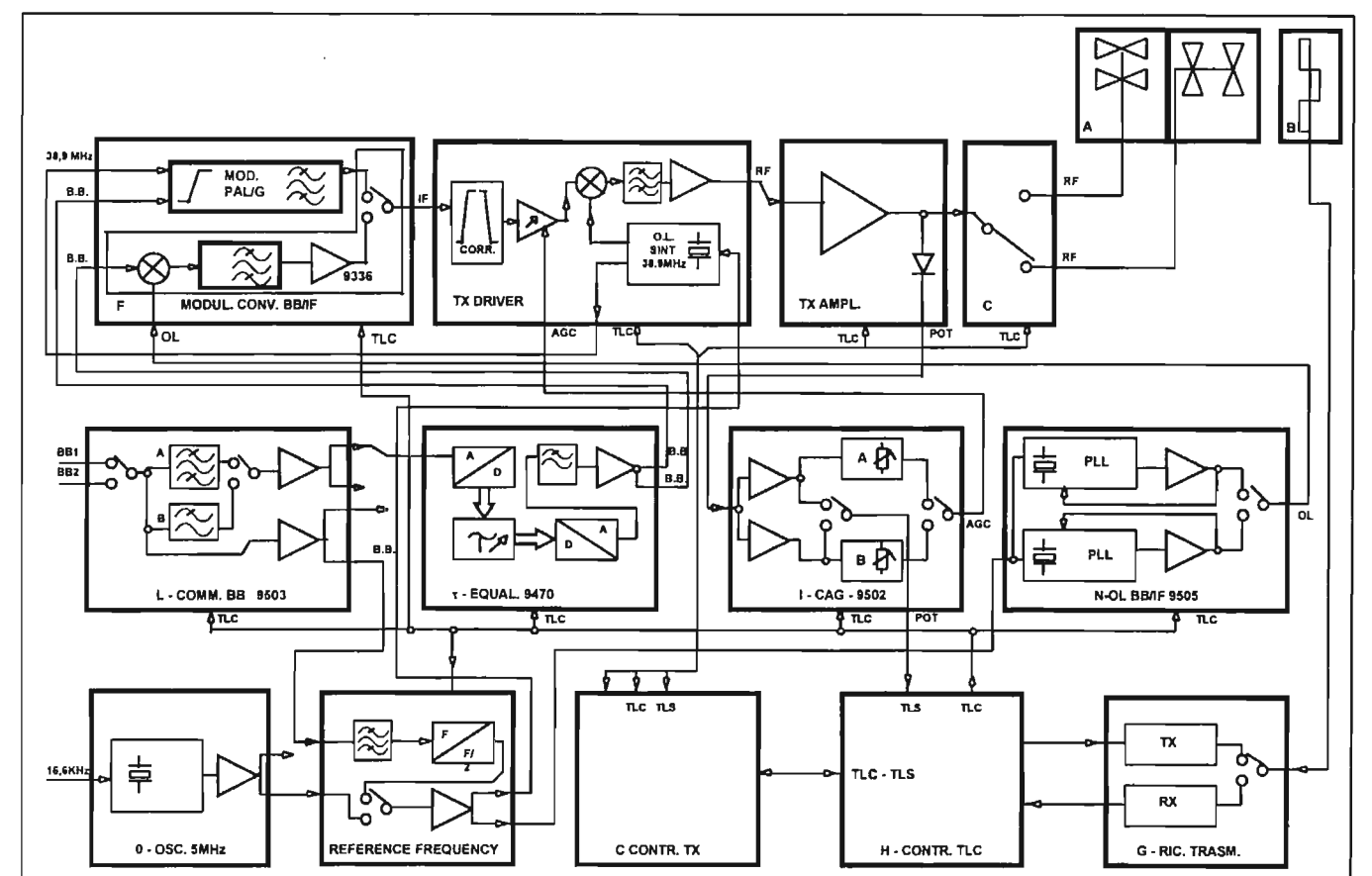


Fig. 7 — Schema a blocchi dell'impianto di generazione e distribuzione del segnale DAB.

Fig. 8 — Schema a blocchi degli apparati di diffusione della rete SFN.



gnale di banda base ed inviato a tutti gli impianti della rete per consentire la sincronizzazione in frequenza. Si deve notare che per il DAB è sufficiente la precisione di $1 \cdot 10^{-9}$, ottenibile con l'aggancio degli apparati al segnale di riferimento generato in ogni impianto da un generatore a 5 MHz controllato dalla pilota a 16,66 kHz distribuita nel multiplex FM. La distribuzione della frequenza di riferimento comune a tutti gli impianti è stata prevista per maggiore sicurezza e per eventuali future prove di sistemi televisivi numerici.

Considerando ora lo schema a blocchi di figura 7 si individuano:

- la generazione del segnale; nel caso specifico è utilizzato il generatore DAB PHILIPS Eu 147 che fornisce l'uscita FI a 36 MHz e può essere alimentato dal programma radio MF o da un lettore CD.
- la conversione del segnale da frequenza intermedia a banda base intorno a 3 MHz.
- la suddivisione del segnale di banda base su due percorsi:
 - il primo, sommato con la frequenza di riferimento, viene inviato al modulatore del ponte radio per il trasferimento agli impianti successivi della rete.
 - il secondo è utilizzato per la diffusione attraverso la catena rappresentata in figura 8, iniziando dal blocco ritardatore RAI/CR 9470.

Il seguito della catena di trasmissione è identico a quello degli altri impianti e sarà descritto nel paragrafo seguente.

Le risposte spettrali, alla frequenza intermedia 36 MHz e dopo la conversione in banda base sono riportate in figura 9 e 10.

4.2 IMPIANTI DI DIFFUSIONE DELLA RETE SFN

Gli impianti della rete SFN di Gerdaz e Blavy sono alimentati via ponte radio con una tratta fissa (PV9) a 2 GHz

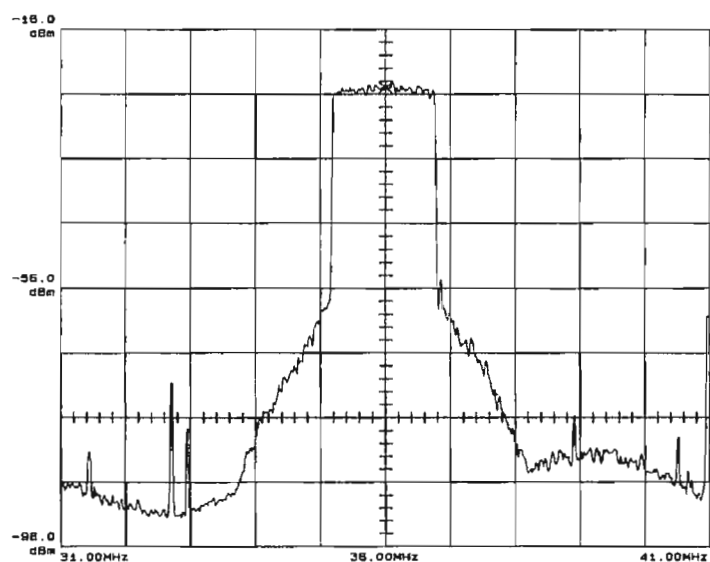


Fig. 9 — Modulatore DAB Philips — Spettro a frequenza Intermedia FI = 36 MHz; livello — 5 dBm.

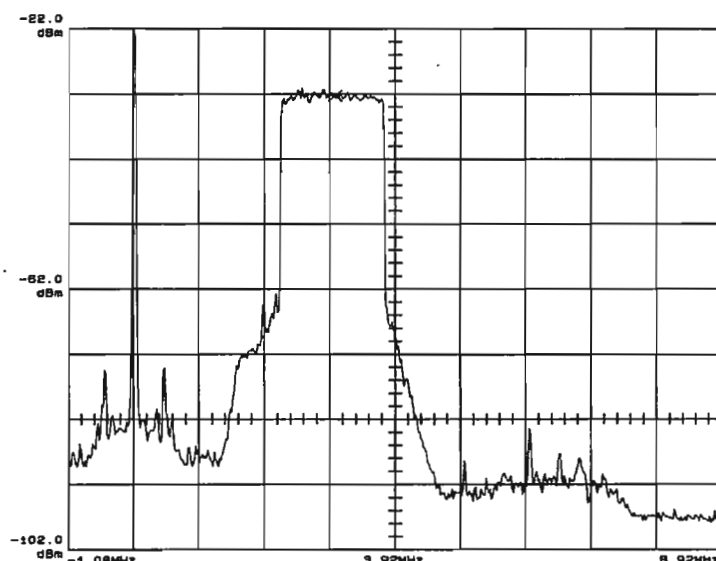


Fig. 10 — Modulatore DAB Philips — Spettro in Banda Base BB = 3 MHz; livello 1 Vpp.

tra St. Vincent e Aosta (sede RAI) e con una tratta mobile a 10,5 GHz tra Aosta (sede RAI) e i centri stessi. L'impianto di Col de Courtil è collegato con il Centro di St. Vincent con ponte radio mobile a 10,2 GHz. Ciascun impianto è pertanto equipaggiato con ricevitore e demodulatore FM, che fornisce il segnale numerico COFDM in banda base sommato al segnale di riferimento a 10 MHz (la risposta spettrale è riportata in figura 11).

Questo segnale composito transita attraverso il commutatore BB Tipo RAI/CR 9503 (figura 8), che fornisce:

- il segnale di banda base non filtrato con il riferimento a 10 MHz, da cui si ricava il segnale 5 MHz di riferimen-

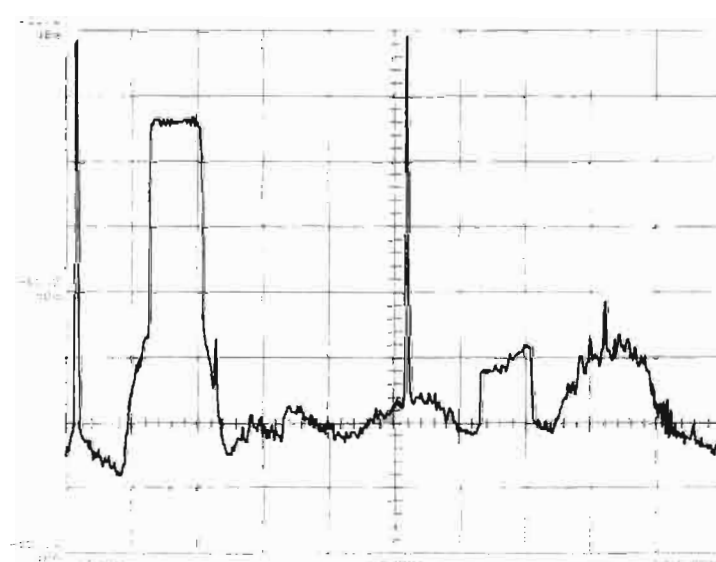


Fig. 11 — Impianto di Blavy — Spettro in uscita dal ponte radio.

to uguale per tutti gli impianti, per il perfetto sincronismo degli stessi. Peraltro, in ogni impianto è presente un generatore a 5 MHz controllato dalla pilota a 16,66 kHz, che può essere utilizzato in tutti i casi in cui non è necessario avere una stabilità assoluta. La scelta tra le due opzioni viene effettuata nel modulo Tipo RAI/CR 9504;

- il segnale utile numerico filtrato, che viene inviato al ritardatore Tipo RAI/CR 9470 e successivamente ai moduli convertitori banda base — frequenza intermedia e infine all'apparato trasmettitore vero e proprio (eccitatore pilota e stadio finale amplificatore) e al sistema radiante commutabile orizzontale o verticale.

L'eccitatore pilota comprende il correttore di linearità a frequenza intermedia, il correttore di ritardo dei filtri di canale, il controllo automatico della potenza d'uscita ed il convertitore di canale FI-H2 con oscillatore ad elevata stabilità a sintesi di frequenza quarzata. La potenza d'uscita è di 5 Watt video (picco sincronismi).

Per la conversione banda base — frequenza intermedia si impiega un oscillatore Tipo RAI/CR 9505; per la conversione frequenza intermedia — frequenza finale H2 si utilizza l'oscillatore del modulo pilota, che fornisce anche il segnale a 38,9 MHz al modulatore PAL-B, utilizzato con il segnale $\sin(x)/x$ per misure di caratterizzazione del canale radio.

Entrambi gli oscillatori sono agganciati alla frequenza di riferimento distribuita dal modulo RAI/CR 9504.

Gli ulteriori moduli presenti nel diagramma a blocchi di figura 9 sono relativi al sistema di telecomando e telesegnalazione, progettato per poter predisporre gli impianti trasmettenti in diverse configurazioni operative e avere una segnalazione della corretta funzionalità. Esso si basa su un apparato Algorab Tipo RU100, che opera mediante ricetrasmittitore FM alla frequenza di 459,825 MHz e consente di effettuare, via radio, da un mezzo mobile o da un punto fisso dell'area di servizio alcune operazioni sugli impianti. È prevista la scelta della polarizzazione orizzontale o verticale del sistema radiante, l'accensione e spegnimento dell'apparato trasmettitore per analizzare la copertura dell'area di servizio con i trasmettitori operativi singolarmente e contemporaneamente, oltre ad altre funzioni speciali di controllo.

Le telesegnalazioni di ritorno permettono anche la lettura remota della potenza di emissione di ciascun impianto trasmettente.

Nel successivo paragrafo 4.3 si esaminano le problematiche relative ai moduli amplificatori finali.

4.3 Potenza degli apparati trasmettenti e caratteristiche spettrali

La potenza degli apparati trasmettitori è determinata dalla intensità di campo richiesta ai limiti dell'area di servizio sulla base delle caratteristiche dell'antenna trasmettente.

Una particolare attenzione deve essere rivolta alle caratteristiche degli amplificatori finali in radio frequenza, in quanto per i segnali modulati COFDM, l'elevato rapporto del valore di picco su valore medio pone vincoli sulla potenza massima utilizzabile a causa della forte intermodulazione *in banda*, che determina un degradamento del rap-

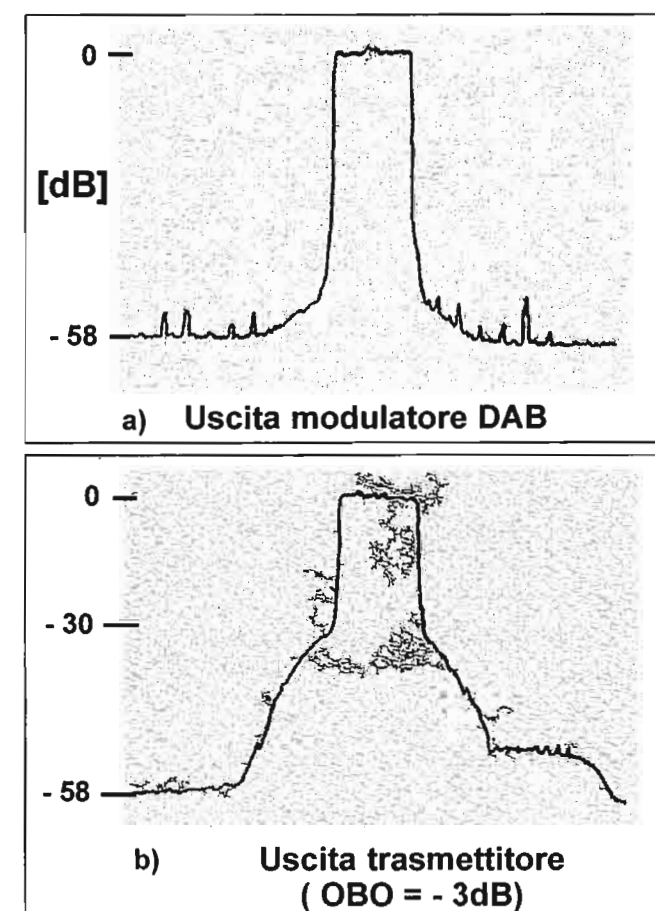


Fig. 12 — Distorsione dello spettro del segnale DAB-T derivante dalla tipica non-linearità di un trasmettitore.

porto portante rumore C/N, e fuori banda, con disturbi sui canali adiacenti. La risposta spettrale del segnale DAB-T, tipicamente rettangolare (figura 12a), in uscita dal modulatore viene distorta assumendo la forma di figura 12b con le tipiche «spalle» (shoulder) fuori banda che devono rientrare nella maschera prevista dalla CEPT (Bibl. 1).

Per evitare di dover operare in condizioni di forte declassamento della potenza di picco nominale del trasmettitore, è necessario ricorrere a tecniche di linearizzazione e prevedere il filtraggio finale in radiofrequenza, peraltro oneroso in quanto sono richiesti filtri molto selettivi a costanti distribuite, e perciò ingombranti e costosi. Per ottimizzare il punto di lavoro del sistema, sono state effettuate misure in laboratorio agendo sulla precorrezione a frequenza intermedia. In figura 13 è visibile l'effetto dello spostamento del punto di lavoro dell'amplificatore, di potenza massima al picco sincronismi video di 100 Watt, che è stato declassato per operare a 75, 50, 30 Watt: si nota una progressiva riduzione del livello dell'intermodulazione fuori banda che passa da -30 dB a -45 dB.

Nelle figure 14, 15, 16 e 17, sono riportate le risposte spettrali dei quattro trasmettitori di St. Vincent, Gerdaz, Blavy e Col de Courtil all'uscita verso l'antenna nelle condizioni operative. L'apparato amplificatore finale è di 200 Watt picco video per l'impianto di St. Vincent che opera a 100 Watt DAB; e di 100 Watt picco video, per gli impianti di Gerdaz, Blavy e Col de Courtil che operano a 30 Watt DAB, i primi due ed a 50 Watt DAB il terzo.

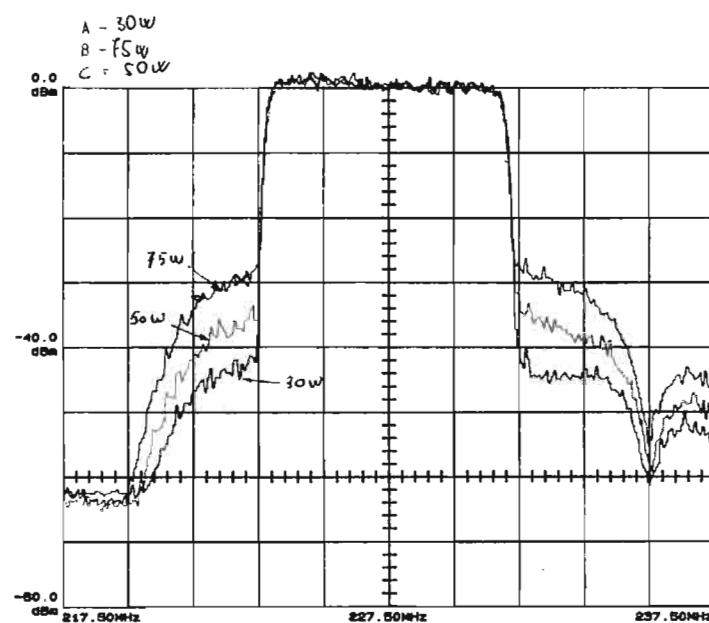


Fig. 13 — Spettro in uscita dall'amplificatore TV 100 Watt picco video.

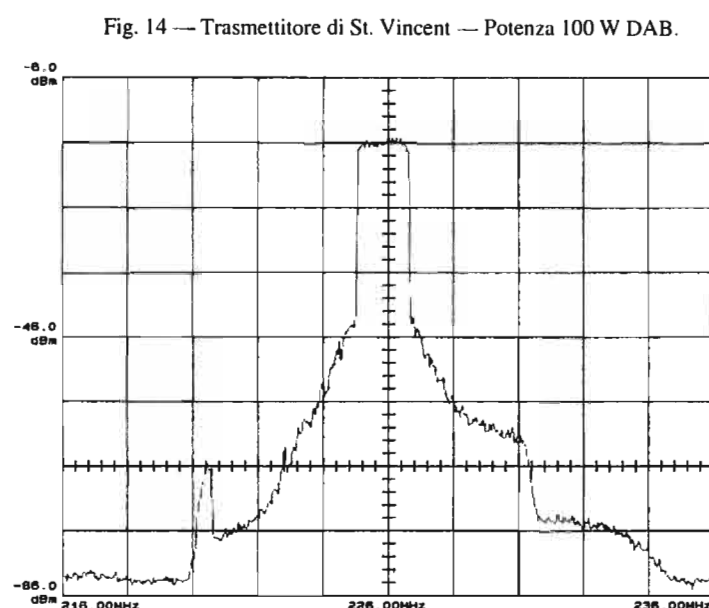


Fig. 14 — Trasmettitore di St. Vincent — Potenza 100 W DAB.

La tabella 1 riassume i dati significativi dei 4 impianti. Si noti la differenza nelle risalite che è migliore nei due impianti che operano a 30 Watt con un livello di intermodulazione sui canali adiacenti di circa -35 dB, contro i -30 dB ottenuti sugli impianti di St. Vincent e Col de Courtil.

Fig. 17 — Trasmettitore di Col de Courtil — Potenza 100 W DAB.

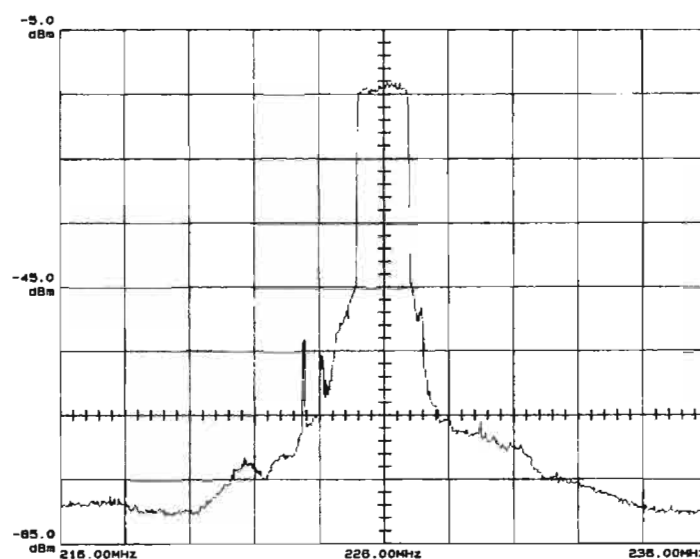


Fig. 15 — Trasmettitore di Gerdaz — Potenza 30 W DAB.

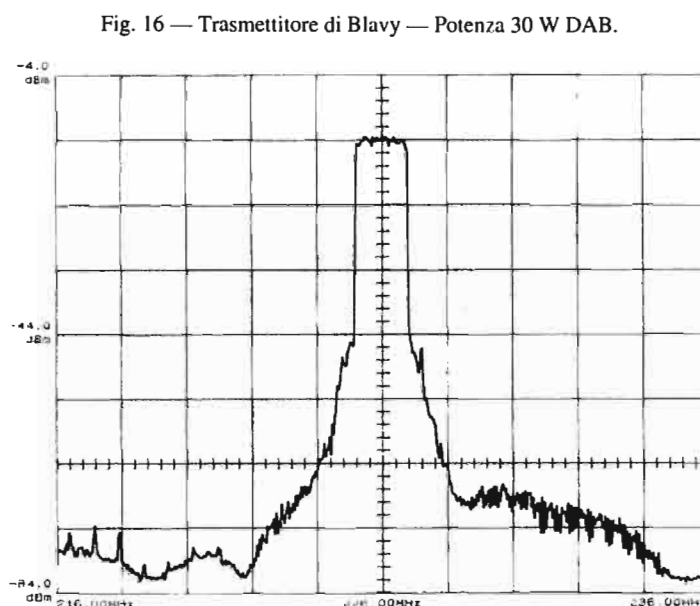


Fig. 16 — Trasmettitore di Blavy — Potenza 30 W DAB.

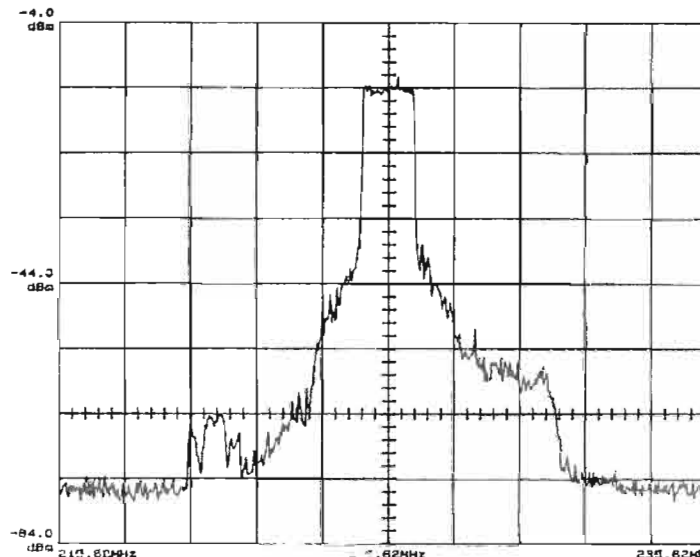


Fig. 18 — Centro trasmettente della RAI a Saint Vincent; si notino sul traliccio i sistemi radianti in polarizzazione verticale e orizzontale — banda III del sistema DAB.



TABELLA 1
RETE SPERIMENTALE SFN SUL CANALE 12 IN VALLE D'AOSTA:
CARATTERISTICHE DEGLI IMPIANTI TRASMETTENTI

Località	Potenza Apparato	ERP	* Frequenza (MHz)	Polarizzazione
St. Vincent	200 W** (OBO 3 dB) 100 W	680 W	225,648	V
Gerdaz	100 W (OBO 5 dB) 30 W	61 W	225,648	V
Blavy	100 W (OBO 5 dB) 30 W	61 W	225,648	V
Col de Courtil	200 W (OBO 3 dB) 100 W	430 W	225,648	V

* Stabilità: $1 \cdot 10^{-9}$.

Una stabilità migliore può essere ottenuta per la distribuzione di una frequenza di riferimento comune a tutti gli impianti.

** Picco sincronismi.

6. Conclusioni

La rete isofrequenziale SFN in banda III su canale H2 della Valle d'Aosta è stata progettata e realizzata dal Centro Ricerche in collaborazione con la Direzione Diffusione e Trasmissione e la Sede Regionale di Aosta. La rete comprende i quattro impianti di St. Vincent, Gerdaz, Blavy e Col de Courtil e consente la copertura del fondovalle e delle zone limitrofe da Quincinetto ad Aosta e delle valli laterali, particolarmente la valle del Gran San Bernardo fino ad Etroubles.

La rete suddetta è operativa da gennaio '95; da giugno '96 è stato attivato l'impianto di Col de Courtil. Nel blocco DAB-T di 1,5 MHz è irradiato in permanenza un bouquet costituito dai 3 programmi RAI e da programmi generati localmente a scopo sperimentale.

Nell'area di servizio dei tre impianti di St. Vincent, Gerdaz e Blavy sono state effettuate estese campagne di misura, sia in ricezione fissa per la verifica della funzionalità degli impianti e del sistema in condizioni di propagazione multipercorso, sia in ricezione mobile, finalizzate alla determinazione della copertura e dei parametri di pianificazione.

Le procedure impiegate ed i risultati ottenuti sono illustrati in articoli successivi.

BIBLIOGRAFIA

1. - *Technical Bases for the CEPT T-DAB Planning*. «Doc EBU BPN 003, Giugno 1995»
2. - *RADIO BROADCAST SYSTEMS; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile portable and fixed receivers*. «ETS 300 401», Dicembre 1994
3. - M. COMINETTI: *Il DAB una innovazione tecnologica per la radiodiffusione sonora* «Elettronica e Telecomunicazioni», n. 2, 1993
4. - G. ALBERICO, S. RIPAMONTI, B. SACCO: *Il DAB nuove soluzioni tecniche per la Radio diffusione sonora*. «Elettronica e Telecomunicazioni», n. 3, 1993

FUNZIONALITÀ DEGLI IMPIANTI TRASMITTENTI E VALUTAZIONE IN CAMPO DEL SISTEMA DAB

G. BLANCHIETTI, S. RIPAMONTI*

SOMMARIO — Sono riportati i risultati delle misure effettuate nell'area di servizio della rete sperimentale SFN in Valle d'Aosta, allo scopo di verificare la funzionalità degli impianti trasmissivi e acquisire alcuni dati preliminari sul sistema DAB in rete SFN. Sono riportati i dati specifici della configurazione di rete e degli impianti trasmissivi e sono riassunte le funzioni del sistema di tele controllo, che da ogni punto dell'area permette di inviare comandi e di ricevere segnalazione dello stato degli impianti. » descritto il procedimento di misura e sono riportate sotto forma di istogrammi i risultati delle misure effettuate nelle diverse condizioni in area di servizio.

SUMMARY — *Transmitter operation in the T-DAB system testing in the field.* The Single Frequency Network (SFN) on channel 12 for the T-DAB experimental service in the Aosta Valley was tested by means of a large measurement campaign with stationary reception in the service area. Important preliminary results were obtained about the performances of the T-DAB system operating in SFN. Network and transmitter configuration adopted in measurements phase is reported; the functionality of the control system especially designed for remote network reconfiguration is also illustrated. The measurement methods are described in this article and the results of the measurement campaign are reported in graphical form.

1. Introduzione

Il piano di sperimentazione DAB-T prevede campagne di misura a vasto raggio in area di servizio, con l'acquisizione di un gran numero di dati, dai quali estrarre, attraverso l'elaborazione statistica, i parametri per la pianificazione del servizio sul territorio.

Risulta perciò di fondamentale importanza la verifica delle prestazioni degli impianti trasmissivi, in rapporto ai dati di progetto, per garantire l'affidabilità del funzionamento operativo dell'intera rete.

Inoltre l'area di servizio degli impianti di St. Vincent, Gerdaz e Blavy risulta particolarmente critica per il sistema DAB-T, per la intensa presenza del multipercorso e quindi adatta a verificare le caratteristiche del sistema in campo.

È stata perciò effettuata una campagna di misure, in ricezione fissa, in alcuni punti significativi dell'area di servizio allo scopo di:

- Certificare gli impianti trasmissivi e la loro operatività in termini di *verifica delle previsioni di campo*, copertu-

ra del servizio, collaudo degli automatismi e commutazioni remote.

- Eseguire misure preliminari di campo e.m. in area irradiando il segnale DAB, per determinare le condizioni di soglia del sistema con ricevitore di terza generazione, relativamente alla sensibilità per il minimo campo utile.
- Determinare le *caratteristiche del canale trasmissivo* (funzione ampiezza-frequenza dovuta agli echi generati da riflessioni multiple), analizzando lo spettro del segnale DAB-T e registrando la risposta impulsiva ricavata dalla sequenza CAZAC.
- Quantificare, in via preliminare *il guadagno di altezza antenna* passando da 1,5 m. a 10 m. rispetto al suolo (per l'utilizzo delle curve CCIR Racc. 370-5 nella pianificazione del servizio DAB).

Il sistema di misura è stato installato a bordo di un furgone, fornito dal Centro di Controllo RAI (Monza) attrezzato con un palo estensibile per il supporto di antenne. Le misure sono state eseguite nei 23 punti significativi dell'area di servizio, indicati nella cartina, ed hanno riguardato segnali irradiati di tipo PAL-B e DAB con BW=1,5 MHz.

Lo speciale sistema di telecomando e telesegnalazione, operante via radio permette il controllo remoto dei trasmettitori dal punto di misura in area di servizio consentendo una gestione flessibile di configurazioni diverse.

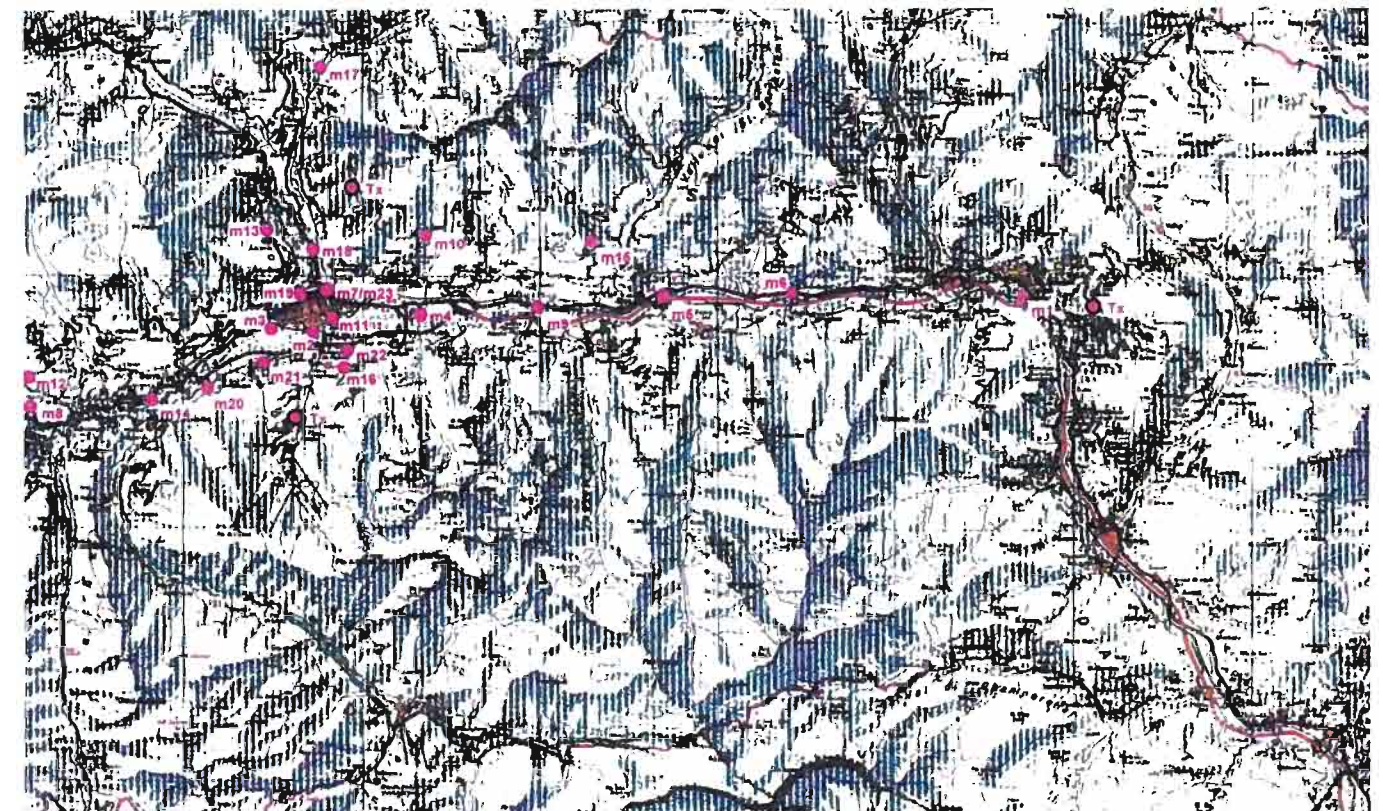


Fig. 1 — Cartina indicante i punti di misura nell'area di servizio.

2. Configurazione della rete SFN

La descrizione della rete e degli impianti trasmissivi è riportata in dettaglio nell'articolo «Architettura e sistemistica della rete SFN in Valle d'Aosta» in questo numero della rivista.

I trasmettitori installati nelle località di St. Vincent, Aosta-Gerdaz e Aosta-Blavy ed i rispettivi sistemi radianti sono stati dimensionati in modo tale da avere l'intensità di campo di valore confrontabile nella zona intorno alla città di Aosta.

Ciò è stato ottenuto equalizzando il ritardo di propagazione del segnale irradiato dai vari trasmettitori attraverso un apparato denominato «Ritardatore» progettato e sviluppato presso il Centro Ricerche RAI (Bibl. 3). Attualmente tale apparecchiatura è presente in località St. Vincent sul percorso del segnale di banda base che va ad alimentare il trasmettitore. Il ritardo introdotto compensa quello dovuto alla propagazione nel trasporto del segnale DAB COFDM ai trasmettitori di Aosta-Gerdaz e Aosta-Blavy.

Nell'intera fase delle misure è stato utilizzato come sorgente di segnale numerico DAB (un blocco da 1,5 MHz), un modulatore/codificatore COFDM generante il segnale ad una frequenza intermedia di 36 MHz.

La sorgente del segnale PAL-B è invece un generatore-inseritore di segnali «ITS». Sulla riga 21 del segnale PAL-B viene inserito il segnale di test, $\sin(x)/x$ utilizzato per la caratterizzazione del canale radiofrequenza, attraverso l'applicazione di un algoritmo matematico, che consente la determinazione degli echi del segnale principale nella propagazione in ambiente multipath (Bibl. 2). Il metodo ideato e sviluppato per misure all'interno di edifici è stato impiegato solo occasionalmente, in area a scopo di verifica.

2.1 SISTEMA DI CONTROLLO REMOTO

Al fine di effettuare tutte le commutazioni sui trasmettitori per ottenere le varie configurazioni di segnale irradiato, senza intervenire manualmente sullo stesso, si è realizzato un sistema di telecomandi e telesegnali, operativo dal mezzo mobile di misura situato in area di servizio, del quale si riportano i principali comandi implementati:

- trasmettitore acceso/spento
- commutazione segnale irradiato (PAL-B / DAB)
- commutazione di polarizzazione di antenna (verticale/orizzontale)
- variazione della potenza di uscita nominale (-3 dB, -6 dB)
- telemisura della potenza irradiata dal trasmettitore
- telesegnali di stato di allarme del trasmettitore
- sincronizzazione OL locale/remota (per SFN).

La gestione dei telecomandi avviene attraverso un programma software, operativo su piattaforma PC, che utilizza un modem in radiofrequenza a 459,25 MHz per l'invio dei pacchetti dati di telecomando. Su ogni trasmettitore esiste un'interfaccia hardware che converte i pacchetti dati ricevuti dal modem in segnali elettrici compatibili con i trasmettitori stessi.

3. Procedimento di misura

In ogni punto di controllo sono state effettuate misure sul segnale PAL e sul segnale DAB sia in condizioni di ricezione con antenna direttiva sia con antenna omnidirezionale.

* P.i. Giuseppe Blanchietti ed Ing. Silvio Ripamonti del Centro Ricerche — Torino
Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 28 Giugno 1996.



Fig. 2 — Mezzo mobile attrezzato per le misure.

Le misure DAB sono state eseguite sia nella condizione di funzionamento di ciascun trasmettitore irradiante singolarmente (con gli altri due spenti) sia nella configurazione di rete SFN, con i tre impianti irradianti contemporaneamente.

Le differenti tipologie di misura hanno richiesto una varietà di condizioni e di strumenti specifici, per cui è stato utilizzato un furgone attrezzato con palo telescopico, sul quale è stata montata verticalmente l'antenna direttiva, tipo YAGI 1R 2D (4 elementi; 1 riflettore e 2 direttori) per il canale H2. L'antenna omnidirezionale, tipo Ground Plane, è stata montata su un piano metallico fissato sopra il tetto del mezzo. L'introduzione di questo piano metallico è stata necessaria per le caratteristiche meccaniche del tetto, che essendo in materiale plastico, non consentono né l'ancoraggio e né la realizzazione di un piano di massa per le antenne in questione.

In figura 1 sono riportate le fotografie del mezzo mobile attrezzato per le misure, mentre la figura 2 mostra le antenne utilizzate.



Fig. 3 — Antenne YAGI e Ground Plane utilizzate nelle misure.

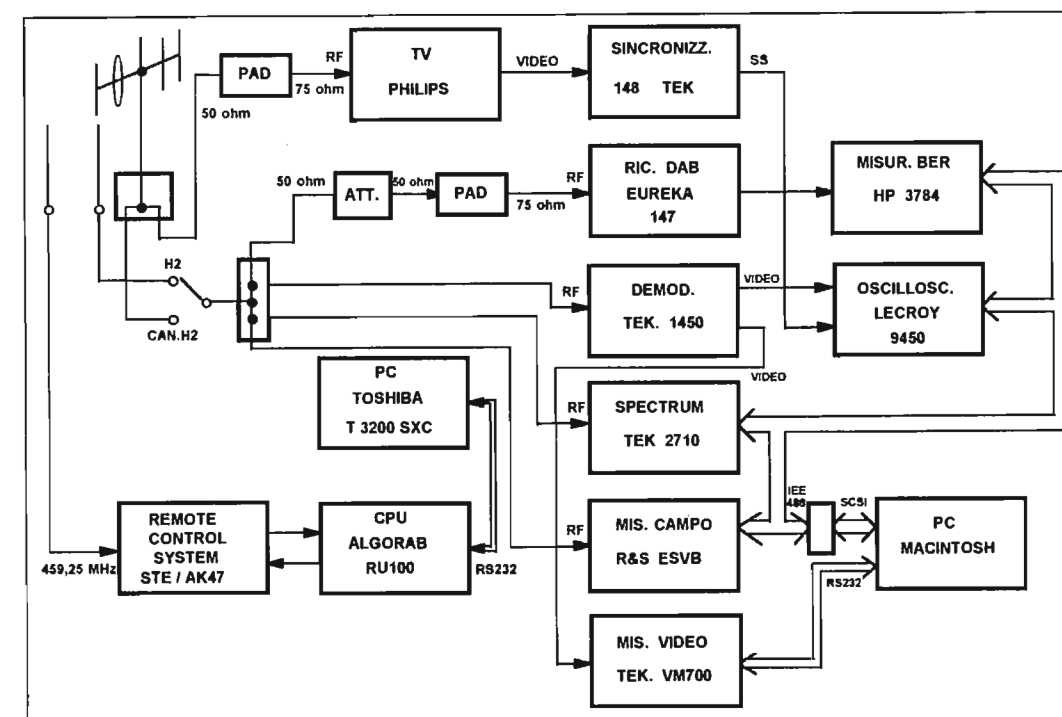


Fig. 4 — Schema a blocchi della strumentazione di misura e del controllo remoto su mezzo mobile.

La strumentazione installata a bordo del mezzo mobile è schematizzata in figura 3.

In ogni punto di misura sono state eseguite sequenzialmente le misure riguardanti i due sistemi riceventi (DAB e PAL) in modo da interagire il meno possibile con i trasmettitori tramite il sistema di telecomando.

Sul segnale PAL, in ricezione con antenna direttiva, si è misurata la potenza al picco dei sincronismi con l'analizzatore di spettro, avendo predisposto il filtro IF dello strumento a 2 MHz (risoluzione di banda) e Span di frequenza di 500 kHz.

La misura è stata eseguita rilevando, in ogni punto, i valori massimo e minimo della potenza con una stratificazione di $\pm$ una lunghezza d'onda intorno ai 10 metri di elevazione rispetto al terreno: il valore rappresentativo di ciascun punto di misura è ottenuto dalla media aritmetica dei suddetti.

Con ricezione dall'antenna omnidirezionale, in alcuni punti significativi, è stato acquisito il segnale $\sin(x)/x$, memorizzato attraverso l'oscilloscopio a campionamento per la successiva elaborazione.

Sul segnale digitale DAB è stata effettuata la misura di potenza con il ricevitore misuracampo ESVB Rhode Schwarz, con filtro IF di larghezza 1,5 MHz. La misura con antenna direttiva è stata effettuata a 10 metri con la stessa modalità descritta per il segnale PAL in ricezione dai tre impianti irradianti singolarmente. La misura con antenna omnidirezionale in posizione fissa a 2,5 m dal suolo è stata effettuata in ricezione da ciascun impianto singolarmente ed in rete SFN.

Inoltre sul segnale digitale DAB sono state effettuate (con segnale proveniente dalle due antenne riceventi), anche verifiche delle prestazioni del ricevitore di terza generazione, misurando il margine di funzionamento alla soglia di errore, individuata attenuando il segnale RF all'ingresso del ricevitore. La soglia, determinata dalla segnalazione di evento errore sul decoder MUSICAM del ricevitore DAB,

è corrispondente ad un BER (Bit Error Ratio) di 10^{-4} ca dopo la decodifica di canale. Il valore di attenuazione inserita, tale da portare il ricevitore alla soglia di errore, rappresenta il margine di ricezione del servizio ed ha consentito di stabilire un valore di campo minimo per il funzionamento del ricevitore DAB nelle varie condizioni. Tale valore assume particolare significato nella ricezione con antenna omnidirezionale, che rappresenta la tipologia di antenna ricevente in caso di ricezione mobile. In ogni punto è stato inoltre registrato lo spettro RF del DAB-T e, dove disponibile, la risposta all'impulso del canale, calcolata nel ricevitore DAB, dall'elaborazione del simbolo di sincronizzazione presente nella sequenza CAZAC. (Constant Amplitude and Zero Auto Correlation) sequence

Dalle misure di potenza sono stati ottenuti i valori del campo e.m. ($\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$)

attraverso le espressioni:

$E (\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})) = P (\text{dBm}) + 128,3$ per l'antenna omnidirezionale

$E (\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})) = P (\text{dBm}) + 131,4$ per l'antenna direttiva che tengono conto dei parametri delle antenne (guadagno, fattore K) e delle caratteristiche dell'impianto di misura (cavi, divisori ecc.)

4. Risultati e analisi delle misure

Le misure sono state effettuate con ricezione fissa in 23 località, scelte nell'area di servizio dei trasmettitori di St. Vincent, Gerdaz e Blavy e riportate sulla carta geografica allegata; alcuni di essi hanno un riferimento toponomastico con punti ove il campo è stato previsto in fase di progetto della rete, per cui è possibile una verifica tra il valore di previsione e quello effettivo.

4.1 MISURE CON SEGNALE PAL-B

Le misure con il segnale PAL-B sono state fatte con l'obiettivo di verificare le previsioni di campo effettuate in sede di pianificazione. Perciò è stato misurato, con antenna direttiva, il livello di potenza ricevuto al picco sincronismi video, da cui tenendo conto delle caratteristiche dell'impianto ricevente si è ricavato il valore di campo e.m. corrispondente in dB(μ V/m), secondo le espressioni di paragrafo 3.

Dal confronto tra i dati previsti nel progetto dei sistemi radianti e quelli derivati dalla misura emerge un buon accordo, che dà una positiva indicazione della corretta operatività degli impianti.

4.2 MISURE CON IL SEGNALE DAB

Le misure con il segnale DAB sono state eseguite sia con irradiazione dai singoli impianti che in rete SFN, con antenna direttiva a 10 metri rispetto al terreno e con antenna Ground Plane a 2,5 m; i risultati delle misure DAB sono stati ordinati in due sottogruppi che sono esposti in dettaglio nei paragrafi successivi:

- misure del campo e.m. ricevuto
- misura del campo e.m. alla soglia d'errore

Oltre al livello di segnale ricevuto è stato registrato il segnale che reca la risposta all'impulso del canale attraverso la sequenza CAZAC.

In Appendice sono riportati alcuni esempi significativi. Le figure 1A, 2A, e 3A e le figure 4A, 5A, 6A e 7A mostrano rispettivamente la risposta all'impulso del canale e lo spettro di potenza del segnale DAB ricevuto. Queste registrazioni sono utili nell'analisi dei risultati delle misure perché sono rappresentative delle condizioni di ricezione con raggio diretto ed in presenza di percorsi multipli.

Poiché i risultati delle misure di campo e.m. vengono successivamente confrontati con i valori assunti per la pianificazione nel documento CEPT (Bibl. 4), si riportano, per riferimento, nella tabella 1, i parametri del sistema ed i fattori correttivi introdotti per l'utilizzo del metodo di predizione ITU-R Racc. 370-5.

TABELLA 1
PARAMETRI DI PIANIFICAZIONE DEL SISTEMA DAB-T
CON IL METODO DI PREDIZIONE ITU-R RACC. 370

Frequenza	Banda III
Cifra di rumore del ricevitore (dB)	7
Flusso di potenza di rumore impulsivo (dBW/m ²)	-134,6
Rapporto portante/rumore C/N (dB) alla soglia (Canale Rayleigh, velocità 130 Km/h)	15
Campo e.m. minimo equivalente (dB(μ V/m))	35
Guadagno di altezza dell'antenna (dB)	10
Fattore di correzione da 50% al 99% delle località (dB)	13
Campo mediano minimo per la pianificazione (dB(μ V/m)) a 10 m. di altezza	58

Il valore di campo mediano minimo di 58 dB(μ V/m) assunto per la pianificazione deriva dalle seguenti considerazioni:

Il sistema DAB-T è previsto per ricezione con antenna a circa 1,5 m dal suolo e, a causa del degradamento a soglia tipico dei sistemi numerici, deve essere pianificato al 99% delle località e 99% del tempo onde garantire l'affidabilità del servizio, contrariamente ai sistemi analogici che vengono pianificati al 50% con antenna ricevente posta a 10 m. dal suolo.

Per questo si aumenta artificialmente il valore del campo alla soglia del sistema che risulta di 35 dB(μ V/m), mediante il coefficiente di variazione locale (13 dB) e il coefficiente di guadagno dell'altezza dell'antenna (10 dB da 1,5 m. a 10 m.).

Con il valore così ottenuto (58 dB(μ V/m)) si dimensiona la potenza ERP degli impianti di diffusione sulle curve della Racc. 370 ITU-R (50%, 50%).

Qualora fosse invece disponibile un nuovo metodo predittivo adeguato alle caratteristiche del sistema DAB-T il valore di campo minimo da assumere per la pianificazione sarebbe di 35dB(μ V/m) a 1,5 m. di altezza dal suolo nel 99% delle località.

4.2.1 Misure di campo elettromagnetico

I valori del campo elettromagnetico misurato nei punti di controllo, sono stati ordinati e suddivisi in due classi, relative al tipo di ricezione effettuata.

a) *La prima classe di misure* è relativa alla ricezione da ogni impianto trasmettente irradiante singolarmente, e con antenna ricevente direttiva a 10 m di altezza. Il valore del campo e.m. è stato determinato attraverso la media aritmetica fra il valore massimo ed il valore minimo della tensione dedotta dalla misura di potenza del segnale ricevuto nella banda di 1,5 MHz. (vedi paragrafo 3)

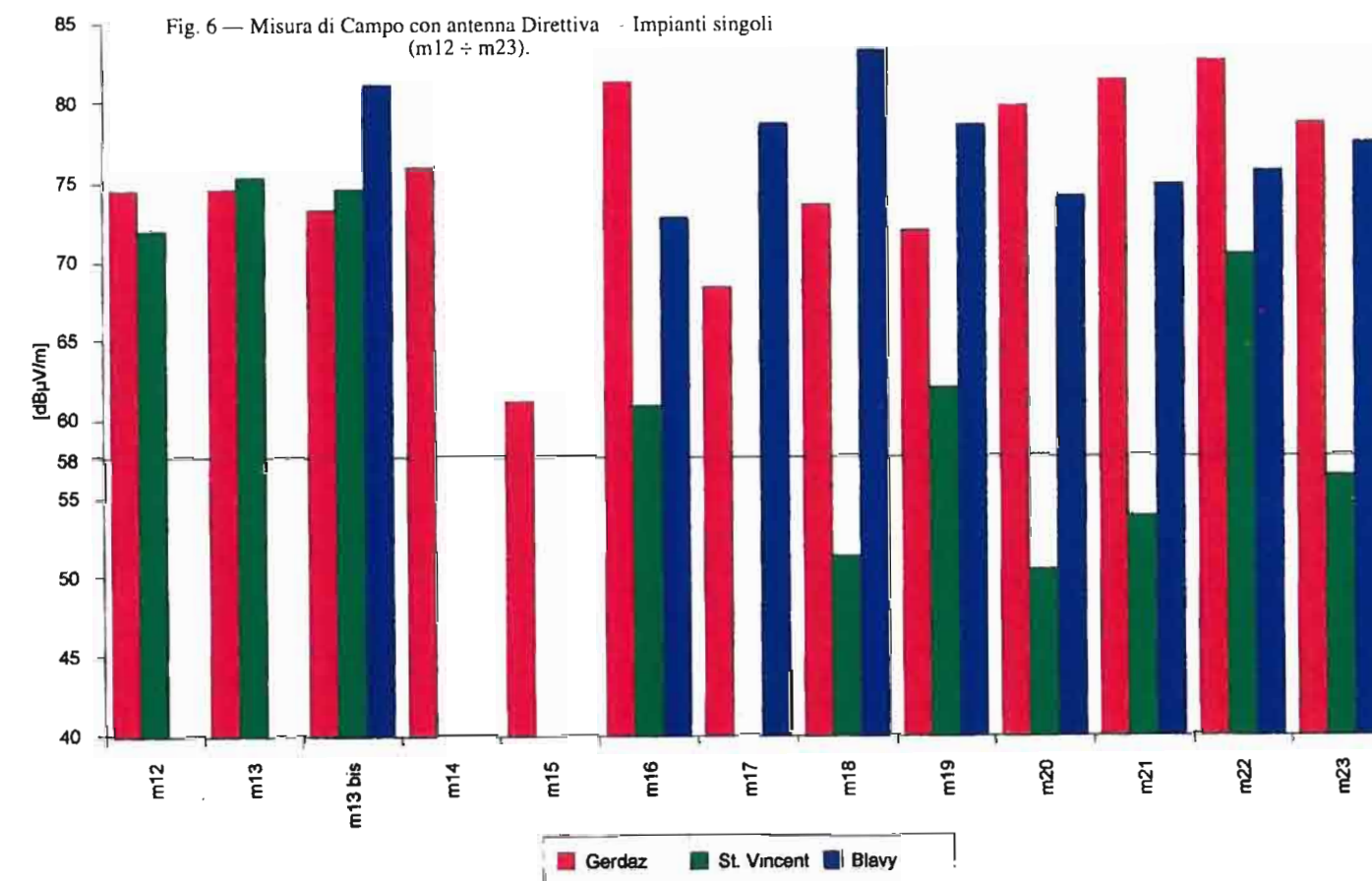
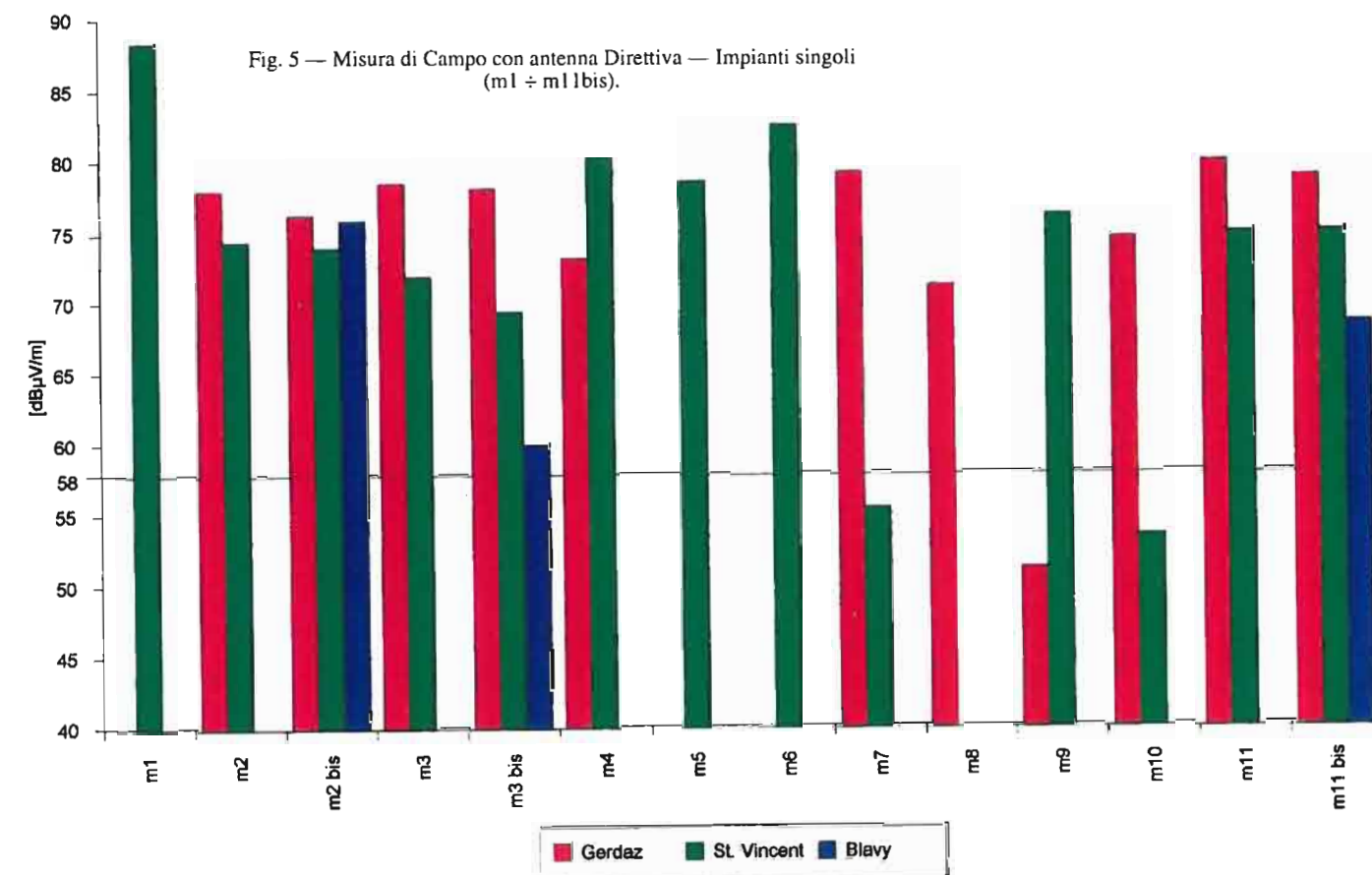
Le figure 5 e 6 riportano i risultati per i tre impianti singoli. Si nota come in alcuni punti di misura si ha una terna completa di valori perché si ha ricezione da tutti e tre gli impianti, mentre in altri punti la ricezione è limitata a uno o due impianti (m1, m5, m15, ecc.). I valori suddetti sono confrontabili con il valore di campo di 58 dB(μ V/m) secondo quanto esposto nel paragrafo 4.2.

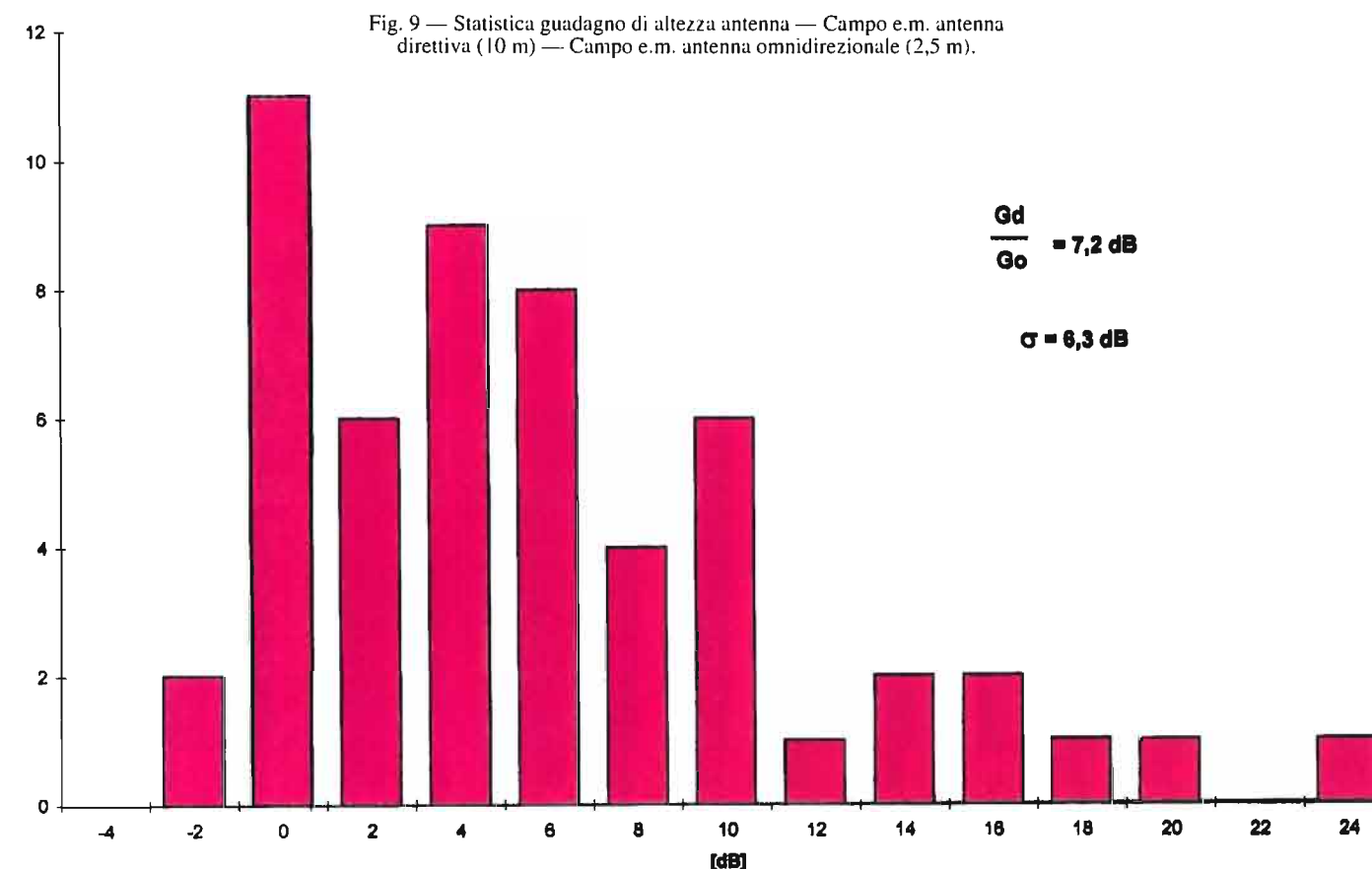
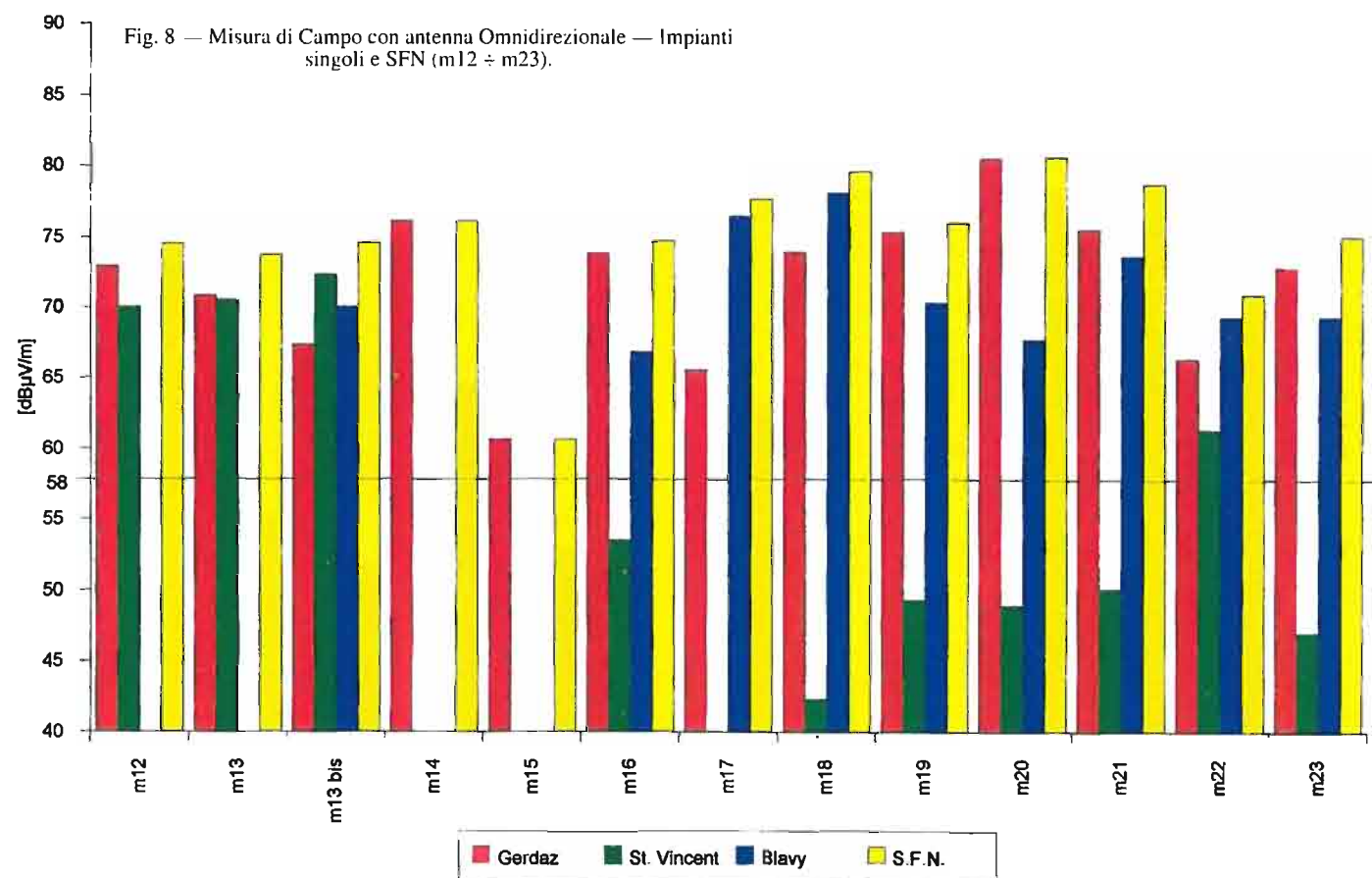
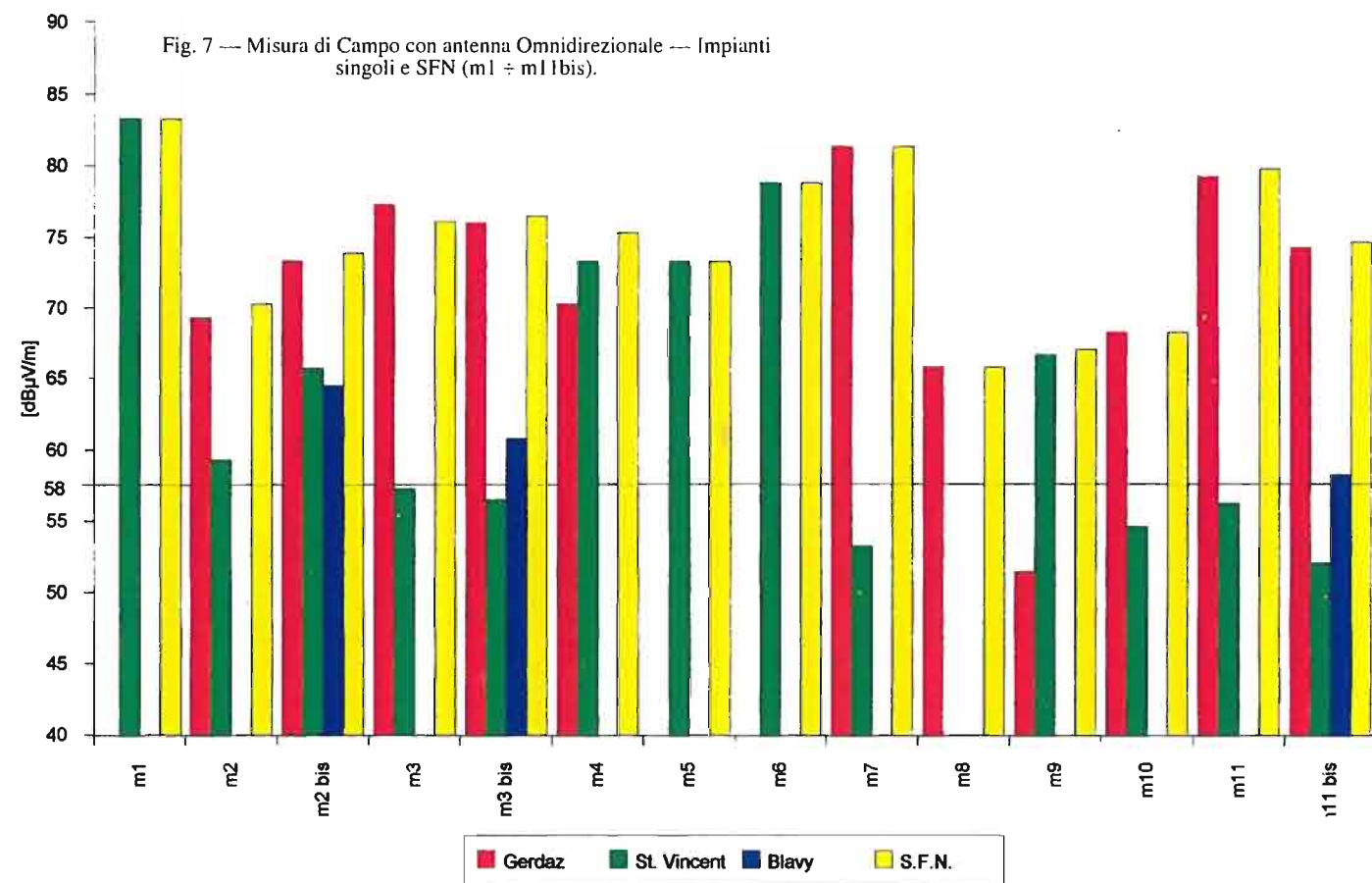
Si può osservare che il valore di campo misurato è pressoché ovunque superiore al suddetto valore di 58 dB(μ V/m), avendosi mediamente valori di campo intorno a 70 ÷ 75 dB(μ V/m). Il punto più sfavorevole è m15, in località Ville sur Nus che peraltro non è in vista di nessuno dei tre impianti trasmettenti e la ricezione avviene quindi per riflessione.

b) *La seconda classe di misure* è relativa alla ricezione, ad una altezza di 2,5 m con antenna omnidirezionale, del segnale irradiato dai singoli impianti e simultaneamente in rete SFN.

Il valore del campo e.m., calcolato dalla potenza misurata nella banda del segnale irradiato, è riportato nelle figure 7 e 8 dalle quali risulta che in alcuni dei 23 punti di misura manca la copertura da parte di tutti gli impianti. Il funzionamento in rete SFN, come evidenziato dall'istogramma giallo, ovvia a questa carenza di copertura.

Inoltre i valori misurati sono ovunque più bassi dei precedenti, ottenuti con l'antenna direttiva a 10 m. Essi sono però significativi per la valutazione della copertura del ser-





vizio DAB perchè rappresentano reali condizioni di ricezione, specie con autoradio.

Tali valori, presi singolarmente, non sono omogenei con quelli ottenuti con l'antenna a 10 m, poichè la misura con l'antenna omnidirezionale viene effettuata nella posizione fissa a 2,5 m. dal suolo, mentre la misura con l'antenna direttiva è effettuata stratificando intorno alla posizione 10 m (vedi paragrafo 3).

Tuttavia dalla differenza del valore di campo rilevato si può avere una prima indicazione del guadagno di altezza dell'antenna nelle due condizioni di ricezione.

In figura 9, si riporta, sotto forma di istogramma, la distribuzione statistica della differenza (dB) fra i campi e.m. ottenuti nei due casi sul totale delle misure effettuate.

Ne risulta una distribuzione discretamente assimilabile a log-normale (Gaussiana in dB) in quanto deriva dalla differenza dei campi misurati nelle due condizioni (antenna direttiva a 10 m. e antenna omnidirezionale a 2,5 m.), per le quali si riscontra una distribuzione log-normale.

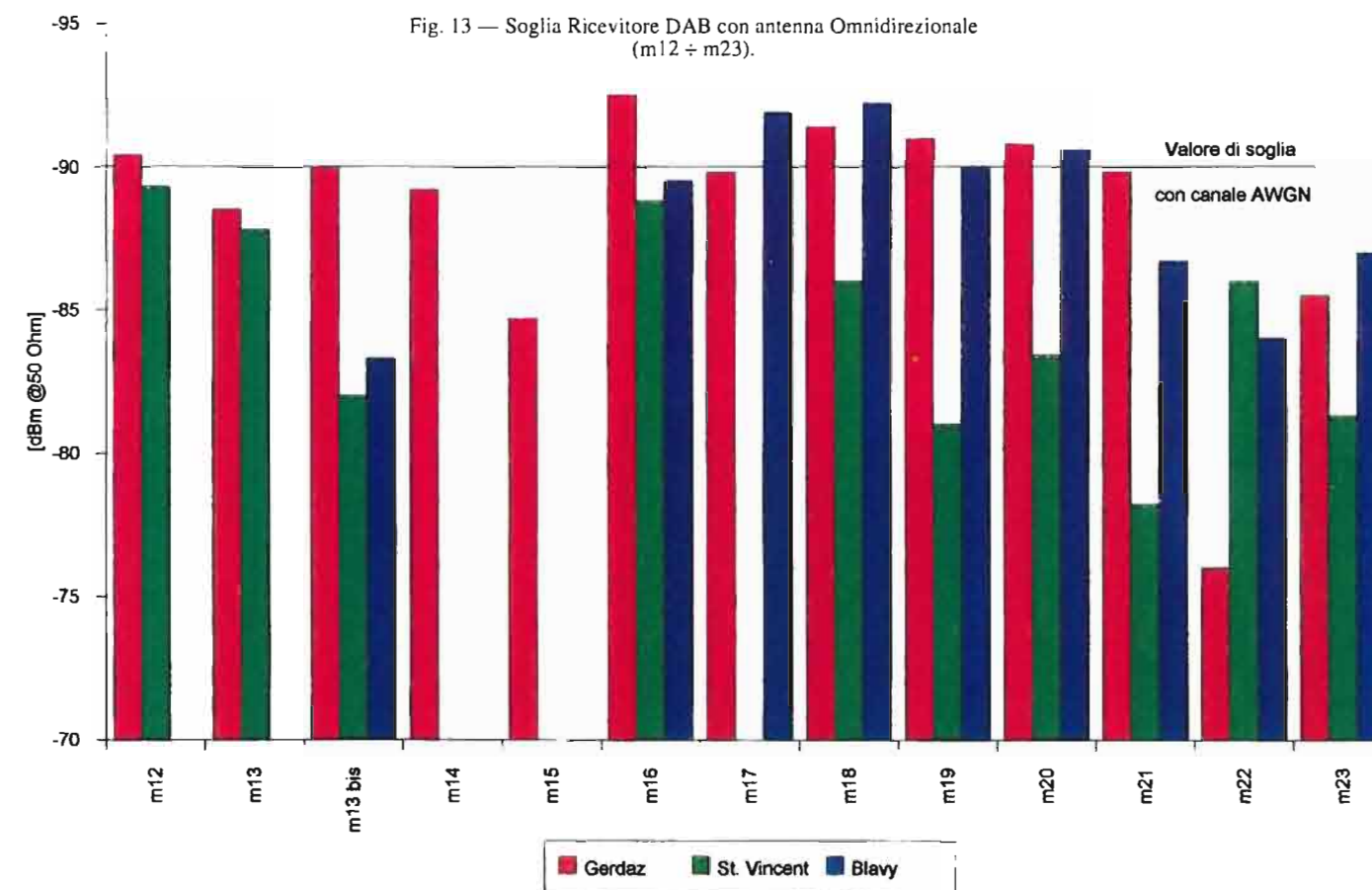
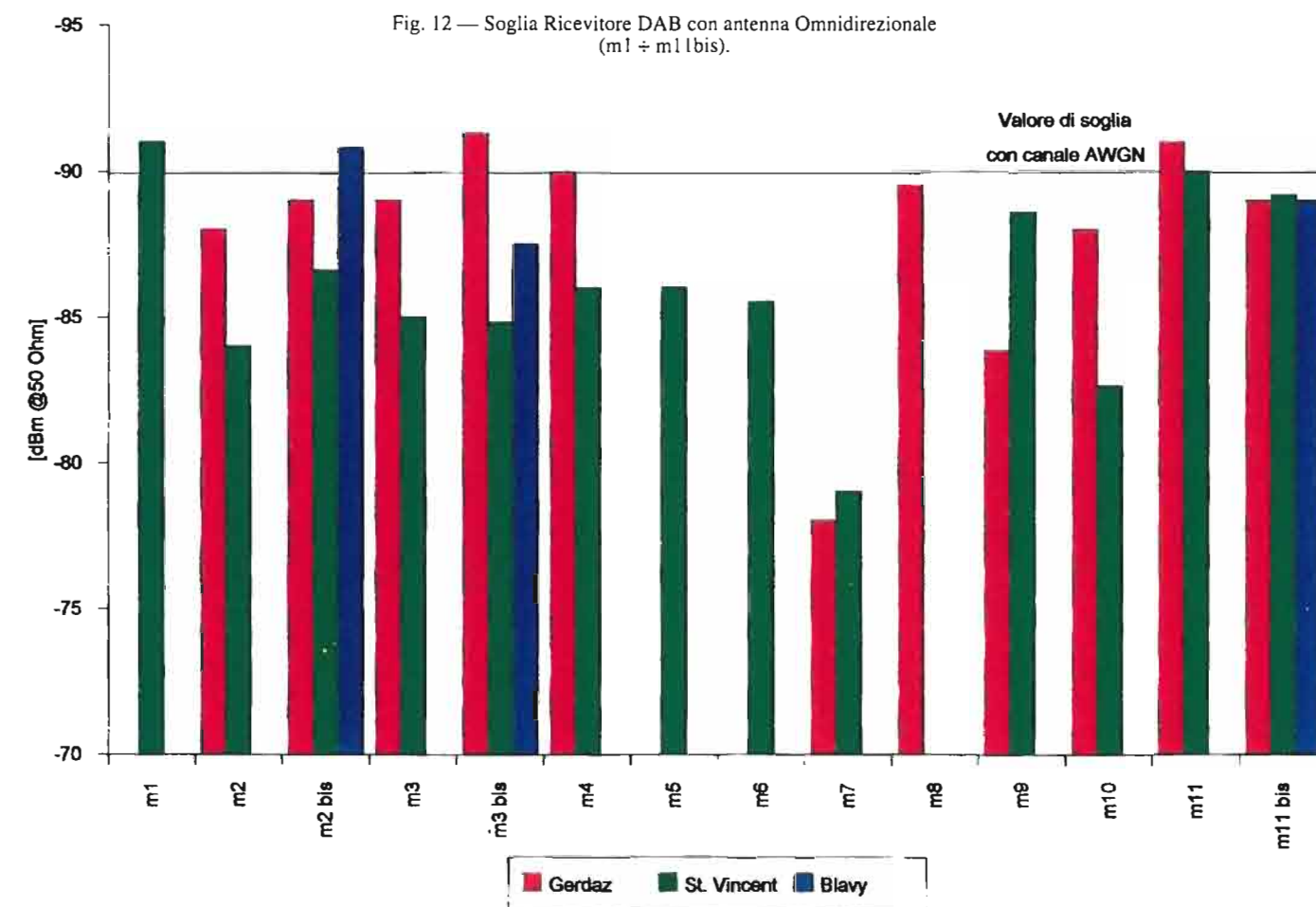
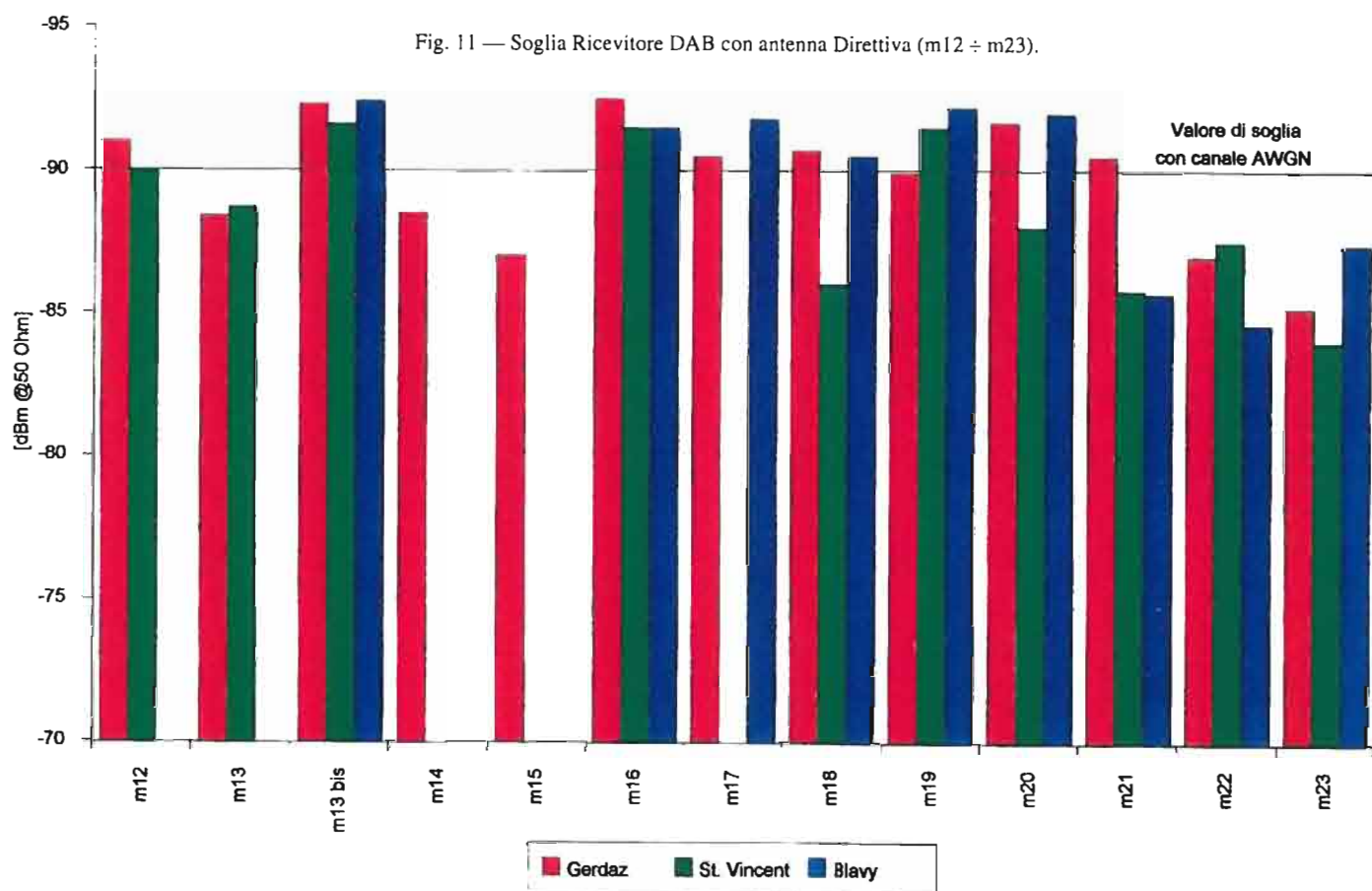
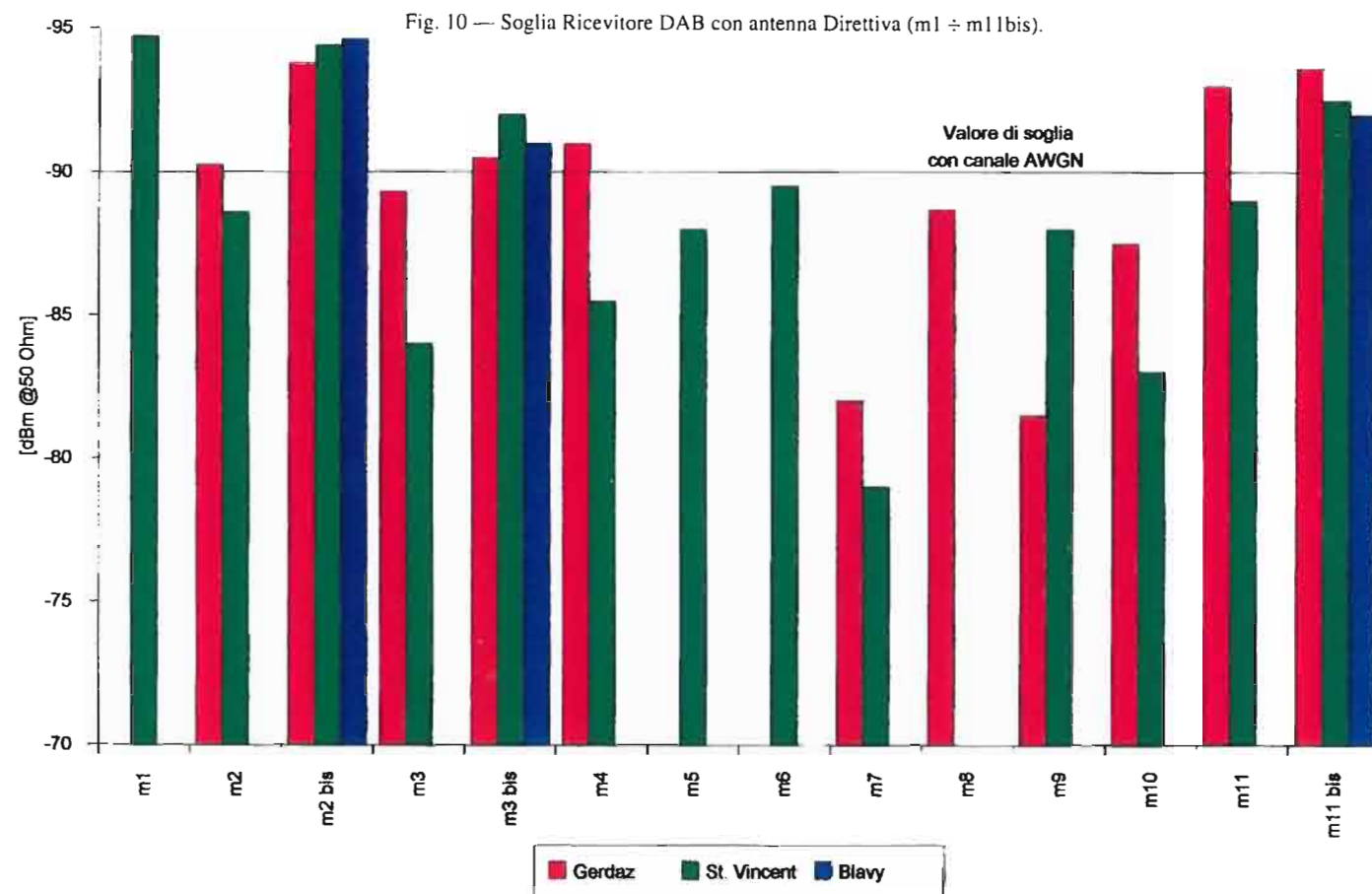
Il valore medio di 7,2 dB con deviazione standard di 6,3 dB) è da intendersi come coefficiente correttivo da sottrarre al valore di campo della previsione fatta a 10 m, con antenna direttiva, in ricezione fissa, per risalire al campo prevedibile ad una altezza di 2,5 m con antenna omnidirezionale (ricezione fissa). Si deve però tenere in conto che, dato l'elevato valore della deviazione standard (6,3 dB), al valore di 7,2 dB dovrebbe essere aggiunto un margine migliorativo, per cui risulta discretamente in accordo con quello di 10 dB proposto dalla CEPT.

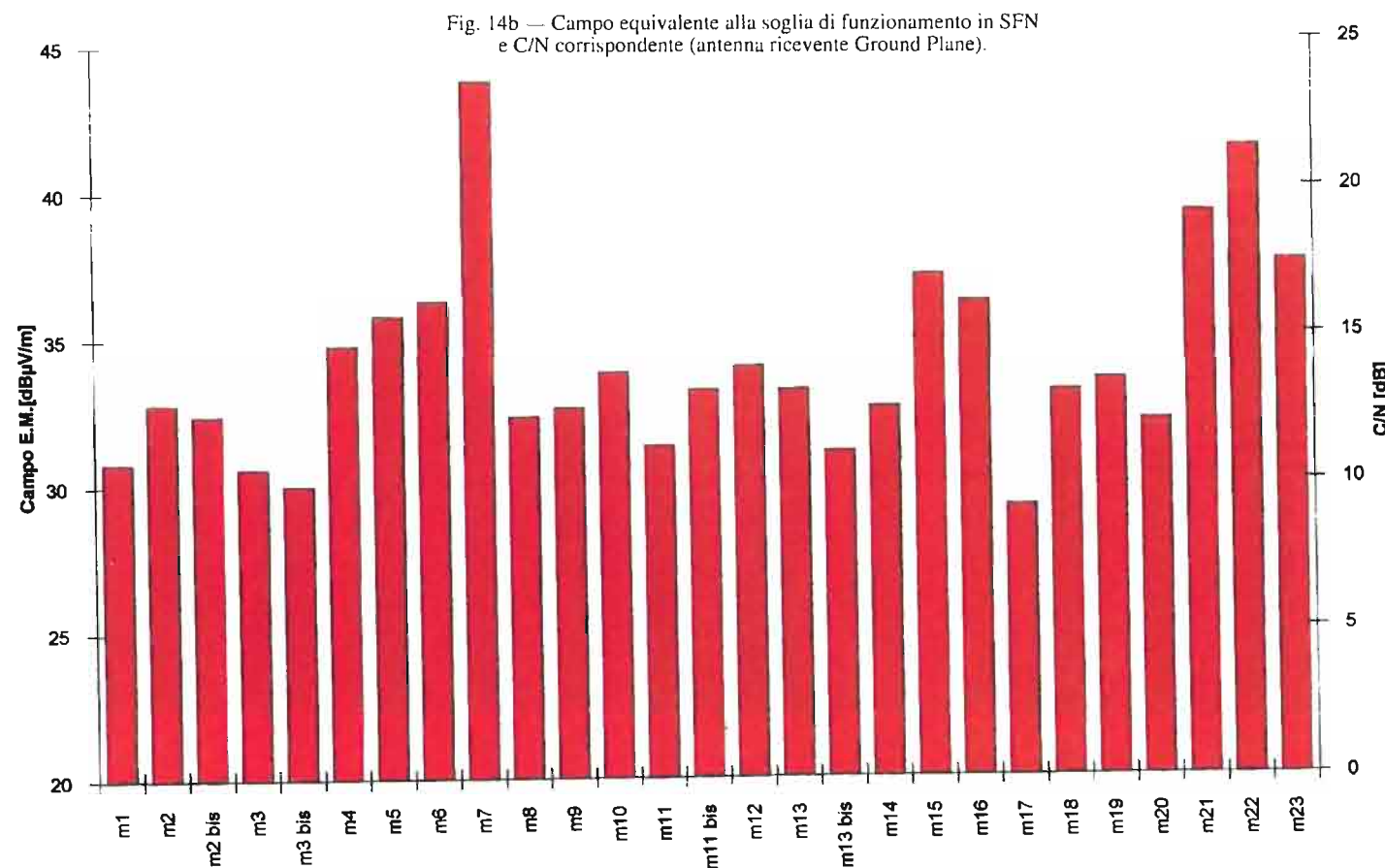
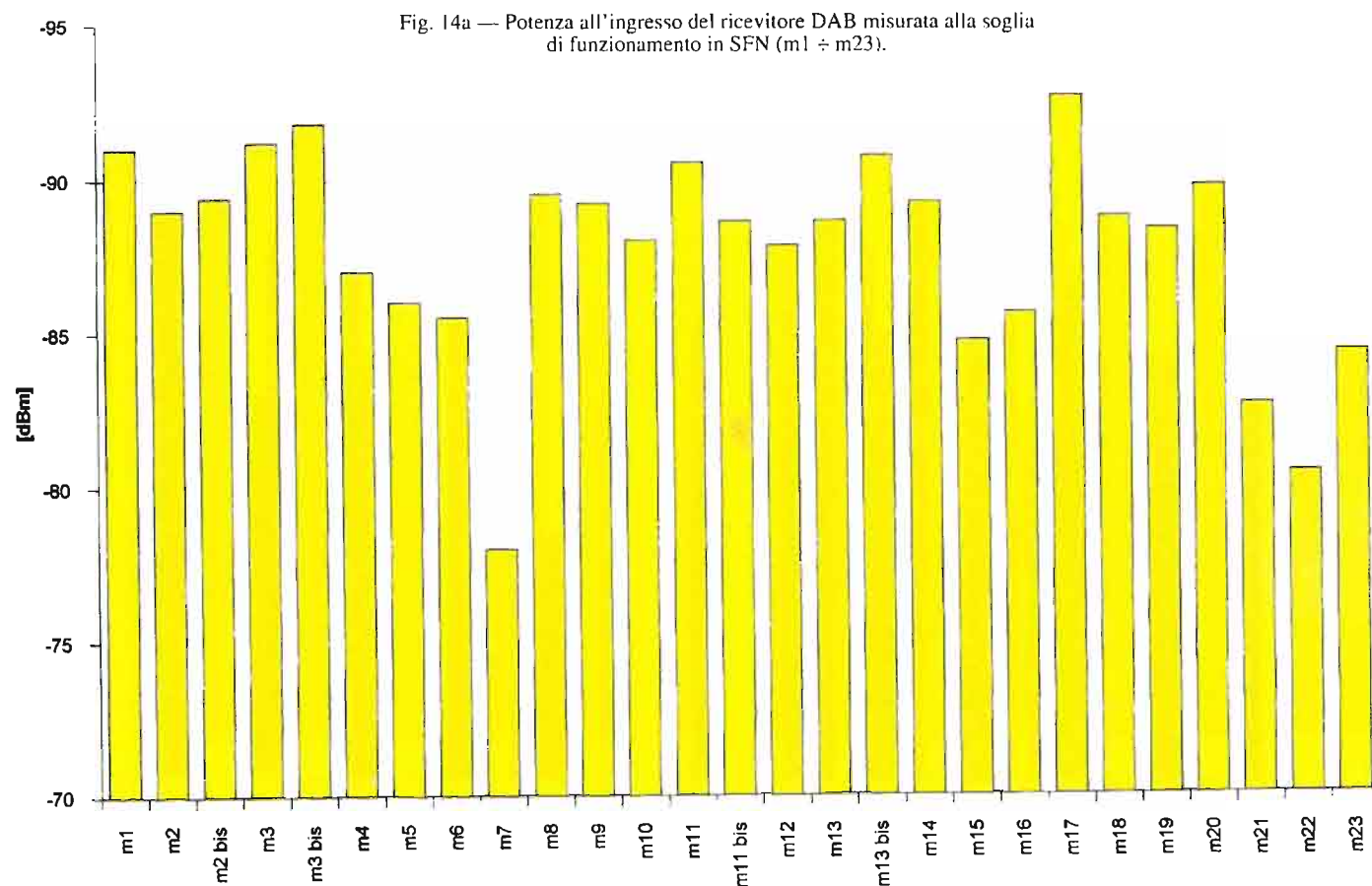
4.2.2 Campo elettromagnetico alla soglia del ricevitore DAB

La sensibilità del ricevitore DAB 3^a generazione verificata in laboratorio in condizioni di canale gaussiano, è risultata migliore di -90 dBm, per un BER di 10^{-4} .

Il rapporto ITU-R 1203 (Bibl. 5) evidenzia, nelle caratteristiche del sistema DAB, un diverso valore del rapporto portante/rumore (C/N) a seconda del funzionamento su canale Gaussiano o su canale Rayleigh (assenza di raggio principale); precisamente il rapporto C/N in 1,5 MHz, su canale Gaussiano, ottenuto inserendo rumore all'ingresso del ricevitore, risulta di 7 dB per BER = 10^{-4} ; su canale Rayleigh, simulato in laboratorio per lo stesso valore di BER, si richiede un valore C/N di 14÷15 dB a seconda dell'ambiente (urbano, rurale) e della velocità del veicolo.

Nella diffusione in campo queste due caratteristiche di propagazione si riscontrano in generale quando la ricezione avviene, rispettivamente, mediante antenna direttiva in vista del trasmettitore e con antenna omnidirezionale fuori vista. Durante la campagna di misure è stato quindi anche verificato il funzionamento del ricevitore nelle condizioni limite, andando a ricercare in ogni singolo punto di misura il margine di corretta ricezione e verificando la differenza nel valore C/N previsto. Il margine di ricezione in termini di misura è il valore di attenuazione inserito sul segnale ricevuto fra l'antenna ed il ricevitore, tale per cui il ricevitore DAB raggiunge il limite di corretto funzionamento, equivalente ad un BER residuo di circa 10^{-4} sul segnale dopo la decodifica di canale.





Contemporaneamente alla determinazione del margine, è stata quindi dedotta la potenza alla soglia, all'ingresso del ricevitore. Anche per questo tipo di misure, i risultati sono stati riportati in forma grafica in due classi a seconda del tipo di ricezione.

Le figure 10 e 11 riguardano la ricezione con antenna direttiva e le figure 12 e 13 la ricezione con antenna omnidirezionale. In figura 14a è riportato il valore della potenza di soglia per la rete SFN relativa alla ricezione con antenna omnidirezionale.

Analizzando questi grafici, si nota come il valore misurato della potenza alla soglia, peggiora passando dalla ricezione con antenna direttiva alla ricezione con antenna omnidirezionale sia da impianti singoli che in rete SFN. Si richiede cioè un maggiore livello di potenza all'ingresso del ricevitore (ad esempio -80 dBm contro i -90 dBm richiesti su canale gaussiano). Questo dipende dal fatto che in generale il valore alla soglia di funzionamento del ricevitore dipende dalla intensità del campo ricevuto e dalla presenza o meno di propagazione multipercorso spesso presente in ricezione con antenna omnidirezionale.

Al fine di meglio valutare le prestazioni del sistema nel caso di funzionamento dei tre impianti in rete SFN, dai valori di potenza misurata alla soglia del ricevitore (figura 14a) sono stati ricavati i corrispondenti valori del campo in dB(μV/m) ed è stato calcolato il rapporto portante rumore C/N in dB, assumendo i valori di cifra di rumore del ricevitore e di rumore ambientale dal documento CEPT (vedi paragrafo 4.2.1).

In figura 14b sono riportati in forma grafica il campo ed il rapporto C/N per i punti di misura effettuati. Il valore medio del campo risulta 34,5 dB(μV/m) ed il valore medio del rapporto portante rumore C/N risulta 14,4 dB; per entrambi la deviazione standard è 3,4 dB.

Dall'esame di figura 14b si deduce che in alcuni punti anomali, ad esempio m7 e m22, i valori di C/N sono sensibilmente più alti e perciò richiedono considerazioni separate; per tali punti si riportano anche le registrazioni dello spettro del segnale ricevuto e della risposta all'impulso del canale relative a ricezione con antenna omnidirezionale in SFN.

Il punto di misura m7 richiede un valore di potenza alla soglia elevato (-78 dBm contro -90 dBm tipici, figura 14a) e un valore C/N di 23 dB contro i 15 dB tipici (figura 14b), nonostante il campo elettromagnetico ricevuto sia abbastanza alto (85 dB(μV/m), figura 7). Ciò può essere giustificato dalla interferenza nel punto di misura da parte di una forte componente di rumore introdotta dalla stretta vicinanza della Strada Statale del passo del Gran S. Bernardo sulla quale si determina una veloce variazione del canale trasmissivo per «fading piatto» dovuto al transito di mezzi pesanti (T.I.R.). Lo spettro del segnale in tale punto (figura 5A — Appendice) non porta peraltro a dedurre nulla di anomalo in quanto tale acquisizione è stata possibile solo in un momento di quiete del traffico.

Considerazioni analoghe possono essere fatte per il punto di misura m22, del quale si riporta anche la curva della risposta all'impulso del canale (figura 4A — Appendice), nonché lo spettro di potenza (figura 9A — Appendice). Anche in questo caso si è in presenza di una strada con forte traffico di T.I.R. e ricezione con multipath «stazionario», che determina «buchi in banda» molto fitti, equivalenti ad echi lontani, tutti considerabili principali, provenienti dal contributo dei tre trasmettitori come si può notare nella figura 4A dell'Appendice.

Si ritiene pertanto opportuno escludere questi due punti anomali nella elaborazione statistica (vedi paragrafo seguente).

Nell'Appendice sono riportati alcuni esempi significativi dello spettro e della risposta all'impulso rilevati in altri punti di misura.

5. Statistica dei risultati

La elaborazione statistica dei valori misurati della potenza alla soglia di funzionamento del ricevitore, pur con le limitazioni dovute al numero ridotto di punti di misura, è effettuata a scopo di confronto per avere una indicazione delle prestazioni del sistema nelle diverse condizioni di ricezione. Sono stati calcolati il valore medio e la deviazione standard della potenza alla soglia nelle tre diverse condizioni di ricezione:

- ricezione con antenna direttiva (figura 10 e 11)
 - ricezione con antenna omnidirezionale su trasmettitori singoli (figura 12 e 13 esclusi i punti anomali m7 e m22)
 - ricezione con antenna omnidirezionale in rete SFN (figura 14a e b esclusi i punti anomali m7 e m22)
- Nella seguente tabella 2 sono riportati i valori alla soglia della potenza media, del campo e.m. e del rapporto portante/rumore (C/N) corrispondenti:

TABELLA 2
POTENZA, CAMPO E.M. E C/N RICHIESTI ALLA SOGLIA DI ERRORE DEL RICEVITORE

Tipo di ricezione	Potenza Media [dBm]	σ (dB)	Campo e.m. soglia dBμV/m	C/N (dB)
Canale gaussiano ideale			35	7
Canale Rayleigh				15
YAGI direttiva (impianti singoli)	-87,5		31,8	11,8
Omnidirezionale (impianti singoli)	-87,5	3,2	34,5	14,5
Omnidirezionale SFN	-88,6	2,5	33,4	13,4

I valori di campo e.m. e di C/N alla soglia, relativi a canale gaussiano ideale e a canale Rayleigh, sono quelli teorici riportati nel documento CEPT.

I valori relativi alle tre tipologie di ricezione (antenna direttiva, antenna omnidirezionale impianti singoli e antenna omnidirezionale SFN) sono derivati dal valore medio della potenza misurata alla soglia di funzionamento del ricevitore.

Dall'esame di questi dati si deduce che il valore medio del campo alla soglia, in area di servizio, nelle condizioni di ricezione con antenna omnidirezionale a 2,5 m. di altezza dal livello del suolo risulta di 34,5 dB(μV/m) per il caso di ricezione da impianti singoli e 33,4 dB(μV/m) per il caso della rete SFN, mentre nel caso di antenna direttiva risulta un valore di 31,8 dB(μV/m).

Tali valori sono indicativi delle diverse condizioni del canale trasmissivo, che, a seconda della località cambia la

propria distribuzione segnale+rumore (AWGN o Rayleigh); quando la ricezione discrimina i cammini multipli attraverso la direttività risulta un valore di 31,8 dB(μ V/M).

Tali valori sono indicativi delle diverse condizioni del canale trasmissivo, che, a seconda della località cambia la propria distribuzione segnale + rumore (AWGN o Rayleigh); quando la ricezione discrimina i cammini multipli attraverso la direttività dell'antenna il peggioramento è minore, mentre per la ricezione con antenna omnidirezionale è più marcato nel caso di impianti singoli, con parziale recupero nel caso di rete SFN.

La differenza tra i valori del campo nelle diverse condizioni corrisponde ad analoghe differenze nel rapporto portante rumore C/N: tra la ricezione con antenna omnidirezionale su impianti singoli ed in rete SFN vi è un miglioramento di circa 1 dB, mentre con antenna direttiva si ha un miglioramento di circa 3 dB.

Il peggioramento della soglia rispetto al valore della sensibilità del ricevitore che, in condizioni ideali in laboratorio con canale trasmissivo AWGN risulta migliore di -90 dBm, è indicativo della presenza in area di una componente di rumore maggiore e di condizioni di ricezione affette da cammini multipli.

6. Conclusioni

Le misure effettuate sul segnale DAB con ricezione fissa nell'area di servizio della rete SFN si riferiscono a 23 punti significativi per la copertura, che comprendono località in vista completa o parziale degli impianti trasmissivi, località con valori di campo pianificato di valore elevato e di valore basso, zone di copertura equicampo e zone di elevato rapporto dei segnali irradiati dai tre impianti.

Dall'analisi dei risultati emerge anzitutto la corretta funzionalità degli impianti trasmissivi e la robustezza del sistema DAB, che permette una ricezione di elevata qualità anche in punti dell'area affetti da multipercorso (canale di tipo Rayleigh). Essendosi operato in ricezione fissa non si è potuto valutare il degradamento imputabile all'effetto Doppler.

Si possono trarre alcune preliminari conclusioni:

- Il guadagno di altezza dell'antenna ricevente, da 1,5 m. a 10 metri ha un valore medio di 7,5 dB con deviazione standard di 6,3 dB; si può quindi considerare discretamente valido il valore 10 dB assunto dalla CEPT per la pianificazione.
- Il ricevitore DAB 3ª generazione, in presenza di rumore industriale e/o presenza di propagazione multipercorso, con ritardi che stanno entro l'intervallo di guardia di 256 μ s del sistema (modo I per rete SFN in banda III), entra in soglia di errore (BER= 10^{-4}) per valori del segnale di ingresso di circa 4 dB superiori alla sensibilità del ricevitore stesso in condizioni ideali (-86 dBm contro -90 dBm con rumore AWGN).
- La configurazione degli impianti trasmissivi in rete SFN oltre al vantaggio principale di impiegare una frequenza sola, garantisce un aumento dell'area di copertura rispetto al caso di trasmettitori singoli e di pari potenza.

- Dalle misure preliminari qui riportate si ha una prima indicazione dell'effetto della rete SFN in quanto il valore medio del campo alla soglia risulta migliore di circa 1 dB e la deviazione standard si riduce di 0,7 dB rispetto al caso dei singoli impianti. Questo valore fornisce una indicazione qualitativa del guadagno della rete SFN, dato l'esiguo numero di punti di misura e la disomogeneità dell'ambiente a cui si riferiscono. Una valutazione quantitativa del guadagno introdotto dalla rete SFN sarà derivato su base statistica dalle misure in movimento su percorsi differenziati nell'area di copertura, i cui risultati sono riportati nell'articolo «campagna di misure dab-t su rete isofrequenziale (SFN)» in questo numero della rivista.

7. Ringraziamenti

Si desidera ringraziare il personale tecnico MIAF e CQ della Sede Regionale RAI di Aosta per la importante e fattiva collaborazione prestata durante lo svolgimento delle misure.

BIBLIOGRAFIA

1. - ARIAUDO M, BLANCHIETTI G., RIPAMONTI S.: *Sperimentazione DAB: sistemistica della rete in Valle d'Aosta*, «Relazione Tecnica RAI Centro Ricerche», n.53/92/I
2. - BLANCHIETTI G., RIPAMONTI S., SCIOLLA M.: *Trasmissione per la valutazione delle caratteristiche statistiche di canali radio*, «Elettronica e Telecomunicazioni», n. 2, 1994
3. - GALLO A., RIPAMONTI S.: *Rete sperimentale isofrequenza per sistemi numerici radio e TV in Valle d'Aosta. Sistema equalizzatore di ritardo*, «Relazione Tecnica RAI Centro Ricerche», n. 93/17/I
4. - *Technical Bases for the CEPT T-DAB Plannig Meeting*, Documento EBU-R1, Novembre 1995
5. - Rapporto ITU-R BS.1203: *Digital Sound Broadcasting to Vehicular, portable and fixed Receivers using terrestrial Transmitters in the UHF/VHF Bands*

APPENDICE

Misure sul segnale DAB con ricezione fissa

- Risposta all'impulso:
Figure 1A, 2A, 3A e 4A.
- Spettro di potenza:
Figure 5A, 6A, 7A, 8A e 9A.

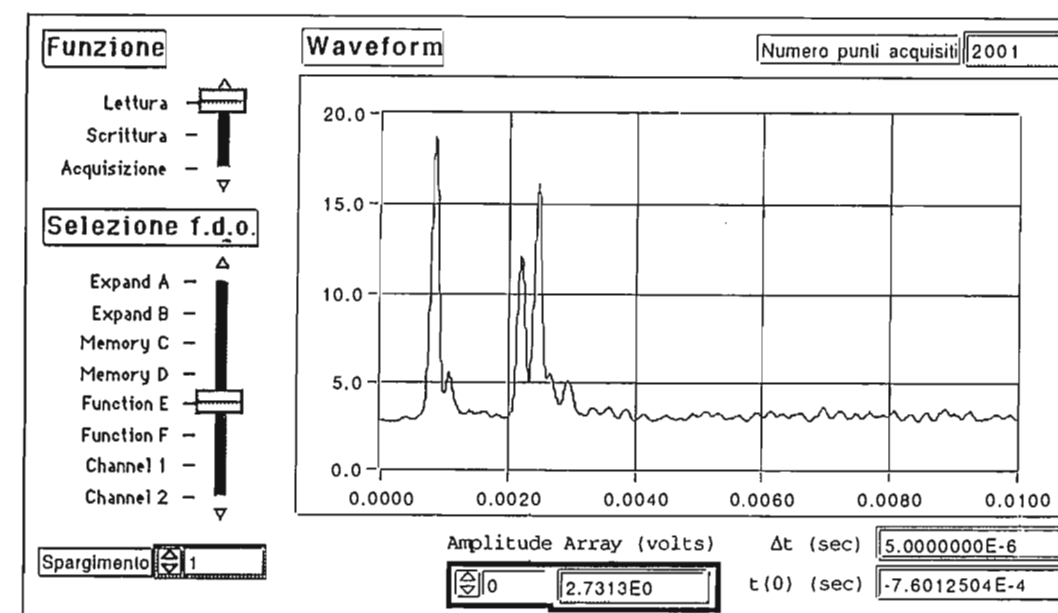


Fig. 1A — Risposta all'impulso nel punto di misura m13.

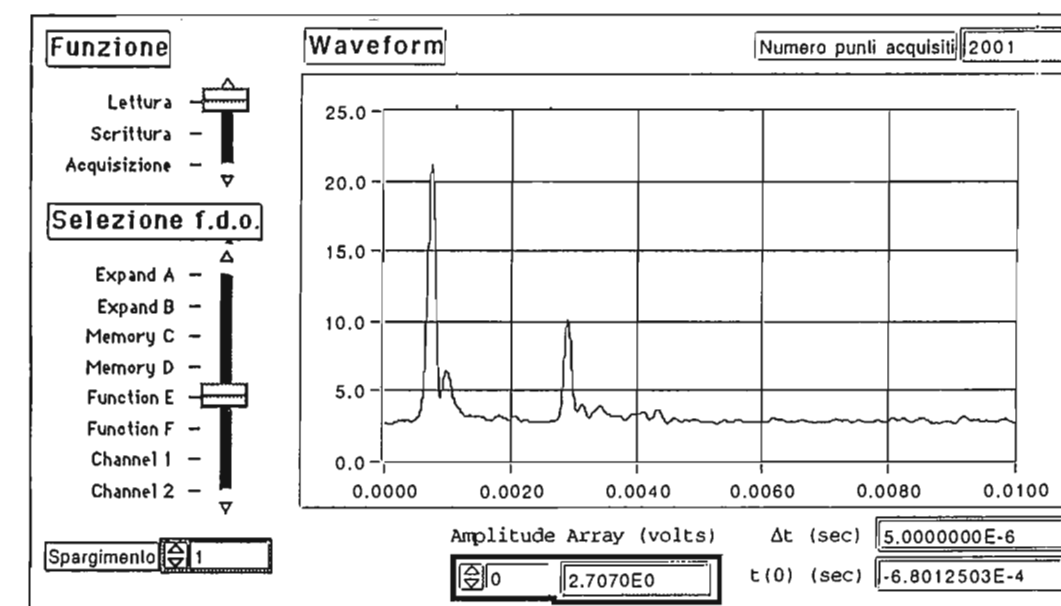


Fig. 2A — Risposta all'impulso nel punto di misura m16.

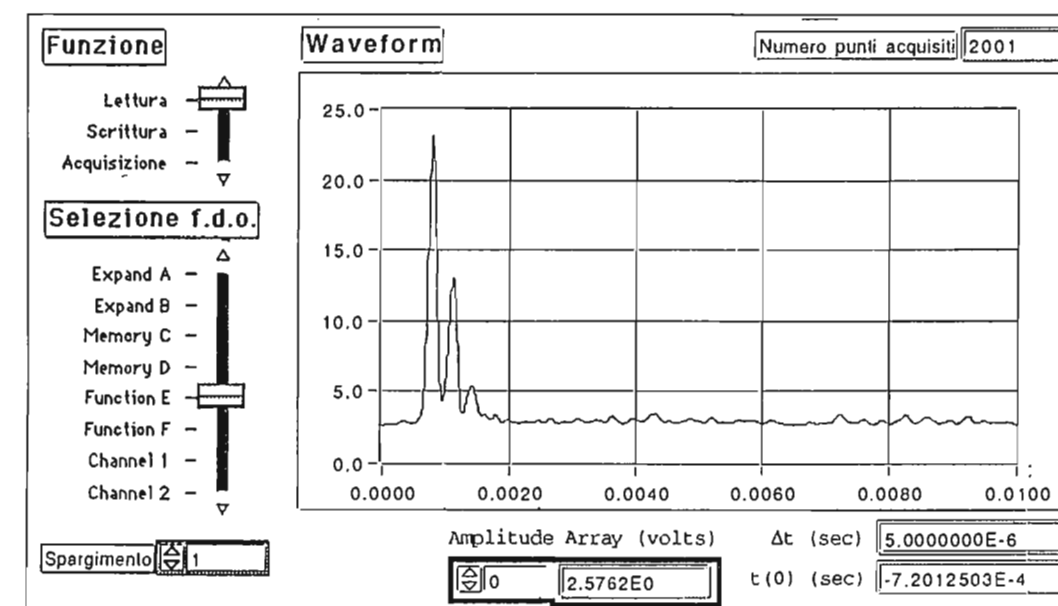


Fig. 3A — Risposta all'impulso nel punto di misura m19.

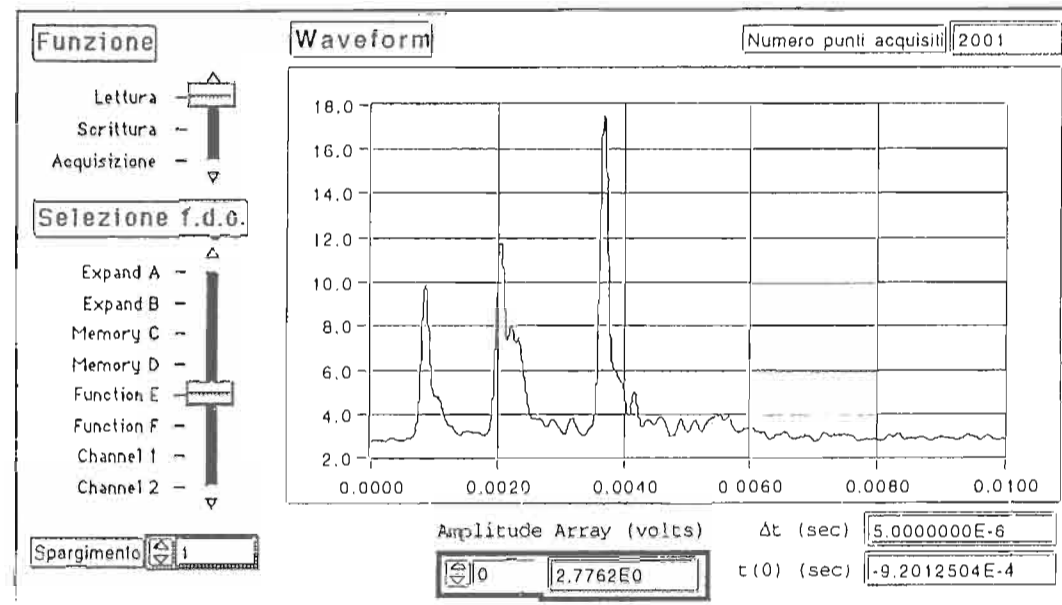


Fig. 4A — Risposta all'impulso nel punto di misura m.22.

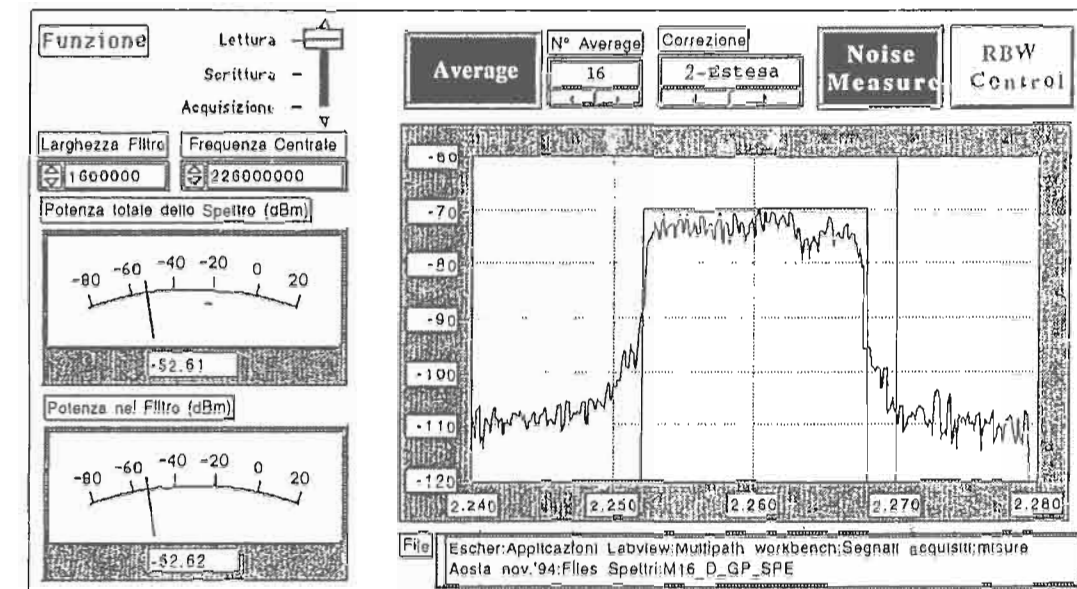


Fig. 7A — Spettro di potenza del segnale DAB-T nel punto di misura m.16.

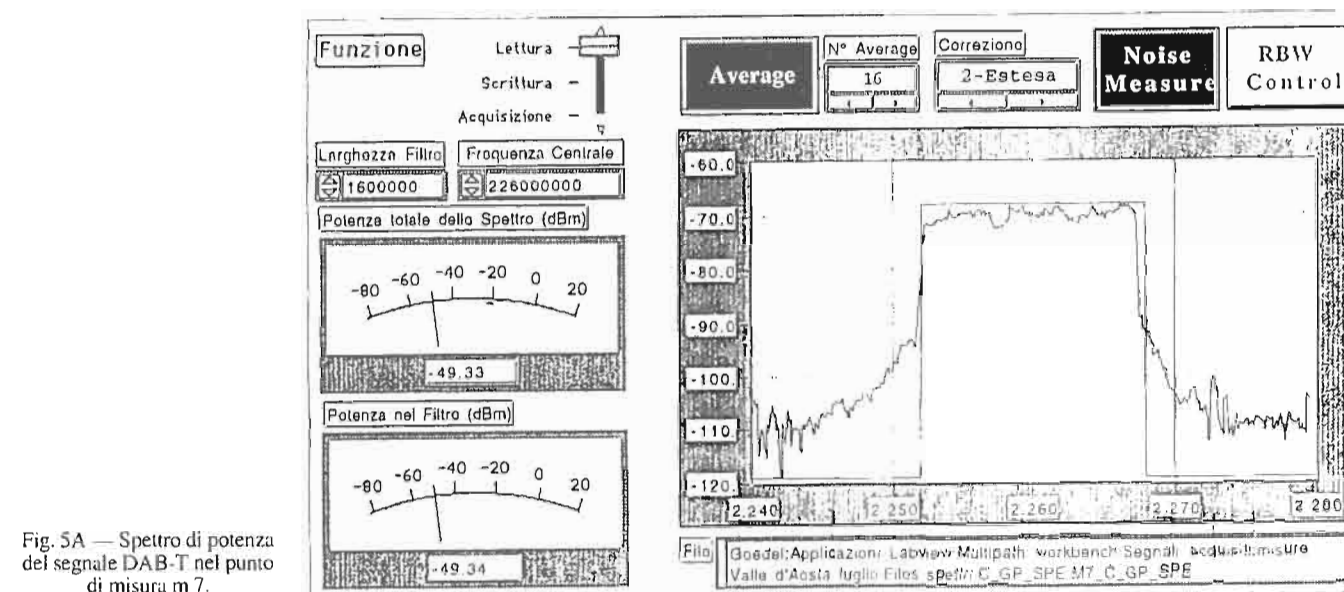


Fig. 5A — Spettro di potenza del segnale DAB-T nel punto di misura m.7.

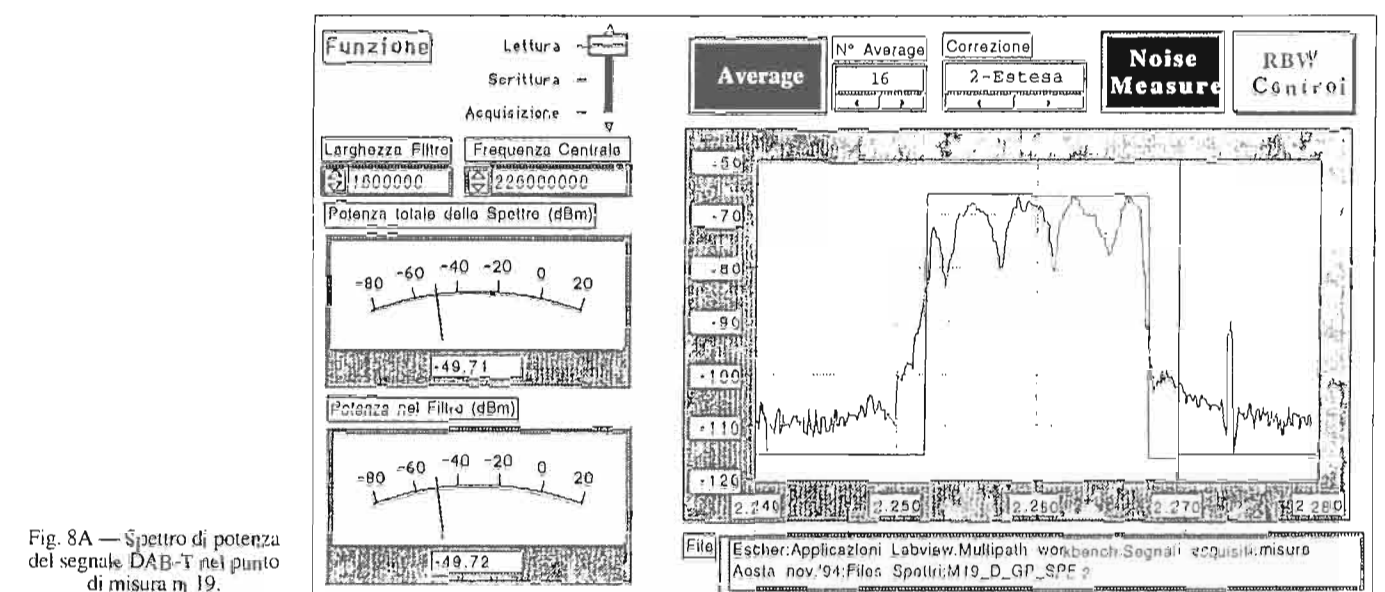


Fig. 8A — Spettro di potenza del segnale DAB-T nel punto di misura m.19.

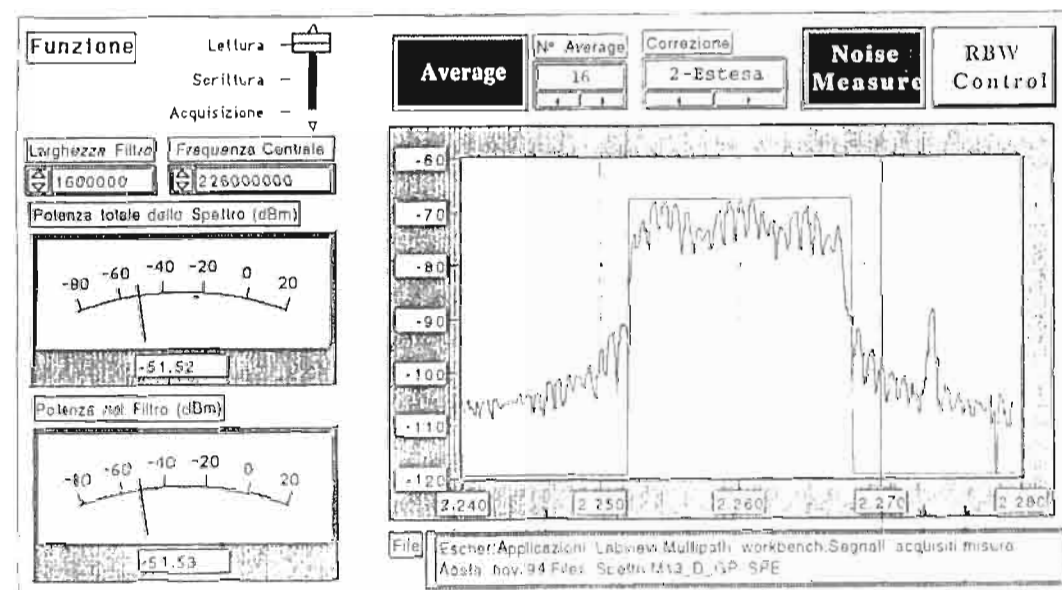


Fig. 6A — Spettro di potenza del segnale DAB-T nel punto di misura m.13.

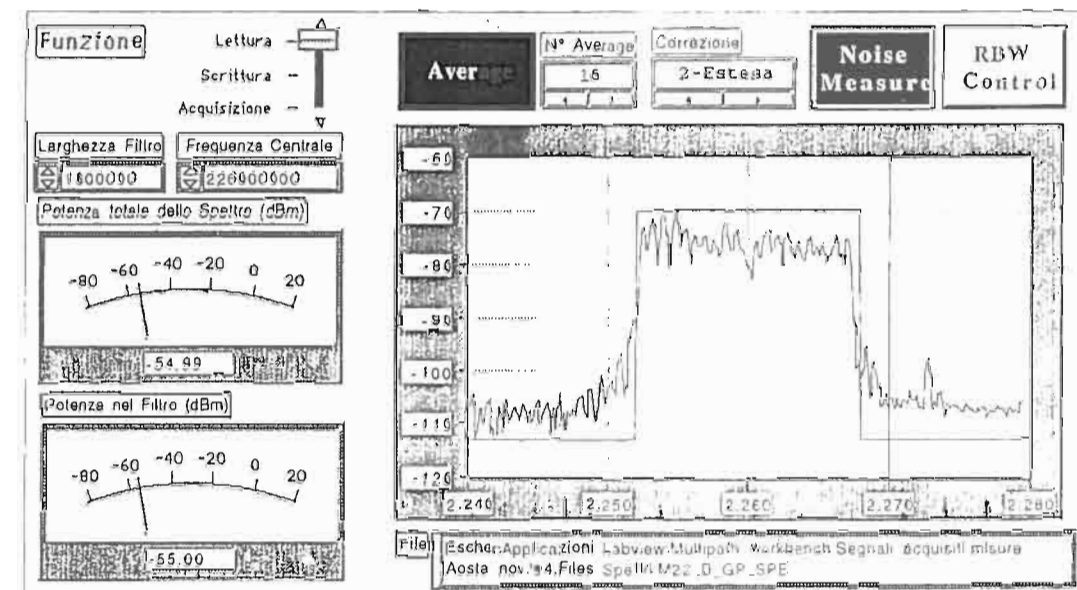


Fig. 9A — Spettro di potenza del segnale DAB-T nel punto di misura m.22.

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 trasmissenti, 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 trasmettente 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

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.

CAMPAGNA DI MISURE DAB-T SU IMPIANTI TRASMITTENTI SINGOLI

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

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 (dB(μ V)) ed il coefficiente per la conversione in campi e.m. (dB(μ V/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

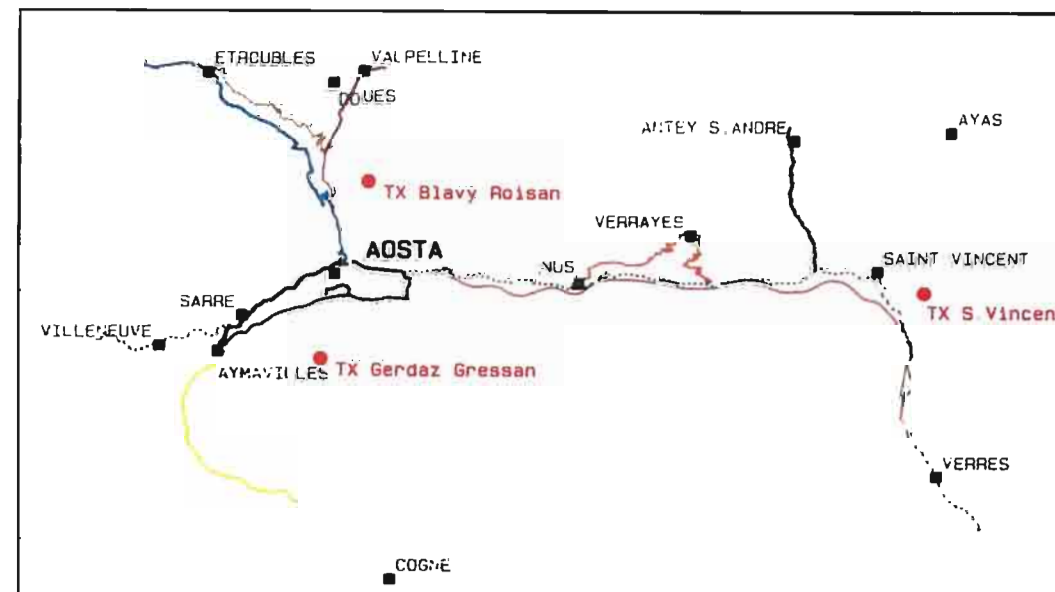


Fig. 1 — Indicazione, su proiezione cartografica Lambert, dei percorsi lungo i quali sono state effettuate le misure e la posizione dei trasmettitori della rete in esame.

* P.i. Roberto Frigerio e Renato Pellizzoni del Controllo Qualità del Centro di Controllo RAI — Monza.
Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 12 Novembre 1996.

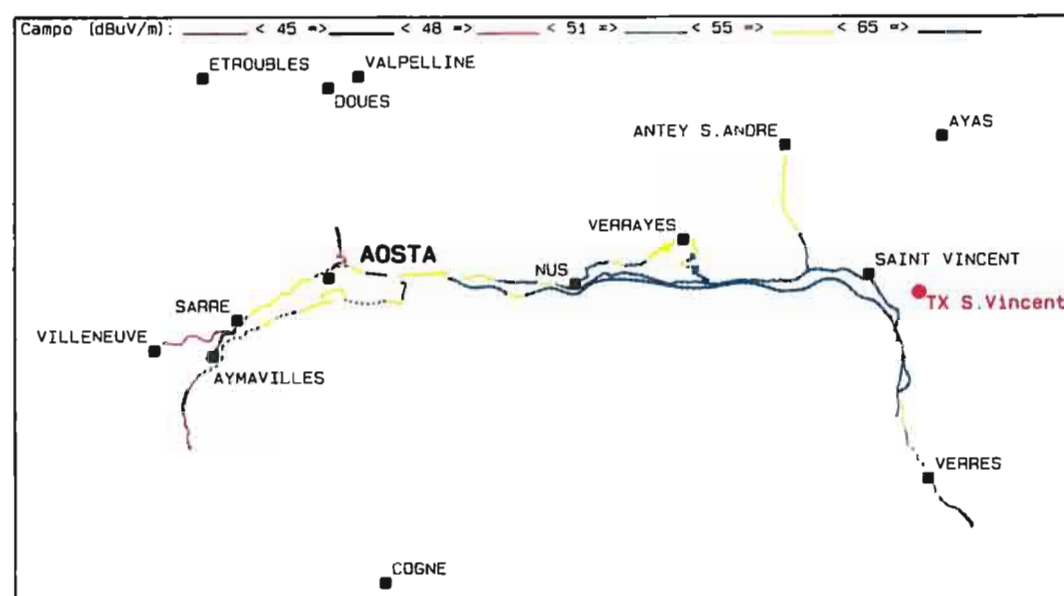


Fig. 2 — Indicazione dei percorsi di misura, suddivisi in tratti di 1 Km di lunghezza, per il trasmettitore di Saint Vincent. I colori indicano il valore del campo raggiunto dal 50% della distribuzione dello slow-fading.

(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.

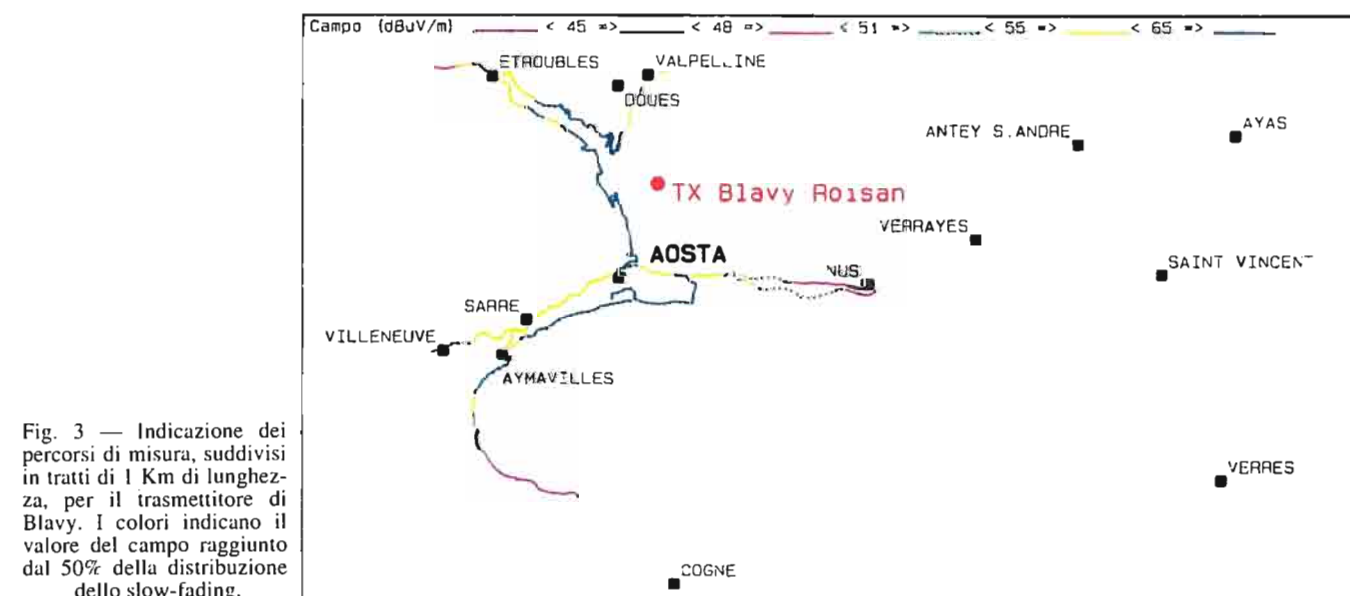


Fig. 3 — Indicazione dei percorsi di misura, suddivisi in tratti di 1 Km di lunghezza, per il trasmettitore di Blavy. I colori indicano il valore del campo raggiunto dal 50% della distribuzione dello slow-fading.

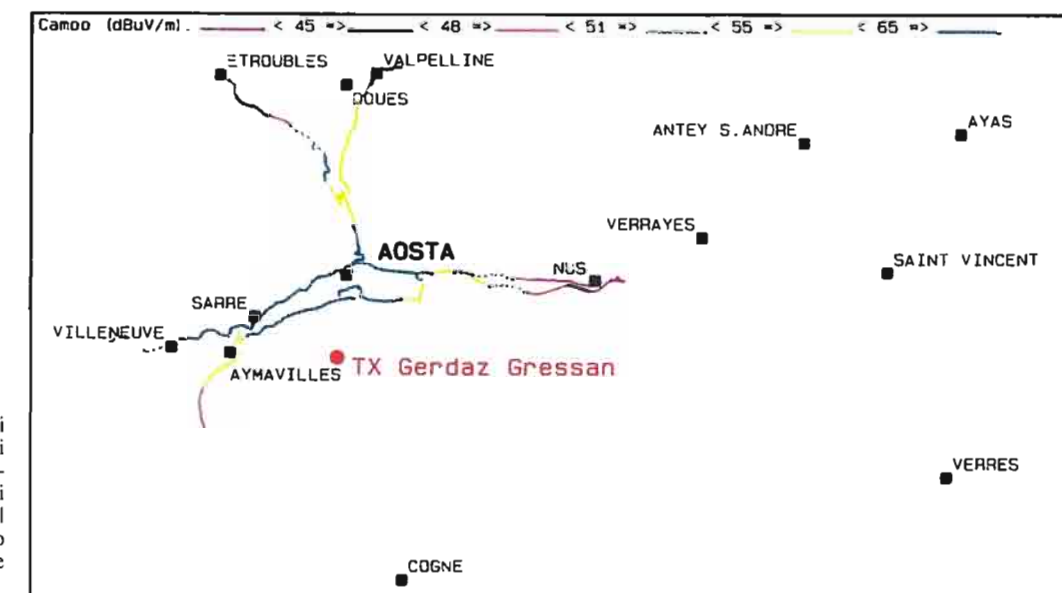


Fig. 4 — Indicazione dei percorsi di misura, suddivisi in tratti di 1 Km di lunghezza, per il trasmettitore di Gerdaz. I colori indicano il valore del campo raggiunto dal 50% della distribuzione dello slow-fading.

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 medi calcolati ogni 25 metri. La linea rossa tracciata nel grafico dei campi medi 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. André 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 Salirò, è sempre superiore a 66 dB(μV/m) ed il 90% dei valori è compreso fra 72 e 90 dB(μV/m).

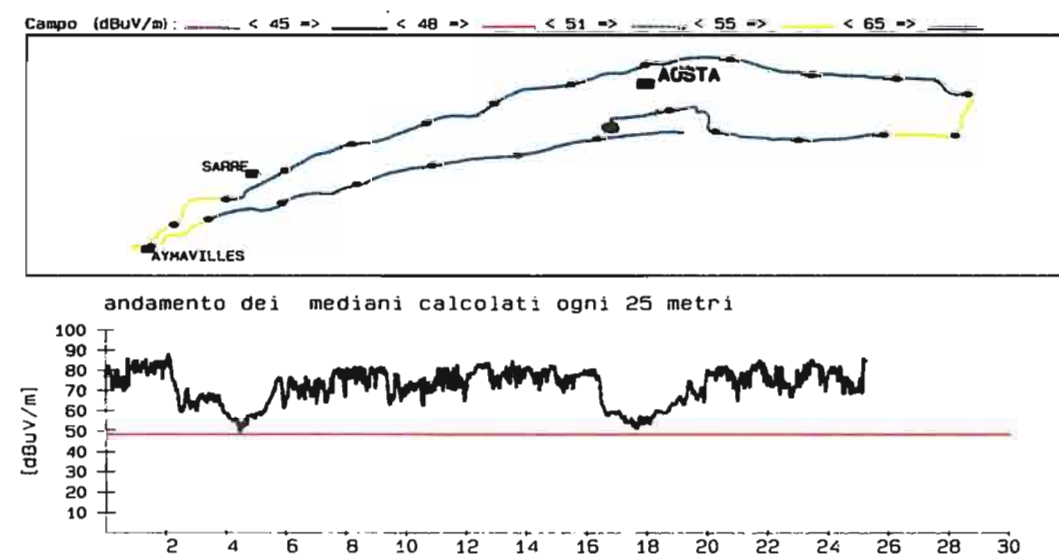


Fig. 5 — In alto, parte del percorso di Fig. 4 preso a campione; in basso, andamento dei relativi campi medi calcolati ogni 25 metri. La linea rossa indica la soglia di campo minimo utile richiesto dal servizio per il 50% dei luoghi.

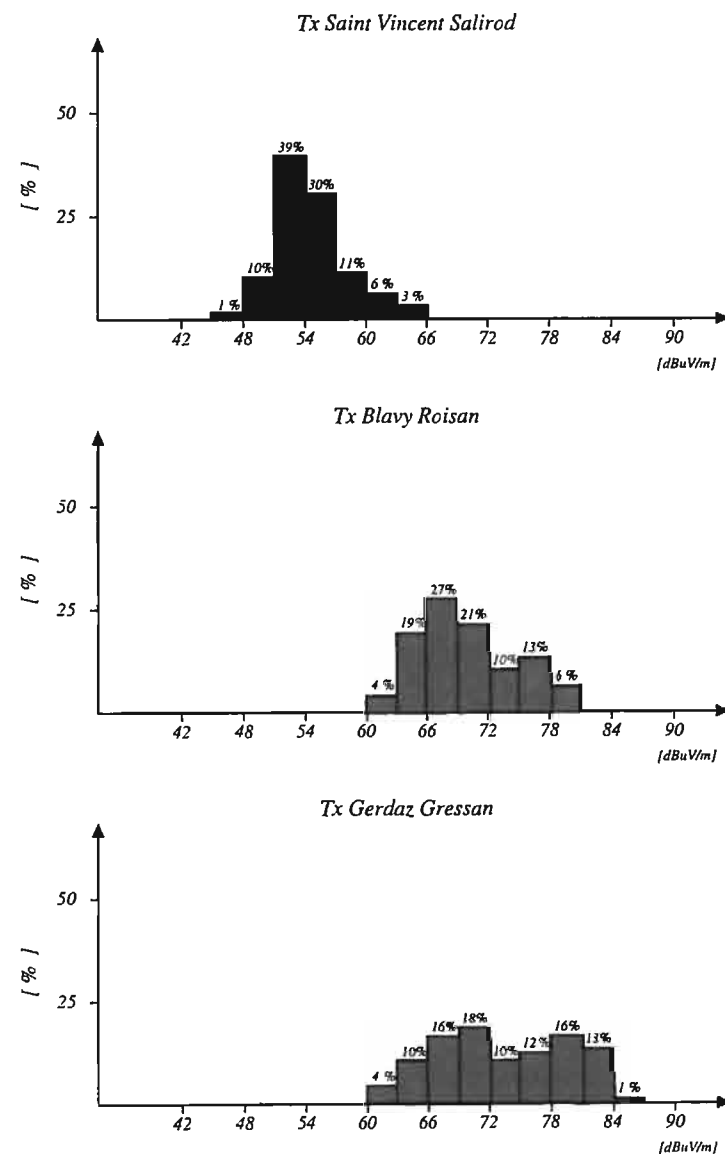


Fig. 6 — Indicazione dei campi mediani (ogni 25 metri) nella città di Aosta. Le tre condizioni rappresentano i valori relativi ai singoli trasmettitori in potenza.

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

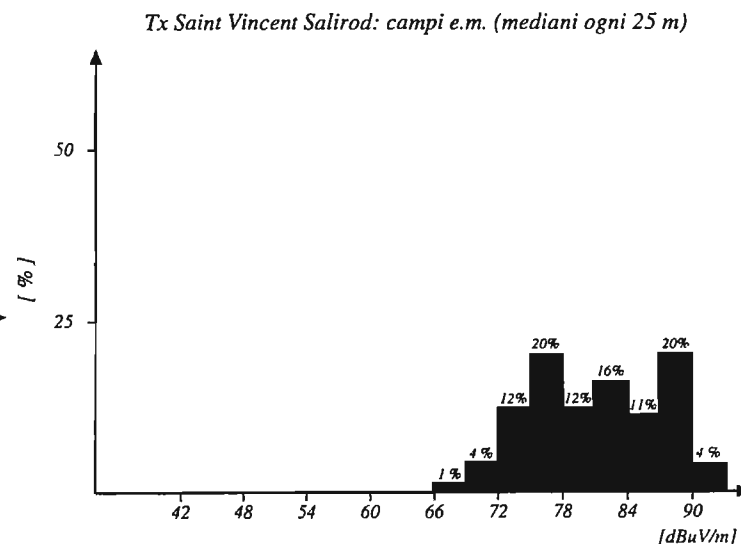


Fig. 7 — Indicazione dei campi mediani (ogni 25 metri) nella città di Saint Vincent con il solo trasmettitore di Salirod in potenza.

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.

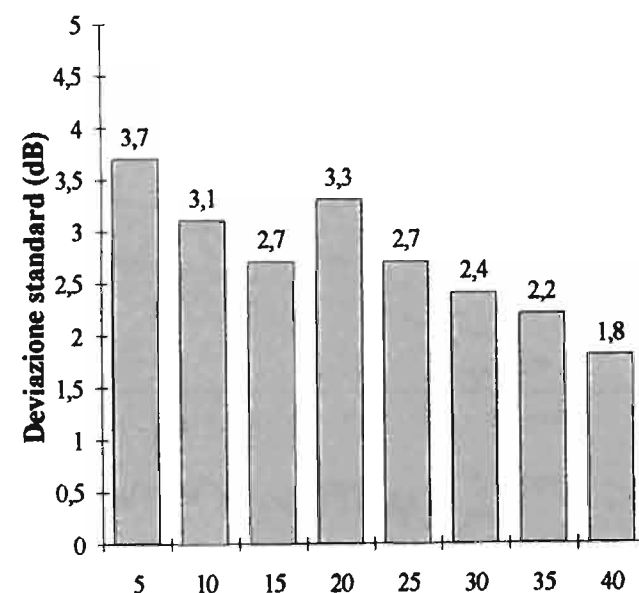


Fig. 8 — Deviazioni standard dello slow fading per fasce di distanze dal TX.

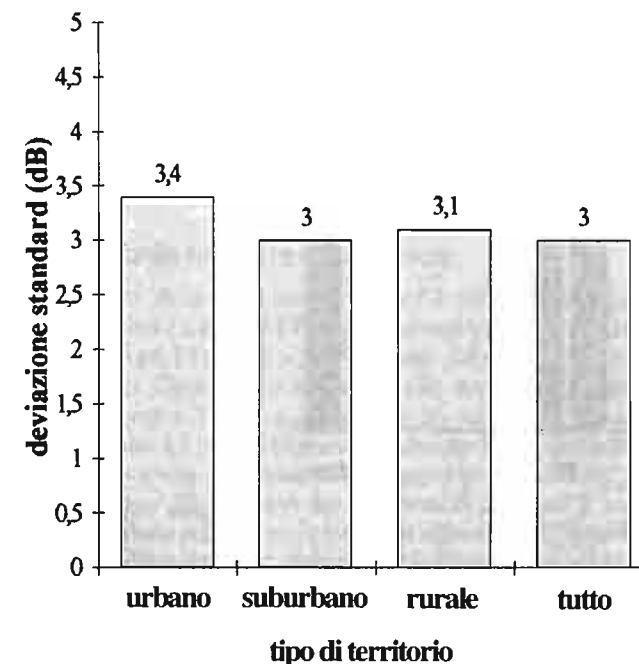


Fig. 9 — Deviazioni standard dello slow fading per tipo di territorio.

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 attenni 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

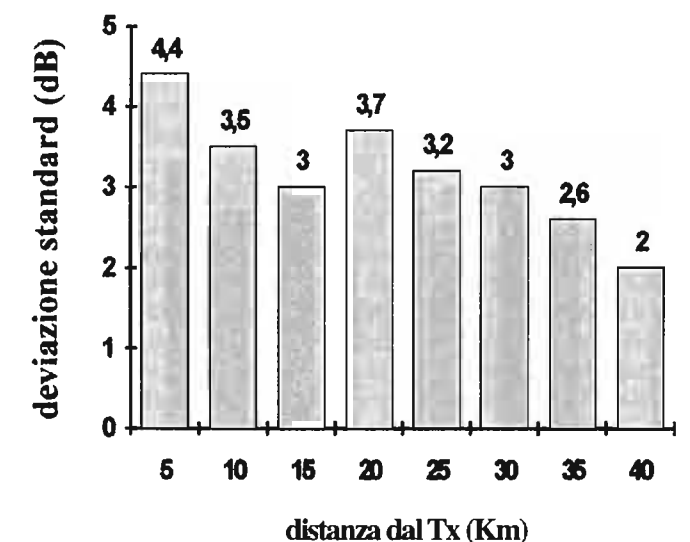


Fig. 10 — Deviazione standard dello slow+fast fading per fasce di distanze dal Tx.

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.

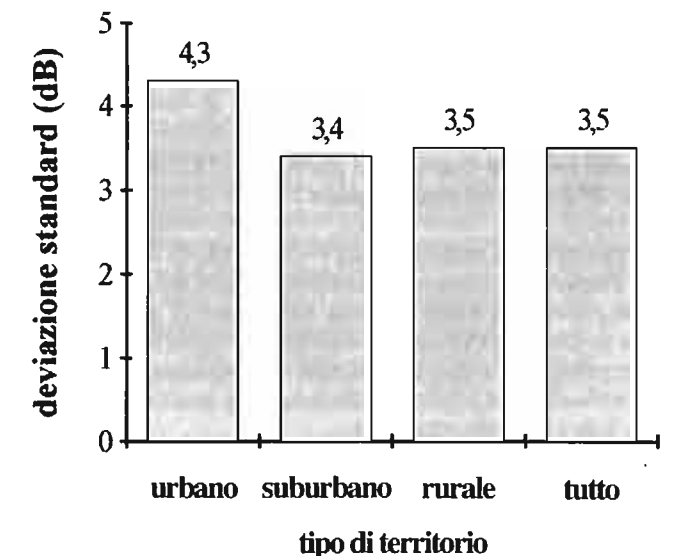


Fig. 11 — Deviazione standard dello slow+fast fading per tipo di territorio.

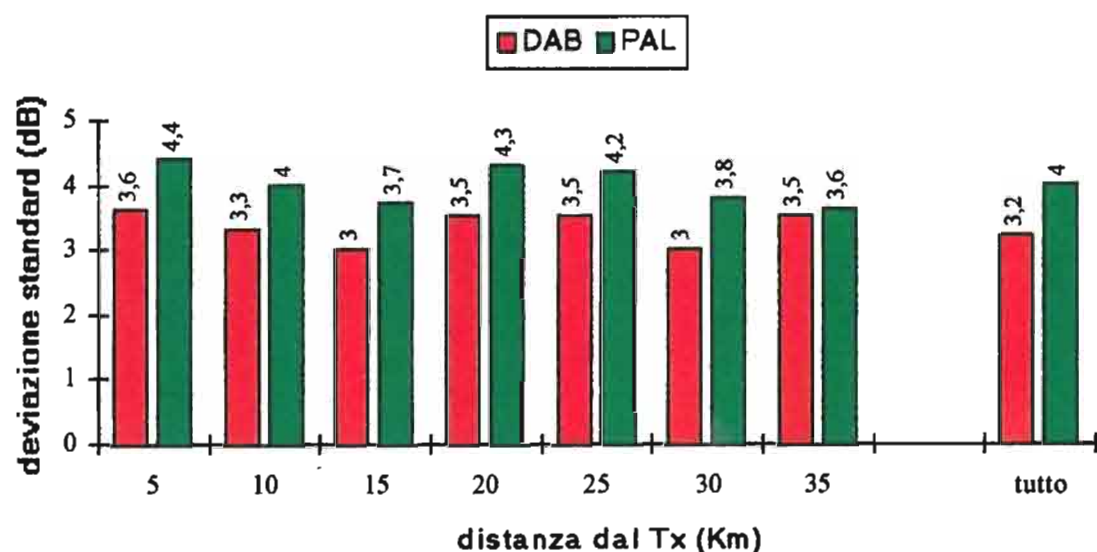


Fig. 12 — Deviazioni standard DAB e PAL dello slow+fast fading per classi di distanze.

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 considera 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 trasmettente 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 trasmettenti.

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

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

I risultati statistici di E_{prev} , 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 trasmettenti 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 trasmettente.

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 media 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 trasmettente (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.

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.



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

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 (Geografic 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.

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

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-

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 operativo 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.

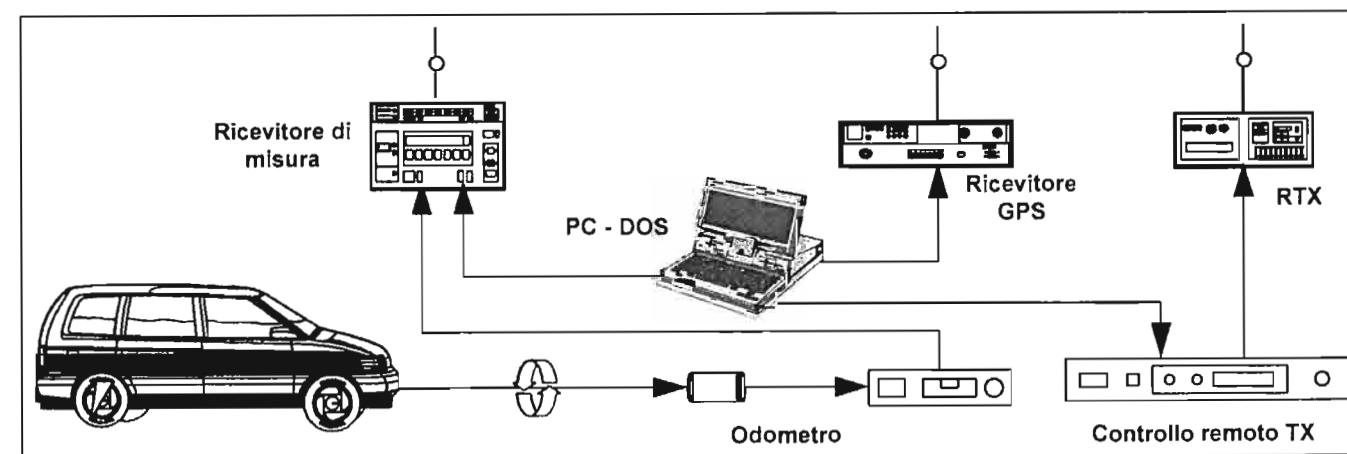
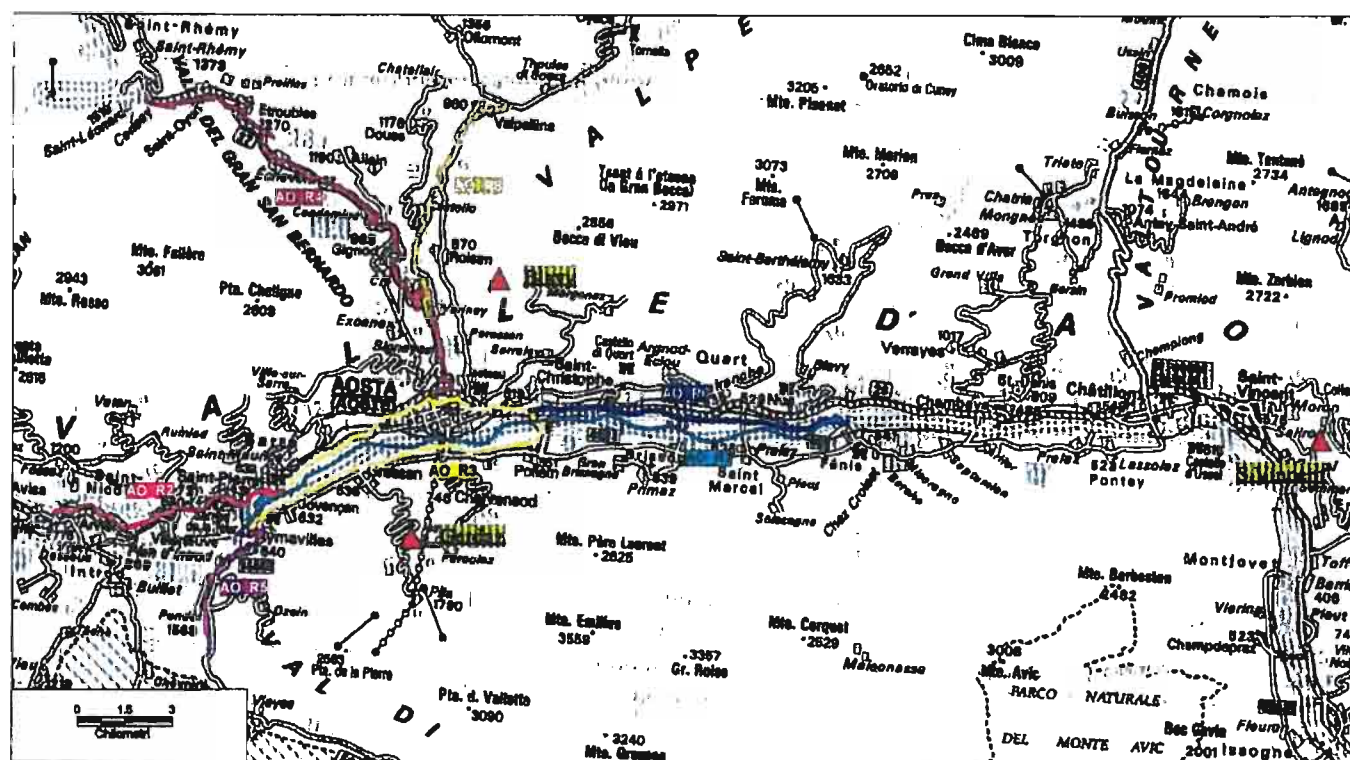




Fig. 2 — Fotografia dell'auto attrezzata per le misure.

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÷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

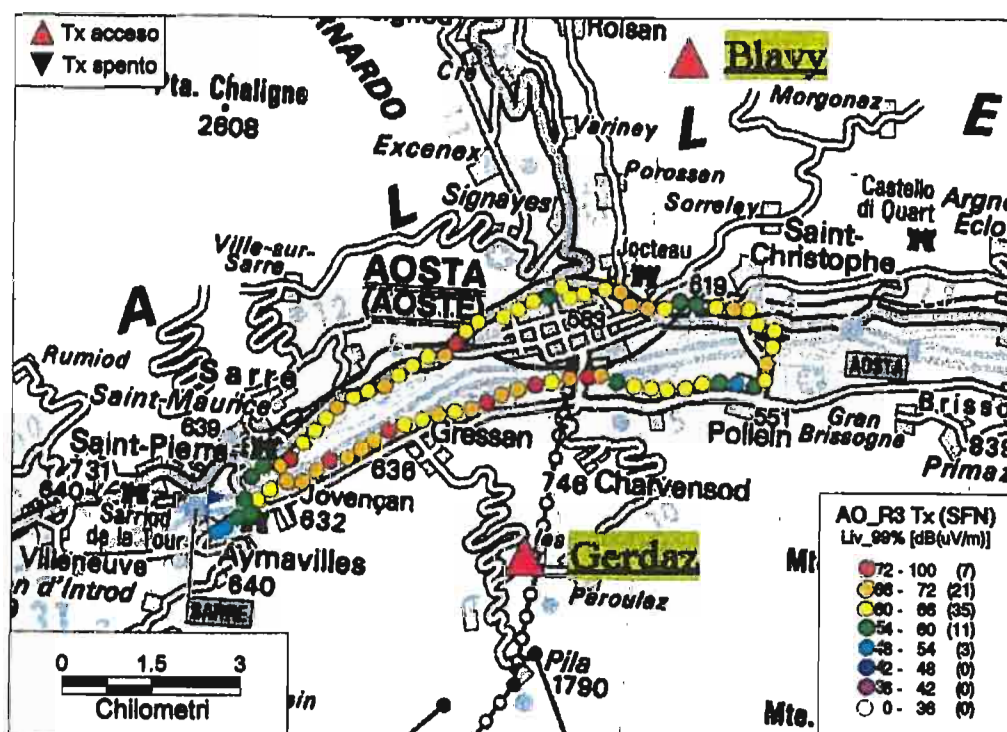


Fig. 4 — Valori di campo e.m. al 99% sul percorso AO_R3 per la rete SFN.

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-

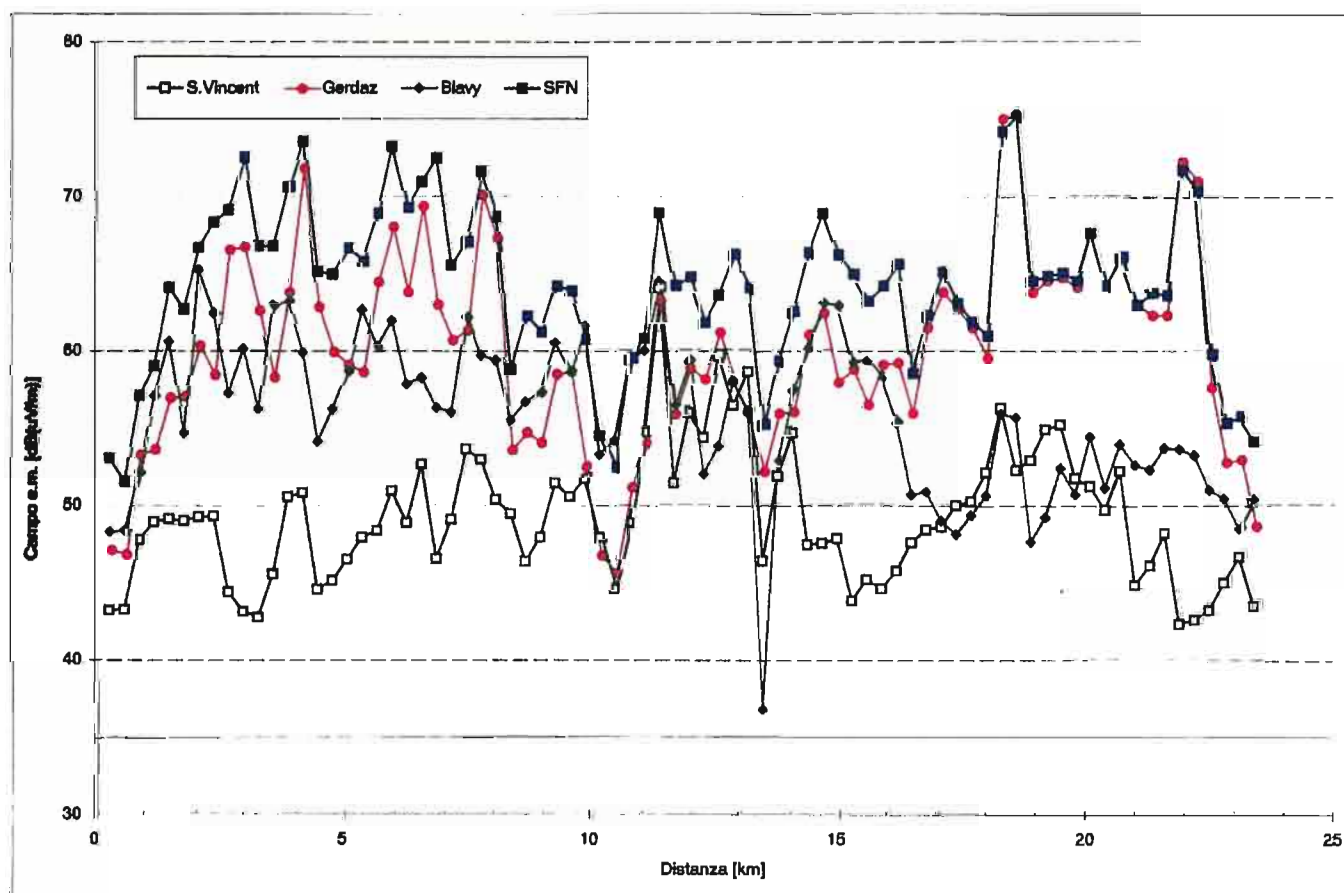


Fig. 5 — Valori di campo e.m. al 99% sul percorso AO_R3 per li singoli trasmettitori e per la rete SFN.

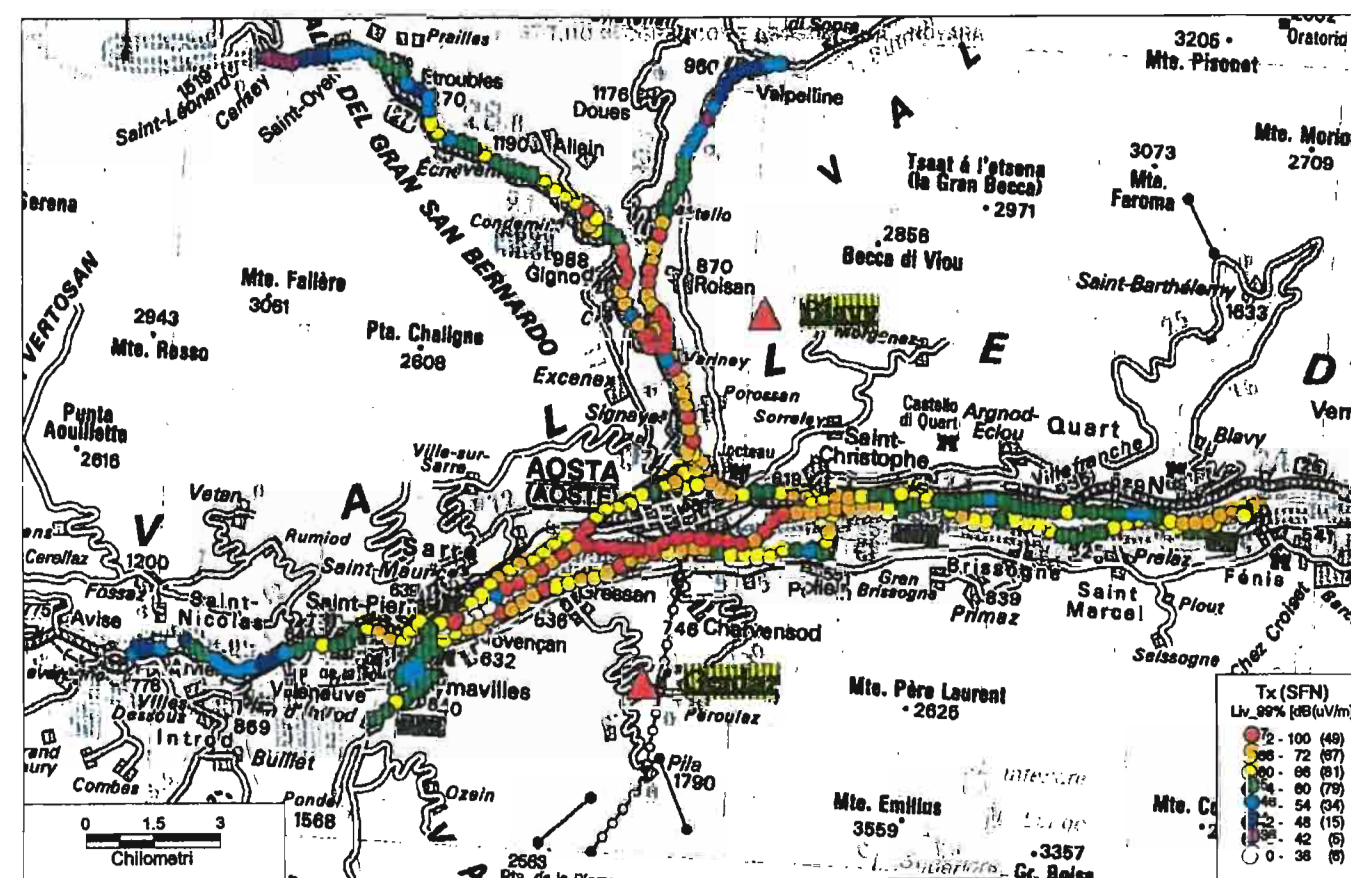


Fig. 6 — Valori di campo e.m. al 50% sulla rete SFN.

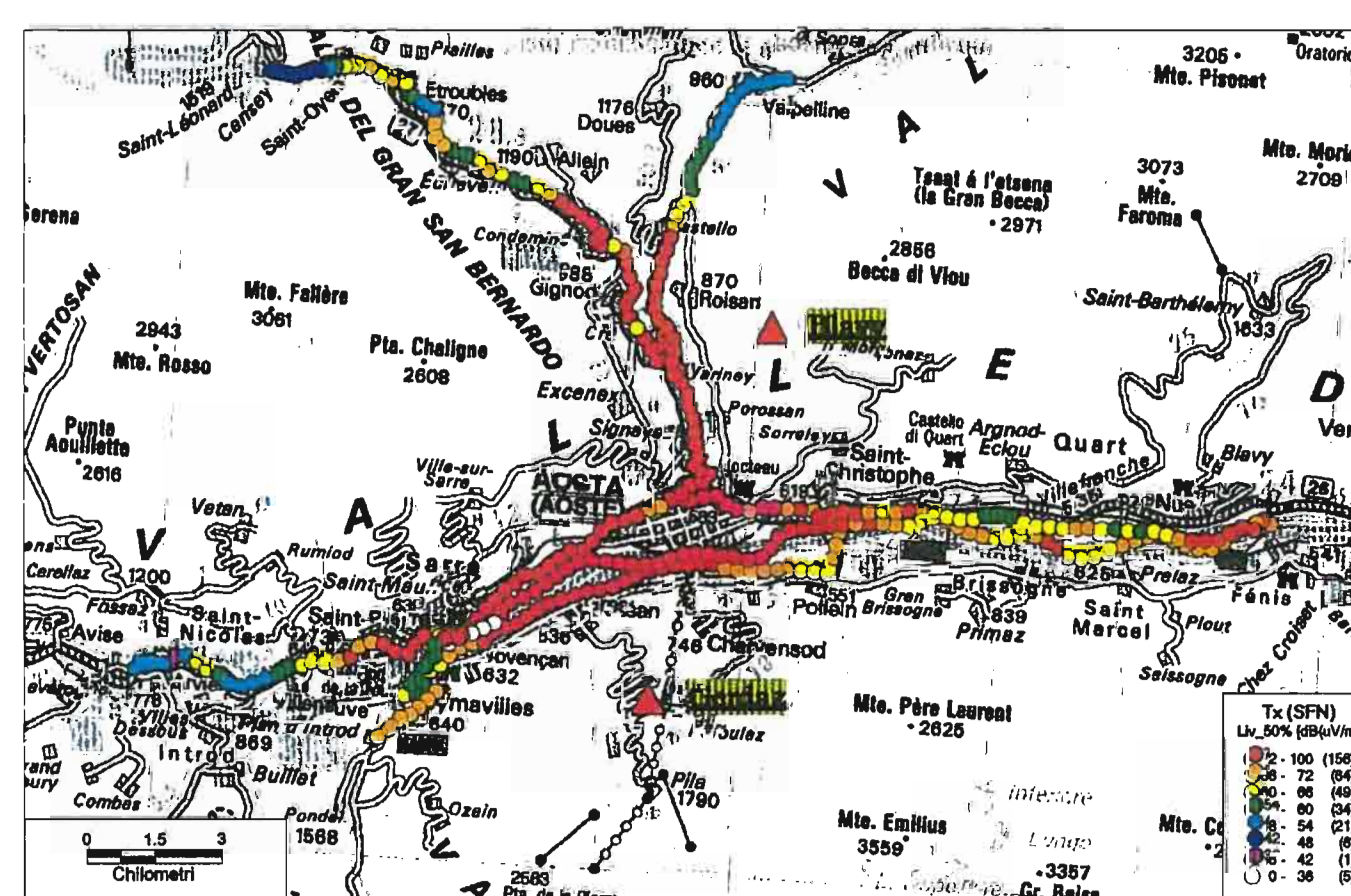


Fig. 7 — Valori di campo e.m. al 99% sulla rete SFN.

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(μ V/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(μ V/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(μ V/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

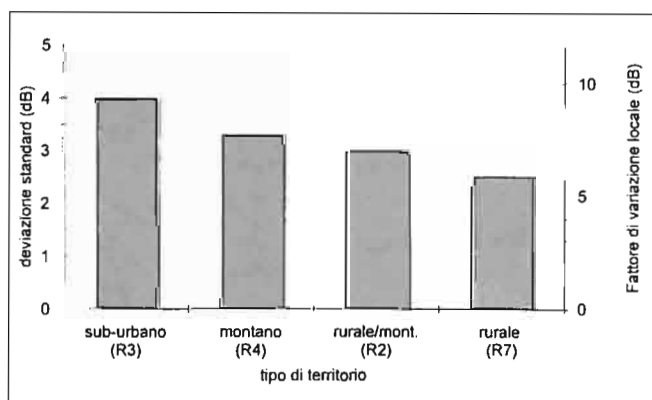


Fig. 8 — Deviazione standard e fattore di variazione locale del campo elettromagnetico in funzione del tipo di territorio (ricezione mobile).

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

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(μ V/m), invece di 48 dB(μ V/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 correlati (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 mediani 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.

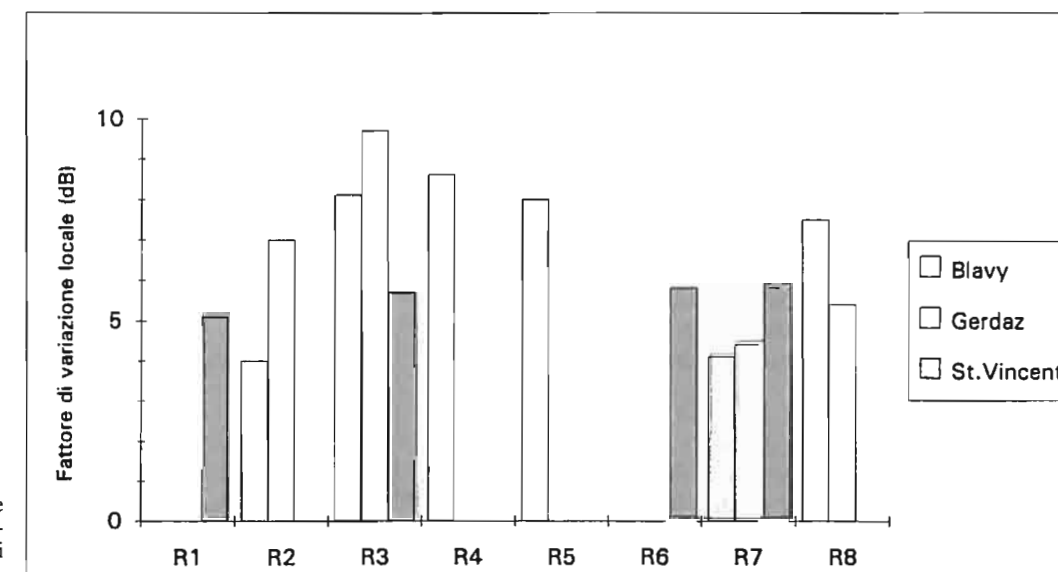


Fig. 9 — Fattore di variazione locale del campo elettromagnetico valutato sui diversi percorsi (ricezione mobile).

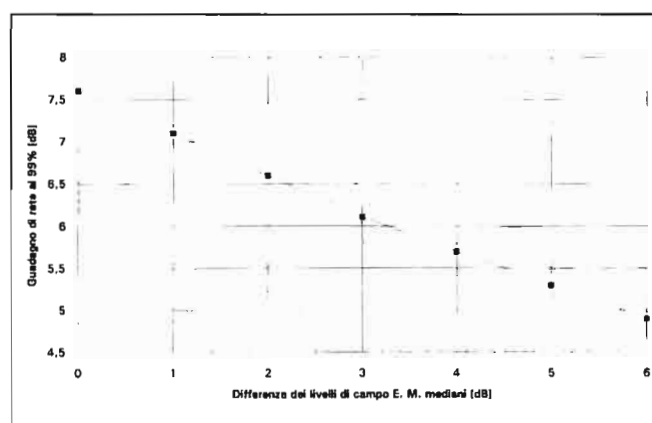


Fig. 10 — Guadagno di rete SFN teorico (due trasmettitori, distribuzione log-normale del campo, deviazione standard = 5,5 dB)

- 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 medi 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 medi 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 correlazione 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 ($35 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$) 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 medi 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.

EVOLUZIONE DELLA TECNOLOGIA DI RETE PER IL SERVIZIO DAB-T

S. RIPAMONTI*

SOMMARIO — Viene analizzata la possibile architettura della rete per il servizio audio digitale DAB-T considerando le differenti funzioni che si possono identificare come Fornitore di programmi (Content Provider), Gestore del servizio (Service Provider) e Gestore della rete (Network Operator). Il sistema DAB presenta infatti molteplici opzioni che consentono ampi gradi di libertà nella tipologia del servizio, per il quale si intravede una configurazione e gestione diversa da quella dei tradizionali sistemi analogici. Nell'analisi delle varie funzioni si fa specifico riferimento agli apparati mediante i quali possono essere implementate.

SUMMARY — *Network technology for T-DAB service.* The network architecture of the T-DAB system introduces new functions that are Content Provider, Service Provider and Network Operator. The DAB system offer many options, allowing freedom in the tipology of the service which is very flexible in terms of management and configuration possibility with respect to traditional analogue systems. The analysis of the new functions is referred to DAB equipment that implements the new features.

1. Introduzione

L'introduzione del servizio DAB-T su vasta scala si basa su nuovi concetti e nuove tecnologie nella produzione, nella distribuzione e nella diffusione del segnale. Infatti le caratteristiche del sistema consentono, a livello di produzione, di avere più fornitori di servizio, ciascuno dei quali in grado di generare programmi diversi. A livello di distribuzione si possono utilizzare mezzi differenti, quali ponti radio, satellite, rete integrata o fibre ottiche. Per quanto riguarda la diffusione si possono pensare configurazioni più o meno complesse dipendentemente dalla tipologia di rete (a singola frequenza SFN o impianti singoli), dal sistema di distribuzione utilizzato e dal tipo di servizio (nazionale o regionale).

Le molteplici opzioni del sistema offrono enormi gradi di libertà per la realizzazione del servizio, per il quale si intravede una configurazione e gestione assai diversa dallo "status quo" delle trasmissioni analogiche attuali a modulazione di frequenza.

A grandi linee, in un servizio radiofonico con il sistema DAB-T, è possibile individuare la funzione del fornitore del programma [Content Provider], quella del Gestore del servizio [Service Provider] e quella del Gestore della rete di trasmissione [Network Operator].

Sono possibili più Content Provider, situati in posti geografici differenti, che possono effettuare la sola produzione

di un programma radiofonico o anche provvedere alla codifica digitale del segnale audio secondo le specifiche di primo livello del sistema DAB-T (codifica MUSICAM); la funzione del Service Provider può considerarsi veramente la più innovativa del nuovo sistema, in quanto deriva necessariamente dalla compresenza di segnali originati da più fornitori di programmi, che vengono inseriti nel multiplex DAB su un unico blocco [Ensemble]. Ai segnali di programma vengono aggiunte informazioni aggiuntive per l'interfacciamento al sistema di distribuzione ed i riferimenti di sincronizzazione degli impianti di diffusione. La funzione del gestore della rete di trasmissione [Network Operator] è espressamente riferita alla distribuzione del segnale sulla rete di trasporto ed alla diffusione presso gli impianti trasmettenti.

Le varie funzioni sopra identificate sono concretizzate in apparati specificatamente sviluppati per il sistema DAB-T, con l'impiego di tecnologie innovative che presentano gradi diversi di flessibilità, complessità e costo. Si esaminano, perciò, più dettagliatamente le varie parti della catena trasmissiva DAB e gli apparati disponibili al momento, che consentono le maggiori potenzialità.

2. Architettura della rete DAB

In figura 1 è rappresentata schematicamente l'architettura più generale di una rete DAB, nelle tre funzioni principali di Content Provider, Service Provider, Network Operator, raffigurando il flusso di informazione completo dalla produzione del programma, alla gestione del servizio e alla diffusione.

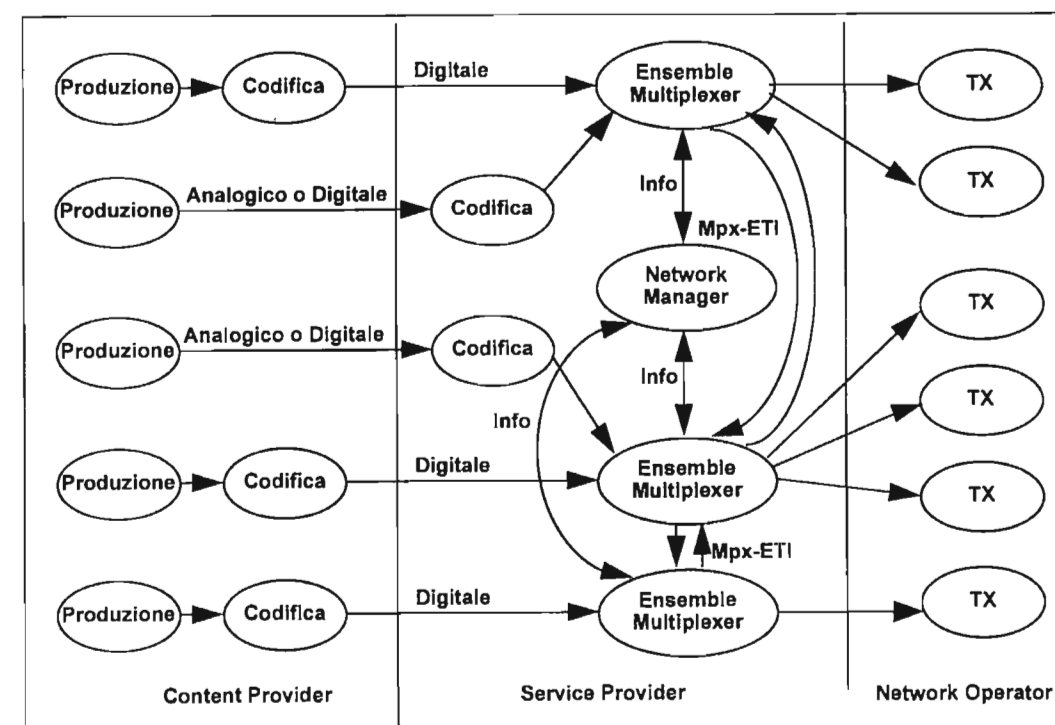


Fig. 1 — Rappresentazione schematica dell'architettura generale di una rete DAB, con la raffigurazione del flusso di informazione completo, dalla produzione del programma, alla gestione del servizio e alla diffusione.

Come si può notare dalla figura 1, la funzione del Content Provider a sua volta può essere ancora separata in due entità che si riferiscono alla produzione vera e propria del programma (in studio o in esterno), e alla preparazione del segnale per il trasporto (con codifica digitale e formattazione dei dati per il trasporto, oppure in formato analogico) verso il punto di moltiplicazione dei vari segnali. Questo punto è definito come «Ensemble Multiplexer» ed attiva le operazioni più importanti del sistema, quali la sincronizzazione di tutte le sorgenti e la generazione del multiplex DAB-T, senza applicare la codifica di canale.

L'esistenza di più Ensemble Multiplexer, derivanti da differenti Content Provider, postula l'esistenza del Service Provider. Questo effettua il coordinamento e la gestione degli scambi di informazione per pervenire alla forma definitiva del multiplex che viene inviata alla rete dei trasmettitori con l'aggiunta delle informazioni per i sincronismi di tempo e di frequenza.

Relativamente agli apparati DAB, si possono ugualmente distinguere tre livelli riguardanti il tipo di operazioni da compiere sul segnale, ossia la *codifica del segnale* in banda base audio; il *confezionamento del multiplex* comprensivo di adattamento alle forme varie di trasmissione; la *modulazione COFDM* e la *diffusione del segnale* in radiofrequenza. Oggi l'offerta tecnologica è ovviamente più varia negli apparati di radiofrequenza che richiedono solo aggiustamenti e perfezionamenti di apparati già in produzione, per adattarsi al segnale numerico, mentre per la parte tecnologicamente nuova, ovvero quella della trasmissione, generazione del multiplex e modulazione COFDM sono in sviluppo, presso alcune industrie europee, apparati conformi alla norma ETSI 300-401, che presentano diversi livelli di flessibilità operativa.

2.1 RETE DAB: CODIFICA E TRASPORTO AL PUNTO DI MoltiplicAZIONE

La figura 2 rappresenta in maggior dettaglio la parte della rete relativa alla generazione dei programmi e al trasporto del segnale al nodo centrale per la formazione del multiplex.

La funzione di Content Provider può essere configurata in duplice modo:

- 1) produzione del programma direttamente in studio (o in esterna) in forma analogica (primo schema in alto nella figura 2). In questo caso la trasmissione del segnale può avvenire, in forma analogica, attraverso un ponte radio tradizionale (rete di contributo) verso il punto di Ensemble Multiplex, ove poi verrà convertito in forma numerica e codificato (MUSICAM);
- 2) produzione del programma direttamente in studio (o in esterna) in forma digitale o analogica (con successiva codifica numerica), codifica del segnale direttamente eseguita dal Content Provider (secondo e terzo schema nella figura 2) e trasporto in forma numerica attraverso collegamento digitale (ponte radio, satellite, fibra ottica, ecc.).

Nel caso di produzione digitale l'opzione più conveniente (in termini di quantità di informazione da trasportare) è ovviamente quella di trasmettere all'Ensemble Multiplexer il segnale audio digitale codificato MUSICAM secondo lo standard DAB.

Per quanto riguarda gli apparati per la codifica è necessario osservare che, presso le industrie specializzate, sono reperibili codificatori MUSICAM prodotti come apparati indipendenti e quindi non «Embedded DAB»; questi possono essere utilizzati in unione a modulatori numerici pun-

* Ing. Silvio Ripamonti del Centro Ricerche RAI — Torino.
Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 28 Giugno 1996.

PREVISIONE DEL SERVIZIO SVOLTO DA UNA RETE DAB-T

G. CARERE, R. SERAFINI*

SOMMARIO — Il presente articolo illustra un algoritmo automatico per la previsione del servizio di una rete DAB-T sviluppato dalla Direzione Diffusione Trasmissione della RAI. Sono riportati in sintesi i criteri di pianificazione seguiti e i parametri assunti come riferimento. Sono riportati, in forma grafica, i risultati dell'applicazione dell'algoritmo suddetto alla simulazione della rete DAB-T in Valle d'Aosta.

SUMMARY — *Service Prevision of T-DAB Network.* An automatic algorithm for the T-DAB service prevision developed by RAI — Direzione Diffusione Trasmissione is presented. A brief introduction of the planning criteria for T-DAB digital system is given, with special reference to the location and time availability. The results of the simulation of the T-DAB Single Frequency Network in the Aosta Valley are reported in graphical form.

1. Introduzione

La Direzione Diffusione e Trasmissione della RAI ha sviluppato un algoritmo automatico per la previsione del servizio effettuato da una rete di trasmettitori DAB-T.

Tale previsione viene effettuata calcolando in ogni punto del territorio, attraverso l'uso di opportuni metodi di previsione di campo e.m., la probabilità congiunta che al ricevitore il campo utile sia superiore ad un valore di soglia (Ermin) e che le interferenze rispondano a determinate condizioni (Bibl. 1).

Tale algoritmo, implementato al calcolatore, risulta particolarmente utile nella analisi delle prestazioni offerte da una rete DAB (OFDM) in termini di resistenza alle interferenze e "capacità" di copertura (guadagno di rete).

Rappresenta quindi uno strumento indispensabile per la pianificazione di una rete DAB-T.

Viene presentata di seguito una breve descrizione dei principali criteri di pianificazione di una rete DAB (in banda III VHF) e dell'algoritmo di simulazione RAI. Viene anche presentato uno studio esemplificativo effettuato sulla rete sperimentale SFN DAB in Valle D'Aosta costituita dagli impianti di Aosta Gerdaz, Blavy, Saint Vincent e Col de Courtil.

2. Criteri di Pianificazione

Il servizio svolto da una rete digitale DAB-T presenta un comportamento diverso da quello delle tradizionali reti analogiche radiotelevisive.

Tale differenza deriva dal comportamento tipicamente a soglia del segnale digitale: mentre il servizio analogico presenta un graduale deterioramento della qualità al degradare delle condizioni di ricezione, il servizio digitale passa dalla qualità ottima, peraltro anche in presenza di forte multipath, alla totale assenza di ricezione.

Conseguentemente nel caso del DAB, un'area viene considerata servita se esistono le condizioni ottimali di servizio almeno nel 99% dei luoghi e per il 99% del tempo (per le reti analogiche è sufficiente il 50% dei luoghi per il 50% del tempo).

A questo va aggiunto che tale condizione deve essere verificata ad una altezza di circa 1,5 m dal suolo: il DAB è un sistema particolarmente studiato per garantire la ricezione di ottima qualità anche in automobile. Sono noti i problemi che invece incontra la radiofonia FM in condizioni di ricezione in movimento soprattutto in un ambiente fortemente caratterizzato da multipath (aree urbane).

Per comodità la pianificazione delle reti digitali viene effettuata utilizzando i metodi di previsione di campo e.m. sviluppati per il caso analogico introducendo degli opportuni fattori di correzione ai criteri di pianificazione (Bibl. 2).

2.1 DETERMINAZIONE DEI CRITERI DI PIANIFICAZIONE

Il campo e.m. ricevuto in un punto del territorio è una variabile statistica (Bibl. 3).

I metodi di previsione campo e.m. di cui oggi si dispone — sviluppati per i servizi analogici — danno tipicamente il livello che è superato almeno nel 50% dei luoghi nell'intorno del punto di previsione e per il 50% del tempo (valore atteso della distribuzione). Tale valore si indicherà di seguito con la notazione F(50,50).

Per quanto riguarda la sua variazione temporale è stato verificato che, per brevi distanze, le determinazioni al 50% e al 99% del tempo sono pressoché identiche.

Ciò non si può dire per la variazione spaziale che molti studi hanno mostrato essere ben rappresentata da una funzione di probabilità di tipo log-normale.

Sulla base della stima σ della deviazione standard, è possibile calcolare l'incremento del campo e.m. (ovvero l'aumento della potenza trasmessa) tale da garantire il raggiungimento dello stringente requisito di copertura statistica del 99% dei luoghi, a partire da una pianificazione basata sulla previsione F(50,50).

Per una σ di 5,5 dB (riferita alla variabile gaussiana che deriva dalla trasformazione logaritmica della variabile log-normale), tale incremento risulta pari a circa 13 dB.

Inoltre, poiché le previsioni F(50,50) stimano il campo a 10 m dal suolo (la pianificazione dei servizi analogici storicamente è stata basata sulla ricezione fissa con antenne sul tetto delle abitazioni), per garantire la ricezione a 1,5 metri è necessario introdurre un ulteriore fattore di correzione pari a circa 10 dB.

In conclusione si può quindi affermare che, essendo la soglia del ricevitore pari a circa 35 dB μ V/m, il campo utile minimo da tenere in conto nella pianificazione della rete — metodo F(50,50) — è pari a circa 58 dB μ V/m.

Ripetendo analogamente il ragionamento fatto anche per il rapporto di protezione dalle interferenze — che al ricevitore è pari a 10 dB per un'interferenza DAB isofrequenza — allo scopo di proteggere il segnale utile per il 99% dei luoghi contro le interferenze di un altro trasmettitore DAB, si deduce che è necessario aumentare la protezione di circa di 18 dB. Da cui deriva che il rapporto di protezione da tenere in conto nella pianificazione della rete — metodo F(50,50) — è pari a circa 28 dB.

3. Previsione del Servizio

Nel caso delle reti DAB SFN (Single Frequency Network), le interferenze provenienti da trasmettitori della stessa rete che giungano con un ritardo temporale, rispetto al segnale utile o principale, non superiore ad un certo valore t , vanno ad incrementare il rapporto S/N (effetto costruttivo delle interferenze) (Bibl. 4).

Definendo allora *probabilità di copertura* P_c (funzione dello spazio e del tempo) come la probabilità congiunta che si verifichino le seguenti condizioni:

1. che il *campo utile totale medio* (valore atteso della somma statistica del campo principale e di tutte le interferenze costruttive) sia almeno pari a 58 dB(μ V/m).
2. che l'*interferenza totale media* (valore atteso della somma statistica di tutte le interferenze distruttive) sia al disotto almeno di 28 dB rispetto al campo utile totale

si può infine affermare che in area di servizio DAB-T è necessario garantire che la probabilità di copertura P_c sia pari almeno al 99% dello spazio e 99% del tempo.

La probabilità di copertura P_c può essere valutata in maniera molto precisa solo attraverso un'integrazione numerica. Tale metodo però richiede un eccessivo tempo di calcolo.

Un'alternativa valida è quella di utilizzare dei metodi semplificati che consentano di raggiungere rapidamente il risultato con sufficiente approssimazione. Il programma implementato al calcolatore che la RAI utilizza in pianificazione, il cui algoritmo è di seguito descritto sinteticamente, segue proprio questo approccio.

3.1 L'ALGORITMO DI PREVISIONE RAI

Il programma (vedi figura 1) calcola in ognuno dei punti scelti sul territorio (nel caso della Valle D'Aosta tali punti sono situati su di un reticolo regolare con passo pari a circa 2500 metri), sia il campo ricevuto (usando il modello numerico del territorio) che il tempo di arrivo per ogni trasmettitore della rete.

Ipotizzando che tutti i trasmettitori siano sincronizzati nel tempo, viene stimato il baricentro temporale dei segnali ricevuti: ciò simula il comportamento del ricevitore che tende a massimizzare l'energia utile.

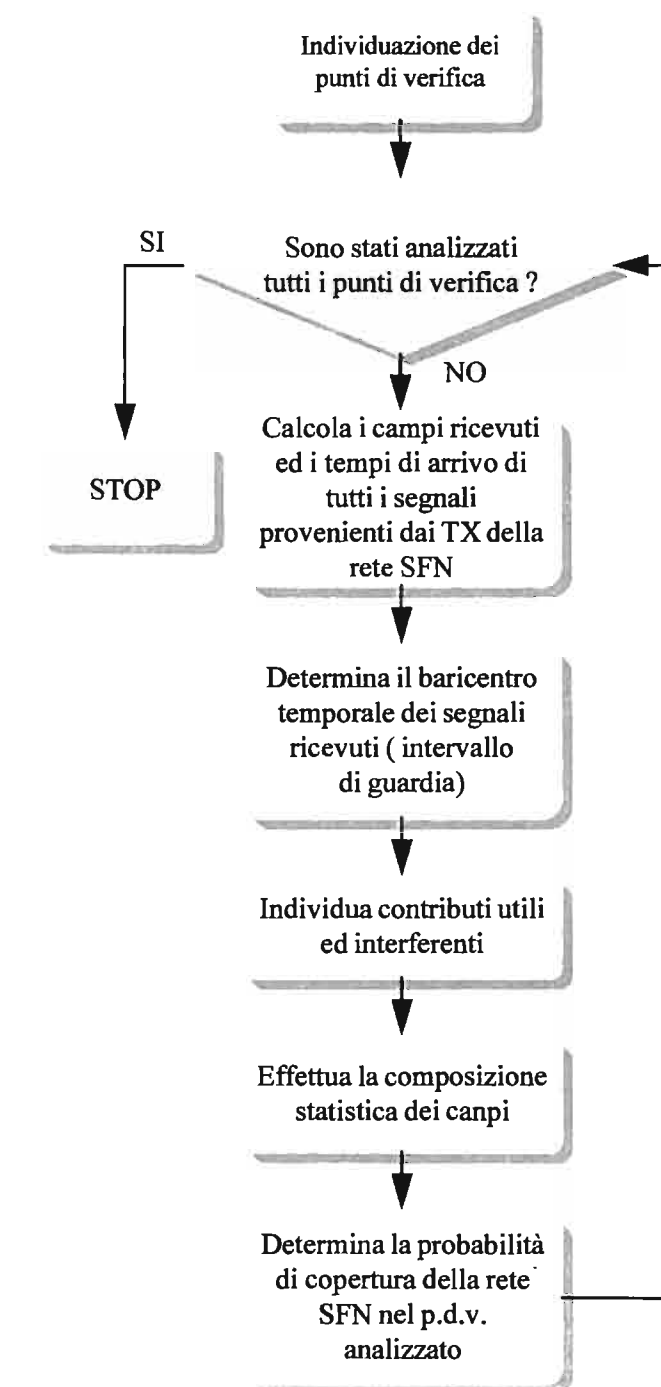


Fig. 1 Diagramma di flusso dell'algoritmo di previsione della copertura.

* Ingg. Giuseppe Carere e Roberto Serafini della RAI — Direzione Diffusione e Trasmissione / Reti di Diffusione — Roma.
Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 13 Novembre 1996.

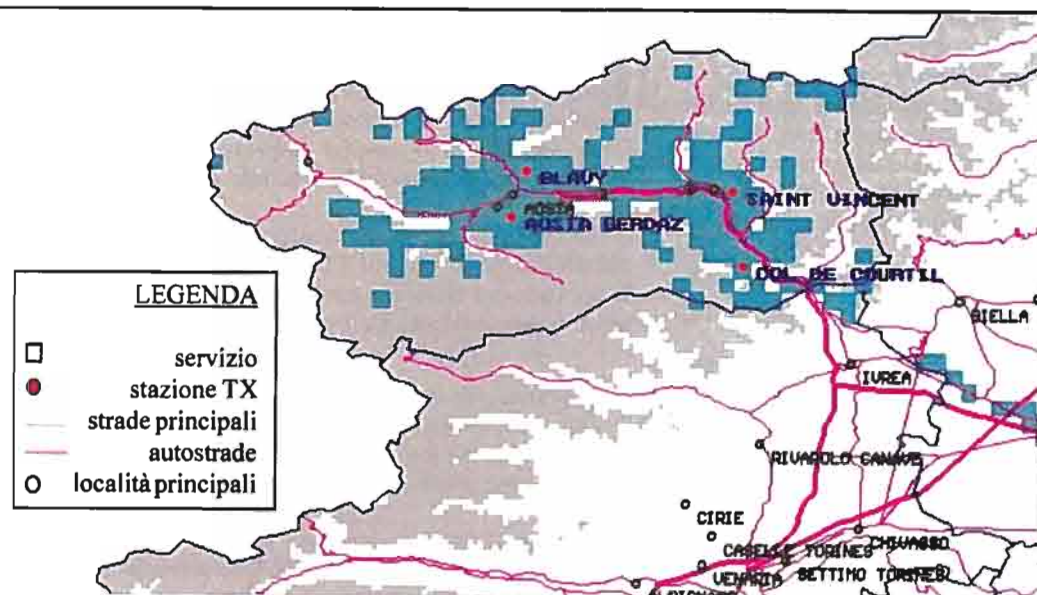


Fig. 2 — Servizio svolto dalla rete DAB-T RAI in Valle d'Aosta.

In questo modo infatti viene fissato l'inizio della finestra temporale (intervallo di guardia) entro la quale il ricevitore compone costruttivamente tutti i segnali ricevuti.

La descrizione statistica del campo utile e della interferenza totale, viene effettuata utilizzando la semplificazione detta K-LMN del metodo di Montecarlo: la distribuzione della somma di due variabili log-normali (diversa dalla log-normale) è approssimata con una nuova distribuzione log-normale con valore medio e deviazione standard identici a quelli della vera distribuzione somma.

La nuova distribuzione somma (log-normale), nel caso di dover comporre più variabili statistiche, è combinata con una terza distribuzione log-normale e così di seguito, fino alla costruzione della distribuzione finale.

Per quanto attiene alla stima della probabilità di copertura P_c , la probabilità congiunta di cui al paragrafo 3, viene stimata per semplicità come prodotto di probabilità ovvero

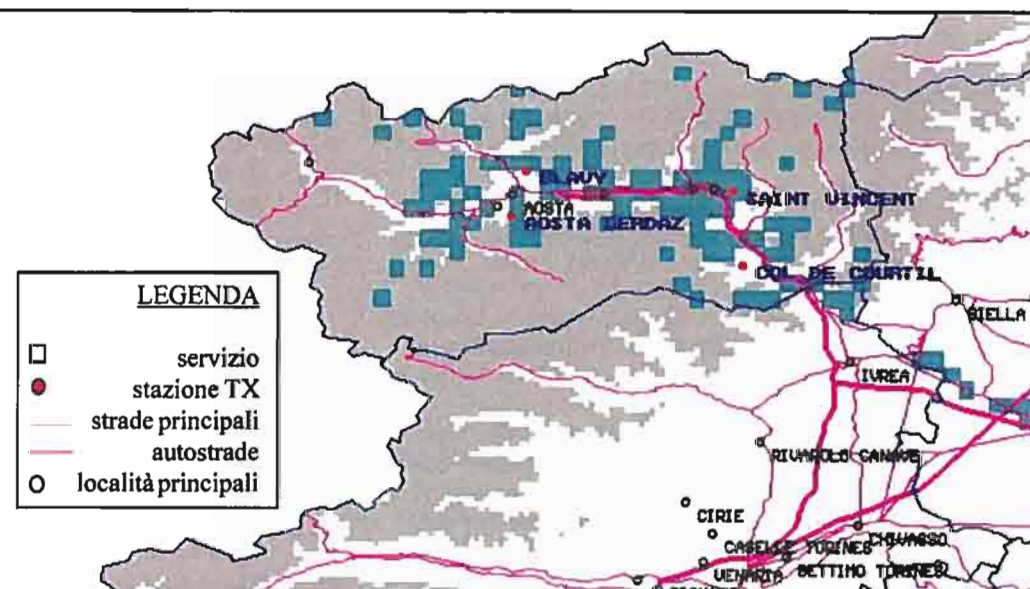
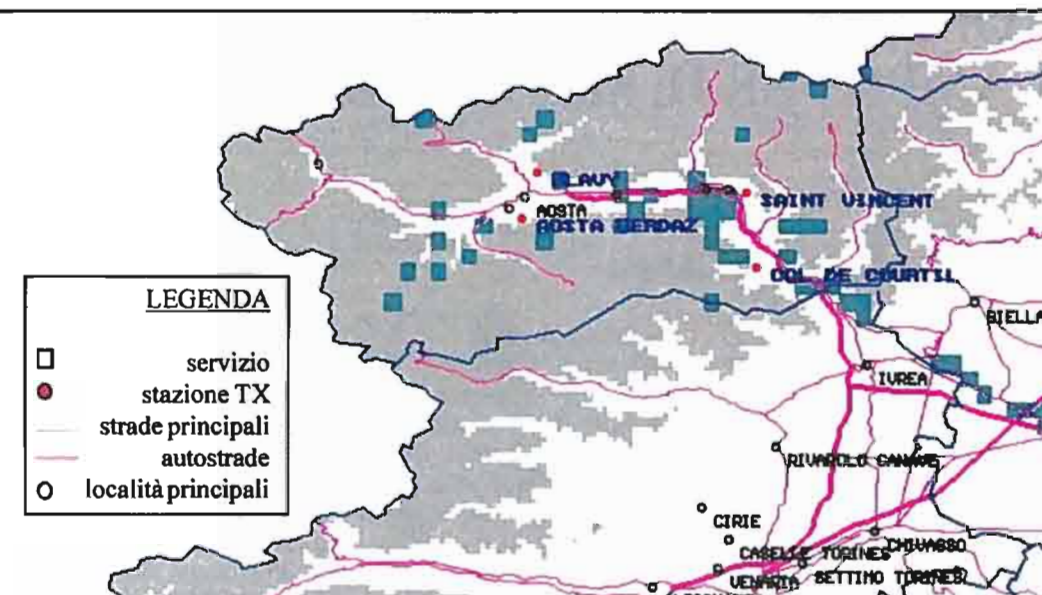
ipotizzando la indipendenza statistica delle variabili coinvolte.

4. Servizio DAB in Valle d'Aosta

I risultati della simulazione per la rete sperimentale RAI in Valle d'Aosta operante sul canale H2 della banda III VHF, sono riportati nelle figure 2, 3 e 4.

In figura 2 è riportata l'area di servizio (probabilità di copertura P_c non inferiore al 99%). I parametri di pianificazione utilizzati sono:

Deviazione standard dei campi ricevuti (σ)	= 5.5 dB
Soglia del ricevitore (E_{min})	= 35 dB μ V/m
Rapporto di protezione al ricevitore (PR)	= 15 dB
Intervallo di guardia (T_g)	= 246 μ s
Tempo di simbolo (T_s)	= 1000 μ s

Fig. 3 — Servizio svolto dalla rete DAB-T in Valle d'Aosta. $T_g=0$ PR=15.Fig. 4. — Mappa del Servizio per la rete DAB-T in Valle d'Aosta. $T_g=0$ PR=45.

In figura 3 è riportata la previsione del servizio ponendo in questo caso $T_g=0$.

Dal confronto con la figura 2 si evidenzia il grande vantaggio detto, guadagno di rete, offerto dal nuovo sistema radiofonico digitale in termini di "capacità" di servizio.

In figura 4, è riportata la stima del servizio ottenuta ponendo $T_g=0$ e PR=45 dB (come per una rete FM): in queste condizioni non è possibile realizzare una rete SFN.

5. Conclusioni

La RAI, in previsione della realizzazione di una Rete per l'effettuazione del servizio DAB-T su tutto il territorio nazionale, ha messo a punto un algoritmo al calcolatore per la previsione della probabilità di copertura.

Tale strumento è di grande ausilio nella pianificazione della rete.

Sulla base dei significativi risultati della sperimentazione in Valle d'Aosta, è in corso il miglioramento dei metodi di previsione di campo e.m. allo scopo di renderli più idonei alla previsione del servizio digitale.

Inoltre, al fine di rendere il programma maggiormente utilizzabile anche in fase di sintesi, sono allo studio possibili metodi per la ottimizzazione dell'uso delle risorse (siti, potenze, offset temporali) basati sulla teoria della Ricerca Operativa.

BIBLIOGRAFIA

1. - *Technical Bases for T-DAB services network planning and compatibility with existing broadcasting services*, Rapporto EBU PBN 003.
2. - R. BRUGGER: *Treatment of the sum of the field strengths in coverage calculations for digital services*, Institut für Rundfunktechnik GmbH.
3. - *Final Acts of CEPT T-DAB planning meeting*, Wiesbaden 1995.
4. - N. TUVÉ: *Diffusione di segnali televisivi numerici su canali terrestri isofrequenziali - Analisi della disponibilità del servizio*, Tesi di laurea Politecnico di Torino, sviluppata presso il Centro Ricerche RAI.

METODI AVANZATI DI PREDIZIONE DI CAMPO PER IL SISTEMA DAB-T

P. FORNI*

SOMMARIO — Sono esposti i concetti di base dei metodi predittivi di campo e.m., allo studio presso il Centro Ricerche RAI, per i sistemi numerici, che operano su rete isofrequenziale (SFN: Single Frequency Network). Tali metodi sono basati su tecniche di ray-tracing e sulla applicazione della teoria geometrica della diffrazione (GTD = Geometrical Theory of Diffraction) per tener conto anche del contributo dei cammini multipli e superare i limiti dei metodi attualmente in uso per i sistemi analogici. È descritto un ambiente informatico integrato che consente di simulare il comportamento di reti di singola frequenza e di rappresentare i risultati di simulazione su di una base georiferita mediante l'impiego di un sistema informativo geografico. L'ambiente è stato specificatamente studiato per facilitare lo sviluppo di modelli predittivi di campo elettromagnetico atti alla simulazione di reti con modulazione numerica. L'architettura adottata consente sia di utilizzare modelli predittivi preesistenti, sia di svilupparne altri via via più precisi. È altresì previsto di analizzare e rappresentare nel dettaglio le modalità di propagazione direttamente sul territorio, al fine di consentire la messa a punto dei modelli predittivi stessi. Viene presentata una simulazione della rete isofrequenza DAB della Valle d'Aosta con rappresentazione grafica della copertura mediante curve isolivello su cartografia digitalizzata.

SUMMARY — *Advanced field strength prediction methods for T-DAB system.* The basic concepts of electromagnetic prediction methods, currently studied at RAI Research Centre, suitable for being used in simulation of digital systems working in SFN (SFN: Single Frequency Network) are presented. These methods rely on ray-tracing techniques and GTD (GTD = Geometrical Theory of Diffraction) allowing to also consider multipath and overcoming limitations typical of analogue system prediction methods. Here an integrated informatic environment is described. The environment allows for the simulation of SFN and the representation of simulation results in a georeferenced basis by means of a GIS (GIS = Geographic Informative System). The environment was purposely designed in order to ease the development of electromagnetic field prediction models suitable for the performance analysis of digital modulation networks. The software architecture allows the use of existing prediction procedures and the development of more and precise ones. The capability to analyze and represent in details propagation phenomena on the territory allows the debugging of prediction procedures.

1. Introduzione

Il crescente interesse per le reti di radiodiffusione a singola frequenza impieganti modulazioni numeriche, richiede la disponibilità di strumenti adeguati a studiarne il comportamento in condizioni operative e determinare le aree di copertura del servizio effettuato è necessario disporre di modelli predittivi di campo elettromagnetico e.m. adeguati alle caratteristiche del nuovo sistema digitale e di metodologie rappresentative basate sull'impiego di cartografie informatiche che rendano immediata ed evidente la valutazione tenendo conto della orografia del territorio. Tali metodi devono considerare i contributi al campo e.m. ricevuto provenienti da cammini multipli e soggetti a ritardi differenti e fornire per ogni tratto sul territorio la distribuzione in ampiezza e ritardo dei vari contributi. I metodi esistenti attualmente in uso per i sistemi analogici hanno grossi limiti di valida applicazione per i sistemi numerici.

Presso diverse organizzazioni (ITU, UER) sono allo studio metodi predittivi avanzati basati sull'impiego di accurati modelli digitali del terreno (DTM) con sviluppo di adeguati modelli rappresentativi delle diverse fenomenologie della propagazione, anche mediante l'impiego della teoria geometrica della diffrazione (GTD: Geometrical Theory of Diffraction) e di tecniche di ray-tracing.

In tale contesto il Centro Ricerche RAI ha avviato lo studio di metodi predittivi evoluti, adeguati ai sistemi di radiodiffusione digitale che operano in reti isofrequenziali, con trasmettitori sintonizzati sulla stessa frequenza, che consentono elevati risparmi di risorse spettrali.

Lo studio, pur avendo carattere generale è diretto al momento al sistema per la radiofonia digitale DAB-T, nella applicazione del servizio preoperativo sulla rete isofrequenziale della Valle d'Aosta (Bibl. 1).

Per valutare le prestazioni delle reti SFN e contemporaneamente consentire lo sviluppo di procedure predittive adeguate, è stata riconosciuta la necessità di disporre di uno strumento in grado di rendere evidente il confronto di risultati di predizione e dati misurati, tenendo conto della orografia del territorio e delle diverse modalità propagative.

È stato pertanto avviato lo sviluppo di un complesso ambiente software basato su di un GIS (Bibl. 2), che integra diverse metodologie predittive con modelli digitali del

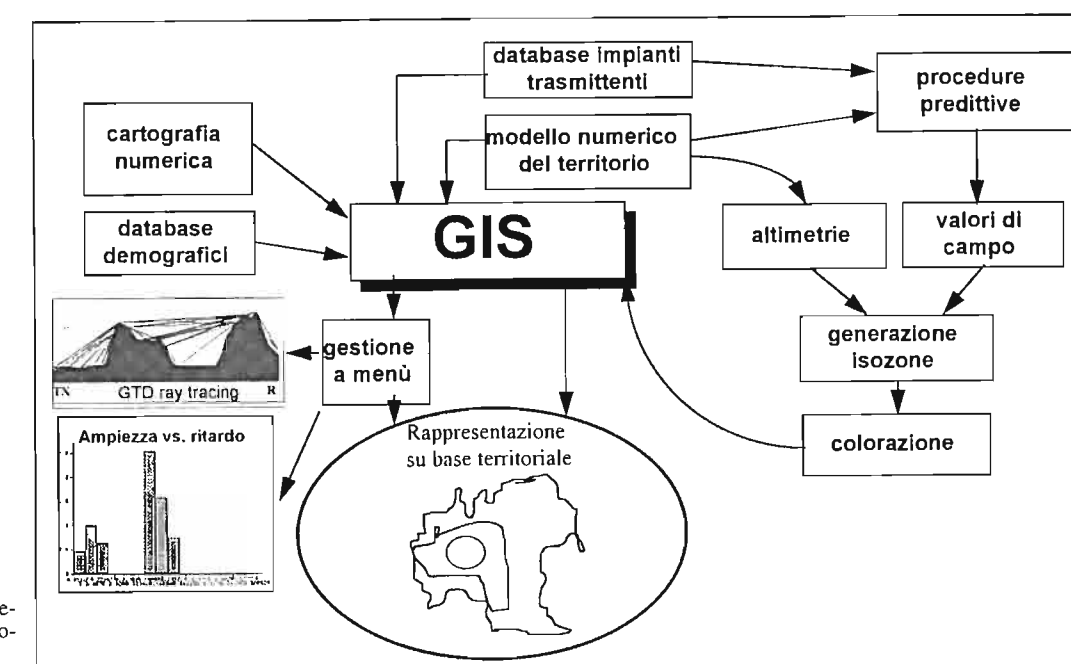


Fig. 1 — Ambiente GIS integrato per la predizione di coperture di reti SFN.

terreno DTM, procedure di simulazione dei diagrammi d'antenna, database demografici (vedi figura 1). Più specificatamente saranno presi in esame ed integrati nel GIS:

- metodi predittivi attualmente in uso per i sistemi analogici radiotelevisivi (Racc.370-5 ITU-R) introducendo opportuni fattori di correzione e sviluppando, in prospettiva, metodi più adeguati ai sistemi numerici;
- modelli numerici del territorio Digital Terrain Model (DTM), con risoluzione di poche decine di metri al fine di tenere in conto le differenze nella orografia;
- modelli dei sistemi radianti, località e caratteristiche degli impianti trasmettenti;
- basi dati geografiche-demografiche.

Il collegamento delle predette procedure nell'ambiente software GIS, che opera la gestione d'informazioni georiferite, consente di rappresentare le previsioni calcolate su cartine digitalizzate mediante scale colorimetriche dell'intensità di campo.

Il sistema attualmente utilizzato è il GIS (MAPINFO) con riferimento specifico al territorio della Valle d'Aosta ed alla integrazione di metodi predittivi esistenti allo scopo di avere una prima immediata indicazione, sia pure approssimativa, della copertura dei quattro impianti della rete sperimentale SFN DAB.

Come esempio di applicazione sono riportate le previsioni di copertura dei quattro impianti di St. Vincent, Gerdaz, Blavy e Col de Courtil con le caratteristiche (sistema radiante, potenza apparati, ecc.) definite per il servizio sperimentale DAB-T. È stato inoltre previsto l'interfacciamento delle procedure predittive evolute in corso di sviluppo.

2. Generalità sui metodi predittivi

La predizione dell'intensità di campo elettromagnetico ricevuto da una postazione situata ad una certa distanza da

un centro trasmettente, può avvenire mediante l'impiego di metodi diversi, basati su tecniche deterministiche e/o probabilistiche, la cui complessità di implementazione è essenzialmente legata al grado di precisione richiesto.

Si può partire da una semplice ipotesi di propagazione in spazio libero, per passare a modelli che tengano in conto il profilo del territorio e siano in grado di determinare le attenuazioni aggiuntive dovute alla presenza di ostacoli lungo il collegamento, ostacoli che possono o meno intercettare la congiungente trasmettitore — ricevitore.

L'indubbio vantaggio dei metodi che operano sulla base della descrizione statistica delle irregolarità del terreno (Es. Racc. 370-5 ITU-R) è costituita dai ridotti tempi di calcolo richiesti; d'altra parte le predizioni che comunque ne conseguono possono discostarsi non poco dalla situazione reale. Si ricorda che nel caso in cui si desideri effettuare predizioni di campo in area su sistemi influenzati da percorsi multipli (multipath), oltre ai dati sull'attenuazione, è necessario avere una predizione sul ritardo introdotto. Questo tipo di informazione molto importante per la pianificazione DAB-T, è difficile da ottenere e da tempo sono allo studio metodi specifici per il multipath, che attraverso l'integrazione di tecniche deterministiche e probabilistiche, forniscano informazioni adeguate al problema posto.

La necessità di ricorrere a tecniche di tipo misto è giustificata dall'estrema diversità di superfici territoriali da descrivere; laddove è noto il profilo del territorio, e possibilmente anche la copertura del terreno (alberi, ecc.) è consigliabile l'impiego di metodi deterministici, mentre qualora si operi su terreno edificato, semi edificato o su foreste il metodo probabilistico è favorito. Occorre comunque porre qualche cautela: infatti l'applicabilità delle PDF (funzioni di densità di probabilità) più usate p.e. Rayleigh, Normal, Log-Normal, Nakagami è fortemente dipendente dalle caratteristiche del terreno.

In tabella 1 sono riassunti i vari tipi di tecniche predittive impiegabili.

* Ing. Paolo Forni del Centro Ricerche RAI — Torino.
Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 28 Giugno 1996.

TABELLA I
QUADRO RIASSUNTIVO DEI VARI METODI PER PREDIZIONE DI CAMPO
IN VHF ED UHF

	1	Collegamento in vista: sola attenuazione spaziale ed eventualmente attenuazione troposferica
	2	Metodi predittivi operanti sulla base della descrizione statistica del terreno
	3	Metodi predittivi di tipo deterministico con uso di teoria geometrica della diffrazione da ostacoli supposti a lama di coltello
	4	Metodi predittivi di tipo deterministico con uso di teoria geometrica della diffrazione da ostacoli a lama di coltello oppure a sezione non acuta
	5	I metodi 3 e 4 con descrizione anche solo parziale del tipo di terreno
	6	Metodi 3D adatti alla predizione di multipath su terreno irregolare, in presenza di riflessioni multiple, possono anche tenere conto di distribuzioni probabilistiche per caratterizzare particolari tipi di terreno

2.1 MODERNE TECNICHE DI PREVISIONE

Da qualche anno presso varie amministrazioni, laboratori ed industrie private sono in fase di studio sofisticati metodi numerici per la predizione del campo elettromagnetico nella propagazione su terreno irregolare.

A titolo di esempio si può citare il metodo GEC Marconi Research Centre che si basa su di un modello territoriale con risoluzione di 0.5 Km e modellizzazione di tipo misto GTD-probabilistico mediante le distribuzioni suggerite in ambito CCIR, attualmente in fase di revisione e di trasferimento su database più dettagliati. Il laboratorio tedesco della IRT dispone invece di mappe su computer con dettagli dell'ordine di 100 m ove applica due metodi: un Deygout modificato ed un metodo proprietario punto-punto. Su un database di analoga risoluzione la società radiotelevisiva Südwestfunk di Baden-Baden (SWF) in collaborazione con l'Institut für Höchstfrequenztechnik dell'Università di Karlsruhe, ha realizzato un metodo predittivo molto completo del tipo 3D misto, specifico per la propagazione a cammini multipli.

Lo studio condotto presso il Centro Ricerche RAI è rivolto ad un modello bidimensionale di propagazione terrestre, di tipo (5) in tabella I, basato su di una modellizzazione di tipo elettromagnetico.

Il modello che è in grado di trattare il problema del multipath in ambienti orograficamente complessi prevede una successiva estensione al caso 3D, rappresentato dalla classe (6) di tabella I.

Il modello basato su ray-tracing e sulla successiva applicazione della teoria uniforme della diffrazione ad oggetti diffrangenti conduttori e dielettrici di cui siano note proprietà elettriche quali la permeabilità e la conducibilità, inizialmente sviluppato come risulta dal testo indicato in bibliografia 3, è stato successivamente rivisto ed esteso alla luce delle esigenze specifiche. Risulta pertanto adeguato a

trattare il problema della propagazione su terreno descritto numericamente ed è in grado di operare direttamente sulla polarizzazione, perché di tipo deterministico.

L'approssimazione che ne deriva dipende dal dettaglio di definizione del territorio e dalla validità delle approssimazioni assunte nell'applicazione della teoria elettromagnetica.

Come ben noto, la presenza di oggetti opachi alla radiazione elettromagnetica tra le due estremità di un collegamento radio può provocare vari fenomeni: le due antenne trasmittente e ricevente possono essere o meno in vista, vi possono essere raggi riflessi lungo il percorso, ma soprattutto vi possono essere situazioni in cui pur non risultando in vista le due antenne, vi è propagazione per diffrazione.

Può inoltre succedere più in generale che in una tratta di collegamento (figura 2) vi sia la presenza contemporanea di:

- raggio diretto
- raggi riflessi
- raggi diffratti
- raggi riflessi e successivamente diffratti

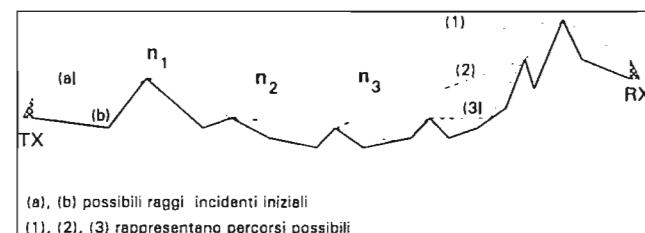


Fig. 2 — Rappresentazione grafica di una tratta di collegamento con la presenza contemporanea di raggio diretto, raggi riflessi, raggi diffratti, raggi riflessi e successivamente diffratti.

La presenza contemporanea di più raggi su di un percorso comporta la descrizione di cammini di diversa lunghezza da parte di uno stesso segnale: al ricevitore giunge pertanto una sequenza di segnali di differente ampiezza e con ritardo variabile. La modulazione multiportante COFDM adottata nel DAB-T consente di operare efficacemente in condizione di propagazione affetta da cammini multipli, a condizione che i ritardi delle varie componenti siano contenuti all'interno dell'intervallo di guardia ($\tau_g = 256 \mu s$).

Il modello bidimensionale (caso 5 di tabella I), in fase di sviluppo, considera la propagazione di onde elettromagnetiche lungo un piano verticale Tx-Rx definito dalla sezione verticale risultante dal percorso tra le posizioni del trasmettitore e del ricevitore.

Con riferimento alla figura 3 in cui sono indicati possibili percorsi alternativi del segnale in planimetria, viene qui considerato il solo collegamento bidimensionale evidenziato. I collegamenti al di fuori della congiungente i due punti trasmettitore e ricevente possono tuttavia essere trattati analogamente al percorso bidimensionale, pur di impiegare più complesse tecniche di ray-tracing e valutando opportunamente i termini di diffrazione (caso 6 di tabel-

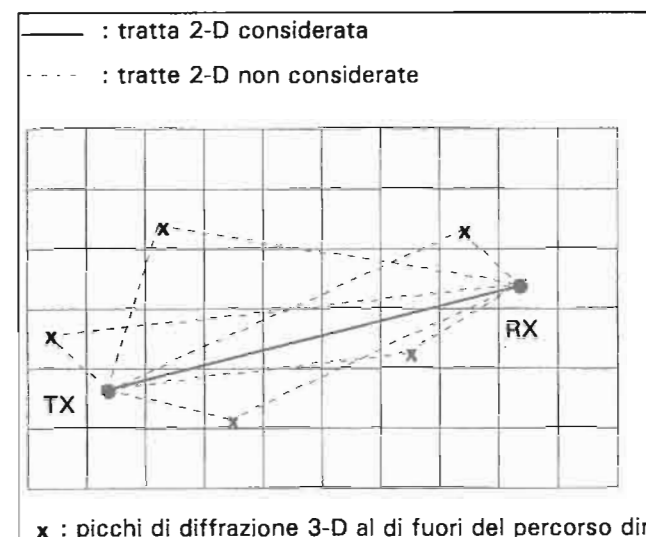


Fig. 3 — Indicazione dei possibili percorsi alternativi del segnale in planimetria; è evidenziato il collegamento bidimensionale.

la I). La teoria alla base del metodo presentato è comunque valida indipendentemente dall'approccio bidimensionale affrontato.

Dal database del territorio, viene dapprima estratto il profilo sulla congiungente Tx-Rx, successivamente il profilo estratto viene suddiviso in semplici elementi diffrangenti e/o riflettenti di cui sia possibile calcolare le proprietà diffrangenti/riflettenti. Mediante l'applicazione di com-

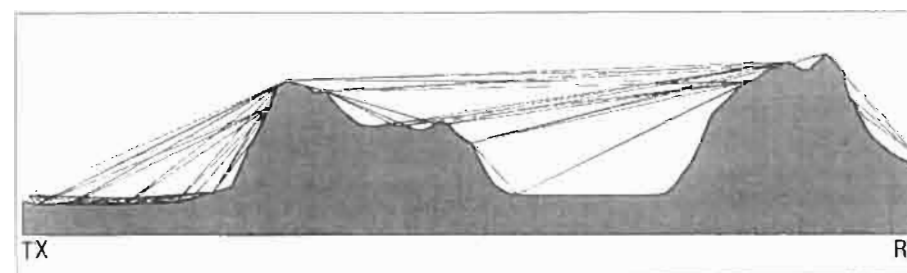


Fig. 4 — Ray-tracing su profilo bidimensionale: sono rappresentati i cammini multipli dovuti a riflessione e diffrazione da parte del terreno.

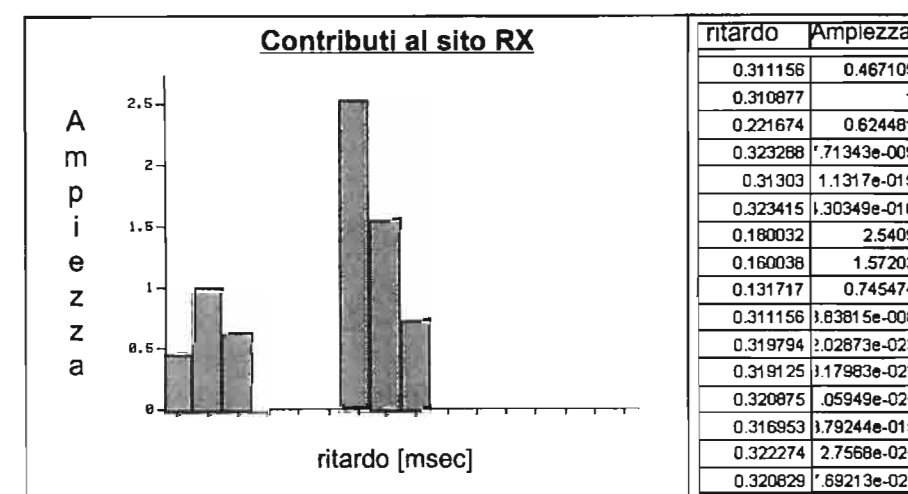


Fig. 5 — Rappresentazione grafica e numerica dei contributi di campo afferenti al ricevitore.

plesse procedure di ray-tracing vengono poi individuati i percorsi dei vari raggi afferenti alla postazione ricevente lungo il cammino che la separa dal trasmettitore (v. figura 4).

Successivamente si procede alla valutazione dei contributi di campo lungo i singoli raggi dovuti alle sorgenti secondarie, valutandone i contributi sulle due polarizzazioni ortogonali ed al calcolo dei ritardi introdotti. Il risultato è una descrizione in termini di ampiezze e ritardi del segnale ricevuto per le due polarizzazioni ortogonali considerate, del tipo illustrato in figura 5.

3. L'ambiente integrato per l'analisi di reti SFN

L'ambiente software attualmente sviluppato presso il Centro Ricerche si riferisce al territorio della Valle d'Aosta e specificatamente agli impianti della rete SFN per la Sperimentazione DAB-T per i quali sono stati integrati i dati delle località, del sistema radiante, delle potenze impiegate come risultano dal progetto effettuato dalle strutture tecniche della Sede Regionale di Aosta.

Le campagne di misure effettuate nell'area di servizio della rete sperimentale DAB-T consentiranno una verifica dei risultati ottenuti con il modello predittivo in studio.

Come già anticipato nella introduzione, al momento sono stati integrati i metodi predittivi esistenti e sono stati studiati principalmente i moduli relativi al metodo rappresentativo mediante GIS ed alla gestione complessiva.

Lo studio delle reti in singola frequenza richiede il calcolo per ogni trasmettitore della rete della copertura, la rap-

presentazione dei risultati nonché la valutazione in termini di popolazione servita. I GIS sono ambienti specifici per la rappresentazione su base geografica di dati di varia natura, quali coperture, altimetria, popolazione, per mezzo di tavole, simboli grafici, curve, ecc. La programmabilità dei GIS consente lo sviluppo di applicazioni personalizzate. Nel caso esaminato sono state sviluppate procedure specifiche per la rappresentazione della copertura mediante colorazioni ad isolivelli. È possibile modificare la configurazione della rete e procedere rapidamente alla valutazione della copertura.

A causa degli elevati tempi di calcolo delle procedure predittive, queste ultime sono state implementate su di una macchina UNIX, controllata via rete dal GIS sul PC

3.1 PREVISIONE DI CAMPO IN AREA DI SERVIZIO

È stato sviluppato un programma in grado di calcolare il campo elettromagnetico irradiato da un trasmettitore, su di un'area geografica predeterminata. Il programma opera mediante un modello digitale del territorio (DTM) con dettaglio di circa 250m. I metodi di calcolo del campo elettromagnetico attualmente disponibili ed utilizzati nel programma sono:

- spazio libero
- CCIR 370
- CCIR 370 + TCA (Terrain Clearance Angle)
- metodo punto-punto Deygout modificato

L'area geografica è delimitata da un rettangolo in coordinate longitudine, latitudine. Il programma calcola il campo irradiato dalla postazione trasmittente su ogni punto dell'area estraendo dal database territoriale il profilo altimetrico tra il punto trasmittente ed il punto ricevente. È possibile scegliere una posizione trasmittente al di fuori dell'area di servizio considerata. La configurazione del sistema trasmittente è nota dal relativo database.

I tralicci d'antenna utilizzati in radiodiffusione, supportano spesso sistemi radianti composti da molti pannelli radianti normalmente orientati in direzioni diverse. Nella procedura di calcolo d'antenna adottata il diagramma complessivo del sistema radiante, viene calcolato mediante somma vettoriale dei contributi provenienti da ogni singolo pannello considerandone l'orientazione e le perdite della rete formatrice di fascio (l'insieme di linee di alimentazione delle antenne che portano ai vari pannelli il segnale da trasmettere, con le alimentazioni in ampiezza e fase adeguate alla realizzazione del diagramma complessivo d'antenna).

Per consentire al meglio l'impiego dell'ambiente integrato nello sviluppo di metodi predittivi, è stato scelto di orientarsi verso una architettura aperta, che permetta di includere qualsivoglia procedura di campo e database di territorio dettagliati, ove se ne presenti la necessità. Il software è stato sviluppato con la capacità di cambiare le interfacce verso le basi dati. Nel caso delle basi dati geografiche è il GIS stesso che include diverse interfacce, mentre le interfacce relative alle basi dati proprie delle procedure predittive sono condivise col GIS.

A proposito della scelta del metodo occorre tenere presente l'importanza delle riflessioni e dei fenomeni di retro-propagazione. Si prevede la necessità di:

- operare su database più dettagliati

- far ricorso ai metodi avanzati in corso di sviluppo già citati.

3.2 PREVISIONE DELLA COPERTURA DELLA RETE SFN

Per consentire la valutazione della copertura della rete SFN è stato implementato un modello (Bibl. 4) di combinazione di contributi DAB afferenti ad un sito ricevente. In questa prima fase è stato considerato un solo raggio per ogni trasmettitore.

I vari contributi afferenti al ricevitore, allo stesso istante, con ritardo generalmente diverso a causa della differenza tra i percorsi, sono combinati mediante i coefficienti di potenza δ_i dati dalla:

$$\delta_i = \begin{cases} 0 & \delta_i < -t_s \\ \left[1 - \left(\frac{-\delta_i}{t_s}\right)\right]^2 & -t_s \leq \delta_i < 0 \\ 1 & 0 \leq \delta_i \leq \Delta \\ \left[1 - \left(\frac{\delta_i - \Delta}{t_s}\right)\right]^2 & \Delta < \delta_i < t_s + \Delta \\ 0 & \delta_i \geq t_s + \Delta \end{cases}$$

dove:

δ_i = ritardo relativo per l'i-esimo trasmettitore
 Δ = intervallo di guardia
 t_s = periodo di simbolo

Nel caso del DAB-T in presenza di più contributi caratterizzati da ritardi diversi, identificato il contributo principale, i restanti contributi costituiscono il segnale interferente qualora la differenza di cammino rispetto al contributo principale superi l'intervallo di guardia. Ovviamente nel caso sia attivato un solo trasmettitore non esiste interferente.

Il calcolo del fattore $C/(N+I)$ è effettuato mediante la espressione seguente:

$$\frac{C}{(N+I)} = 10 \log \left(\sum \delta_i 10^{\frac{f_i}{10}} \right) - 10 \log \left(\frac{f_N}{10} + \sum (1 - \delta_i) 10^{\frac{f_{i10}}{10}} \right)$$

dove:

f_i = intensità di campo per il trasmettitore i-esimo in dB(mV/m)
 f_N = intensità di campo equivalente di rumore in dB(mV/m)

È stato considerato un livello di rumore pari ad un flusso equivalente di -125.8 dBW/m² quale flusso di potenza risultante dal contributo di rumore impulsivo e di rumore proprio del ricevitore (Bibl. 5).

Allo scopo di confrontare la copertura della rete a singola frequenza con la copertura di un singolo trasmettitore, è possibile depurare il rapporto $C/(N+I)$ dal rumore e valutare il campo elettromagnetico equivalente. In assenza di fenomeni di interferenza il campo elettromagnetico equivalente è pari al campo elettromagnetico reale.

La procedura implementata identifica il contributo principale, calcola i ritardi dei contributi restanti, valuta il $C/(N+I)$ e calcola il campo elettromagnetico equivalente.

3.3 PROGRAMMI DI RAPPRESENTAZIONE SU CARTOGRAFIA NUMERICA MEDIANTE GIS

Le procedure sviluppate per la rappresentazione grafica di previsioni in area di servizio su cartografia numerica mediante Sistemi Informativi Geografici (GIS) sono in grado di rappresentare dati georiferiti, su cartografia vettoriale e raster. Sono state sviluppate procedure automatiche per la colorazione e la rappresentazione di una scala colorimetrica. È stata organizzata una gestione a menù sia per agevolare il più possibile l'introduzione dei dati operativi, che per rendere la rappresentazione dei risultati facilmente interpretabile.

È possibile scegliere una regione geografica su cui valutare la copertura, configurare i parametri dei trasmettitori e della rete, utilizzare il GIS quale ambiente di sviluppo per modelli propagativi evoluti ed ottenere varie rappresentazioni grafiche su mappe digitali (sia raster che vettoriali) di dati georiferiti.

In sintesi, scelto il trasmettitore e l'area di servizio è possibile valutare la copertura in termini grafici, o procedere allo sviluppo del modello. È stata inoltre sviluppata una procedura per l'ottimizzazione della configurazione di ritardo dei trasmettitori nella rete.

Poiché l'ambiente è in sviluppo, è previsto di introdurre a breve le possibilità di:

- rappresentazione del profilo altimetrico tra due punti scelti e tracciamento raggi ed ellissoidi
- rappresentazione diversificata di temi differenti (campi, ritardi e designazione di provenienza dai diversi trasmettitori)

A regime sarà possibile ottenere rappresentazioni tridimensionali e grafici dei vari contributi in ampiezza afferenti al sito ricevente in termini di ritardo di propagazione. Quest'ultima caratteristica, agevolerà lo sviluppo di mo-

delli predittivi avanzati, per il servizio DAB-T di alta precisione, anche attraverso il confronto con dati di misura.

3.3.1 Lo sviluppo di modelli avanzati di propagazione nell'ambiente GIS

I metodi predittivi moderni utilizzano diverse procedure: di estrazione del profilo del territorio, di filtraggio del profilo, inoltre nel caso di approccio deterministico si deve ricorrere a procedure di ray tracing, identificazione degli ostacoli in termini di modello elettromagnetico, calcolo delle componenti di campo, ecc.

Pertanto, dopo che il modello è stato sviluppato ed implementato in termini di programma, è necessario verificare le procedure componenti su profili reali prima di procedere alla verifica sperimentale.

Un ambiente software per la rappresentazione di coperture diviene ambiente di sviluppo di metodologie predittive quando permette un agevole confronto tra misure e risultati di simulazione, e quando è possibile identificare gli effetti dei vari fenomeni propagativi. In questo senso è stato scelto di sviluppare una interfaccia grafica evoluta, in grado di rappresentare il profilo altimetrico lungo il collegamento tra trasmettitore e ricevitore. Per quel che riguarda i modelli avanzati di propagazione viene inoltre rappresentata la sequenza di raggi lungo il percorso, con la possibilità di identificare i singoli contributi (diretto, riflesso, diffratto) dovuti a sorgenti secondarie lungo il percorso (vedi figura 4).

Per i vari contributi afferenti al ricevitore l'interfaccia grafica dell'ambiente di sviluppo permette di correlare i raggi ottenuti dalla procedura di ray-tracing con le rispettive ampiezze ricevute in funzione del ritardo.

4. Primi risultati di simulazione

Nel seguito sono riportate alcune simulazioni, relative alla rete sperimentale DAB della Valle d'Aosta. La rete è

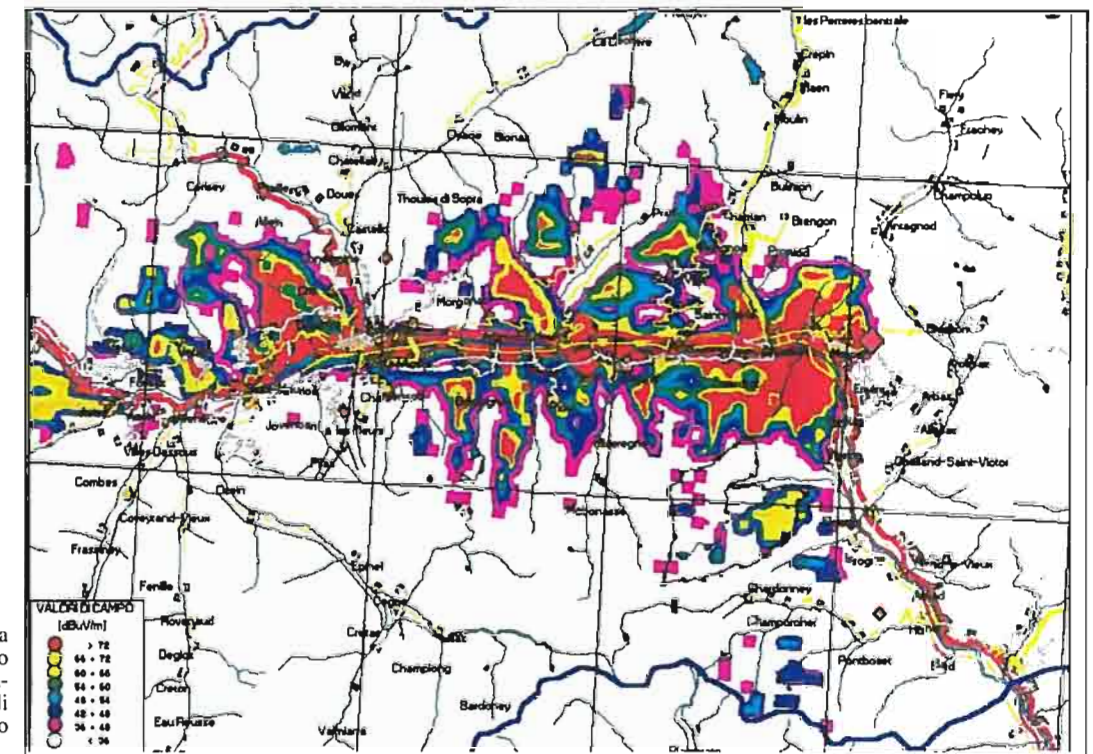


Fig. 6 — La figura illustra la copertura stimata, per quanto concerne il campo elettromagnetico, del trasmettitore di St. Vincent, tenendo conto del diagramma d'antenna.

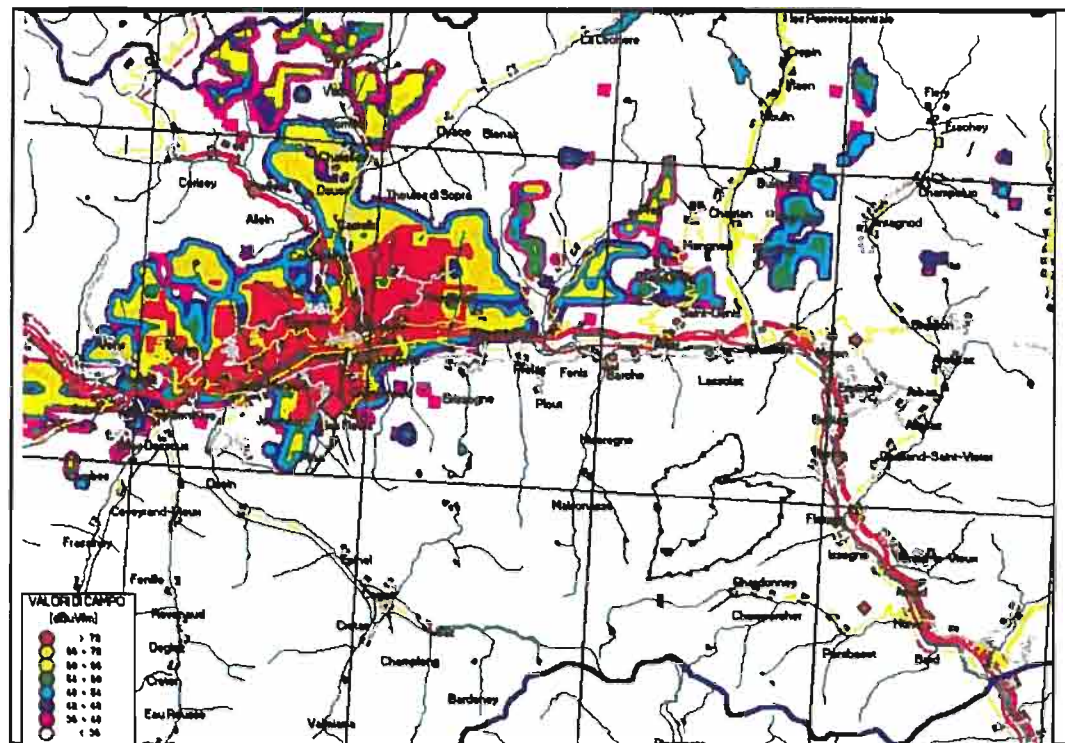


Fig. 7 — La figura illustra la copertura stimata, per quanto concerne il campo elettro magnetico, del trasmettitore di Gerdaz, tenendo conto del diagramma d'antenna.

costituita da 4 trasmettitori: St. Vincent, Gerdaz, Blavy e Col de Courtil.

Nelle figure 6, 7, 8 e 9 è riportata la copertura stimata (campo e.m.) dei quattro trasmettitori di St. Vincent, Gerdaz, Blavy e Col de Courtil considerati singolarmente, tenendo conto dei rispettivi diagrammi d'antenna. Per la simulazione è stato utilizzato un metodo Deygout modificato, i dati altimetrici utilizzati possiedono un dettaglio di

circa 250m. Nelle simulazioni non si è tenuto conto in alcun modo delle condizioni di utilizzo del territorio, per cui il campo risulta certamente «sovrastimato» nelle aree urbane. La propagazione di tipo radiomobile è infatti caratterizzata da sistemi riceventi poco sollevati rispetto al suolo (tipicamente 1,5 m). Di conseguenza il segnale ricevuto, tenendo conto degli effetti di riflessione, diffrazione e diffusione, risulta di livello inferiore al livello

Fig. 8 — La figura illustra la copertura stimata, per quanto concerne il campo elettro magnetico, del trasmettitore di Blavy, tenendo conto del diagramma d'antenna.

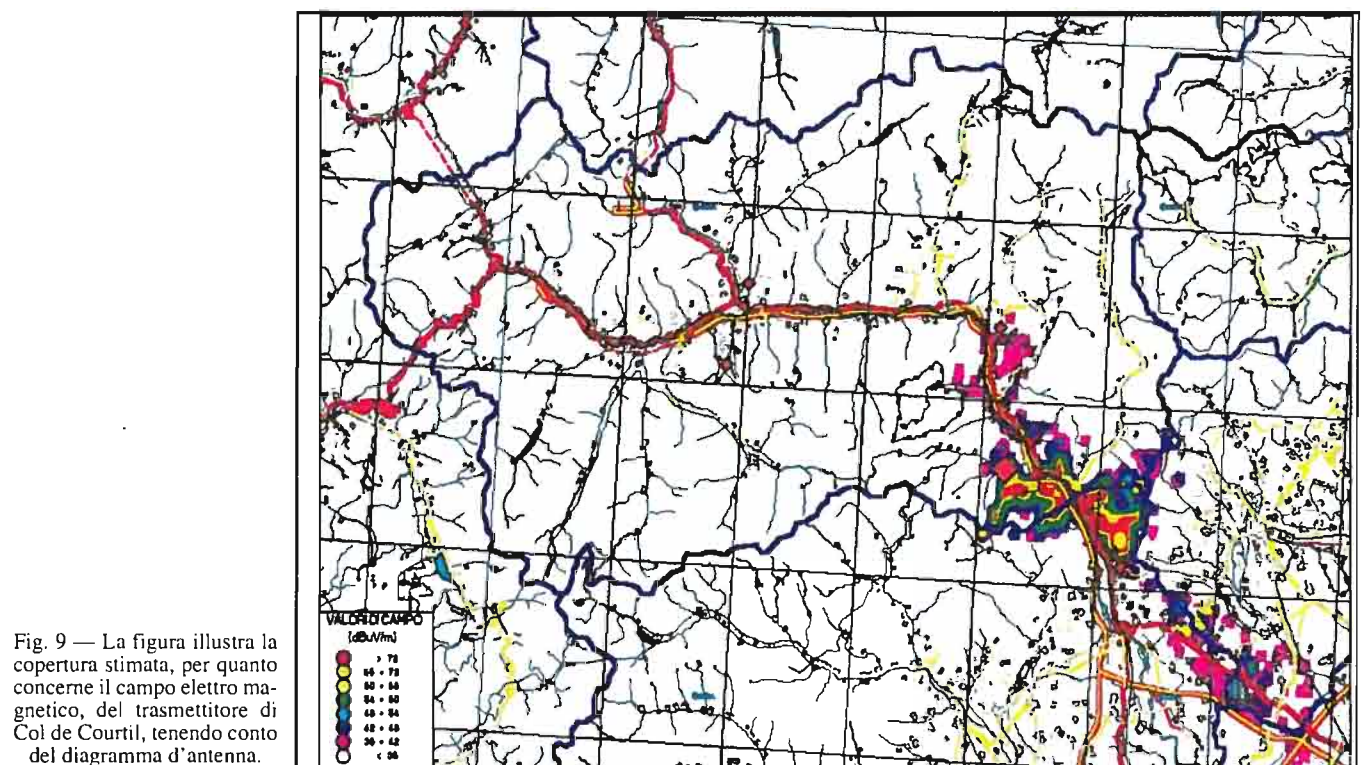
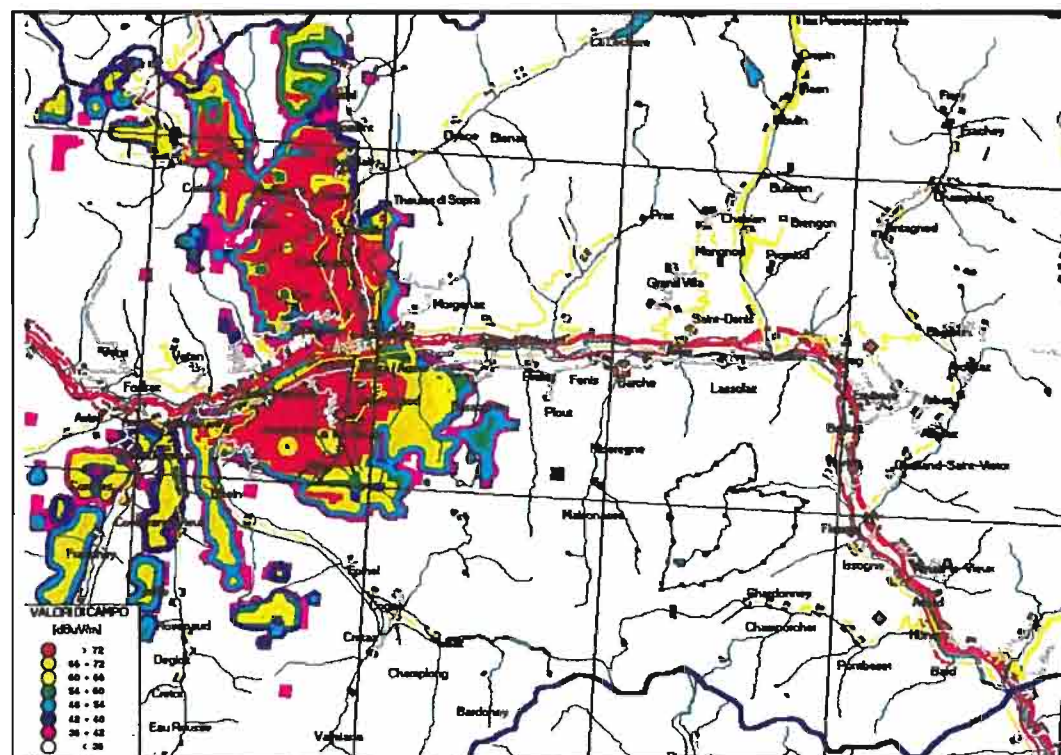


Fig. 9 — La figura illustra la copertura stimata, per quanto concerne il campo elettro magnetico, del trasmettitore di Col de Courtil, tenendo conto del diagramma d'antenna.

ottenibile dalla propagazione in spazio libero. Sovente sono inoltre presenti effetti di distorsione. Il modello impiegato per la simulazione di propagazione tiene conto dell'altimetria del territorio dal trasmettitore al ricevitore, ma non della natura del terreno (presenza di edifici o foreste, ecc.) nelle vicinanze del ricevitore mobile, nè attualmente sono considerate le caratteristiche di propagazione multipercorso.

Stanti i limiti esposti, è possibile comunque valutare la copertura dei tre trasmettitori in prima approssimazione; mediante lo sviluppo o l'integrazione di modelli più sofisticati, potrà in seguito essere migliorata la approssimazione di simulazione.

Viene utilizzata una metodologia di *rappresentazione ad isolivelli* che consente una elevata precisione rappresentativa ed una agevole valutazione della copertura, riferibile

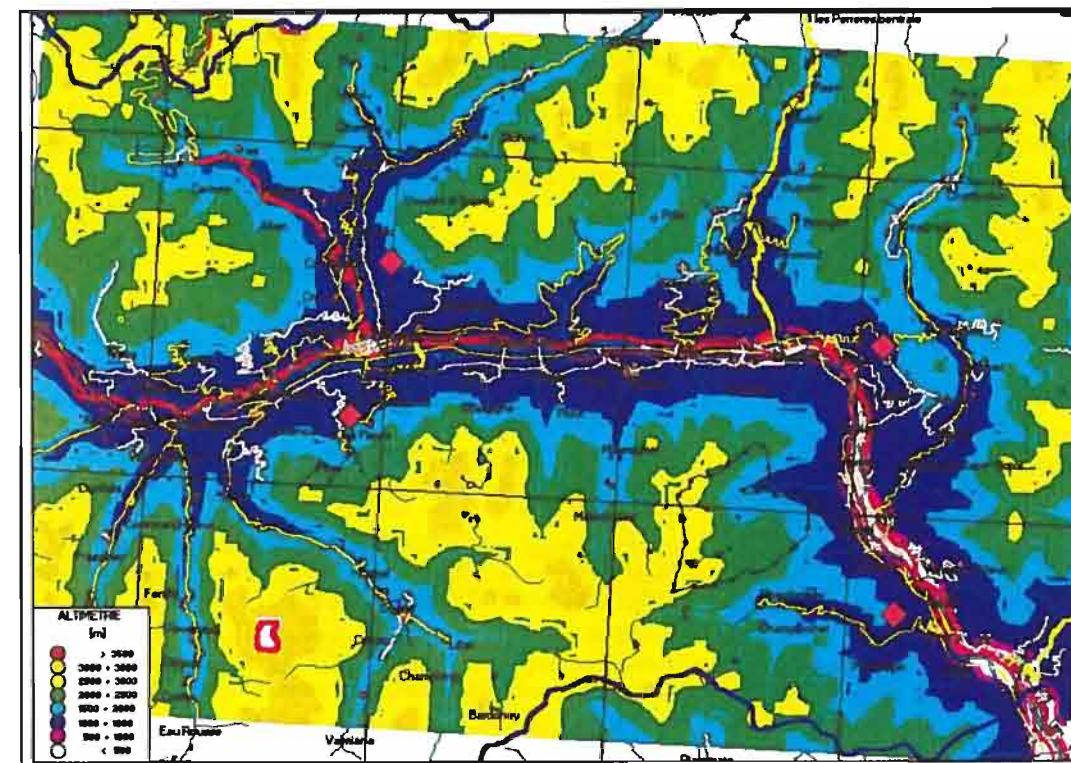


Fig. 10 — Profili altimetrici della Valle d'Aosta.

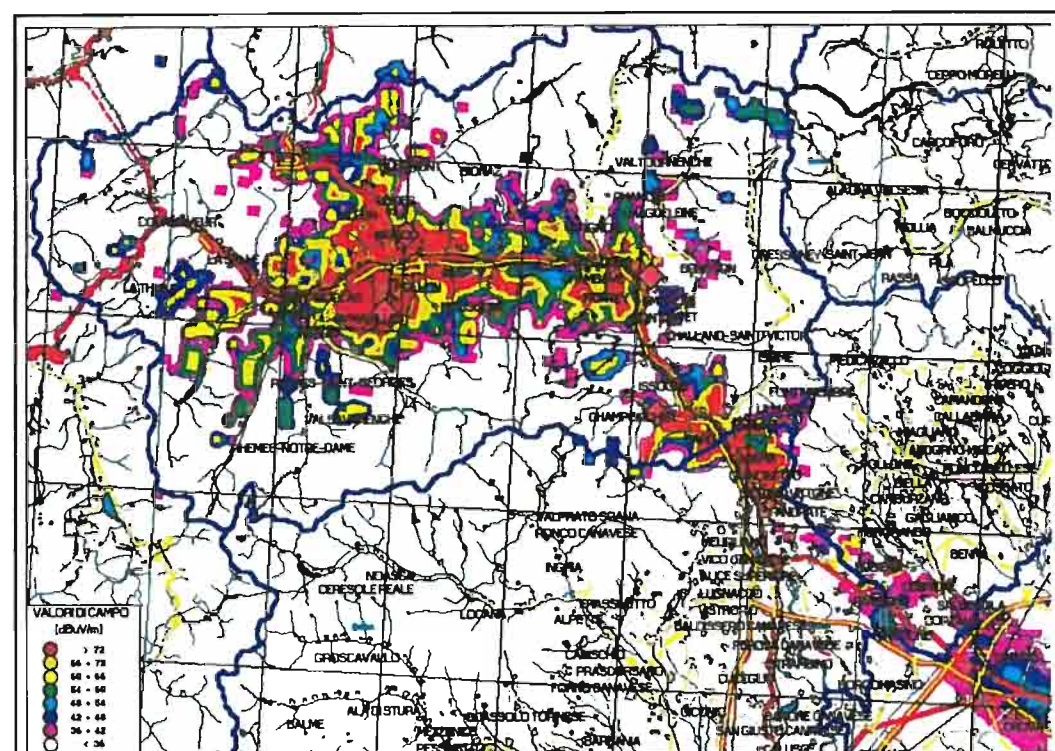


Fig. 11 — Stima della copertura della rete SFN a quattro trasmettitori in termini di campo elettromagnetico equivalente.

eventualmente anche alla percentuale di popolazione servita grazie alle capacità intrinseche del GIS. Questo tipo di rappresentazione prevede il calcolo delle linee ad isolivello di campo, la successiva colorazione delle aree geografiche delimitate da curve ad isolivello conseguente.

In figura 10 sono riportate le curve altimetriche del DTM utilizzato. Per confronto con la copertura ad isolivelli di figura 8, si possono notare come zone distanti dall'area di servizio del trasmettitore risultino illuminate per effetto dell'elevata quota del sito ricevente, che risulta così in vista del trasmettitore.

In figura 11 è riportata la copertura stimata della rete SFN a quattro trasmettitori in termini di campo elettromagnetico equivalente, ottenuto depurando il $C/(N+I)$ del contributo di rumore: sono supposti attivi tutti e quattro gli impianti trasmettenti: St. Vincent, Gerdaz, Blavy e Col de Courtil. Dal confronto con la copertura dei singoli impianti (figure 6, 7, 8 e 9) è evidente come l'attivazione della rete SFN consenta la copertura dell'intera zona centrale della Valle principale, con estensione alle valli laterali e, nella parte sud, fino al Piemonte (Ivrea).

5. Conclusioni

I metodi predittivi utilizzati per i sistemi analogici risultano inadeguati per i sistemi numerici che operano in modulazione multiportante, COFDM su reti isofrequenziali, in quanto non tengono conto del contributo dei cammini multipli che, per tali sistemi, concorrono positivamente alla costruzione del segnale utile.

Perciò è stato avviato lo studio di nuovi metodi di previsione di campo e.m. che impiegano tecniche avanzate per la modellizzazione dei fenomeni di propagazione con riferimento alle tipologie dell'ambiente e alla orografia del territorio, derivate da database dettagliati per pervenire ad una ottimizzazione delle previsioni.

L'attività svolta nella prima fase è stata delicata allo sviluppo applicativo di un ambiente software GIS, nel quale sono stati integrati un metodo predittivo punto-punto ed i dati territoriali (attualmente disponibili con risoluzione di ~250 m) della Valle d'Aosta, con cui sono state tracciate su cartine digitalizzate le previsioni di copertura del servizio DAB-T sia in termini di singolo impianto, sia combinando i segnali dei tre trasmettitori in rete isofrequenziale SFN.

L'evoluzione dello studio prevede l'acquisizione del database dettagliato (~20 m) del territorio della Valle d'Aosta e la sua integrazione nel GIS. Per quanto riguarda i metodi predittivi avanzati è allo studio a medio termine, un modello bidimensionale di propagazione basato su GTD e ray-tracing, che sarà parimenti integrato nel GIS.

A più lungo termine si prevede l'estensione del modello suddetto al caso tre dimensioni per impiego in situazioni territoriali di orografia particolarmente complessa.

BIBLIOGRAFIA

1. - RAI Centro Ricerche: «Sperimentazione DAB-T in rete isofrequenziale (SFN) su canale H2 in Valle d'Aosta», Rapporto Tecnico, Torino, Apr. 1996.
2. - P. Forni: «A GIS Based Flexible Environment for the Coverage Prediction and Evaluation of SFN», XXV URSI General Assembly, Lille, Sept. 1996.
3. - F. M. Poggi: «Modello bidimensionale di propagazione terrestre basato sulla teoria geometrica della diffrazione», Tesi di Laurea c/o DIBE Università di Genova, Aprile 1994.
4. - M. B. R. Lee: «Planning methods for a national single frequency network for DAB», Proceedings of 8th ICAP International Conference on Antennas and Propagation, York, 1993.
5. - EBU Technical Review: «Service Planning for terrestrial Digital Audio Broadcasting», EBU Technical Review n. 252, Summer 1992.

CONTI D'ORDINE		1995	1994	PROSPETTO DI DETTAGLIO DELLE VOCI DEL BILANCIO DI ESERCIZIO AL 31.12.95	
1) GARANZIE PERSONALI PRESTATE				RICAVI DELLE VENDITE E DELLE PRESTAZIONI:	
a) Fidejussioni		0	0	- RICAVI DELLA VENDITA DI COPIE	Lire 11.320.037.349
b) Avalli		0	0	di cui per abbonamenti	Lire 331.710.059
c) Altri		5.437.500.000	0	- RICAVI DELLA VENDITA DI SPAZI PUBBLICITARI	Lire 12.107.141.251
2) GARANZIE REALI PRESTATE				di cui per vendita tramite concessionarie di pubblicità	Lire 9.571.025.581
a) Per obbligazioni altrui		0	0	COSTI PER SERVIZI:	
b) Per obbligazioni proprie diverse da debiti		0	0	- LAVORAZIONE PRESSO TERZI	Lire 6.188.684.184
c) Per debiti iscritti in bilancio		0	0	- AGENZIE DI INFORMAZIONE	Lire
3) IMPEGNI DI ACQUISTO E DI VENDITA					
4) Altri		23.689.510.262	500.000.000		
Fidejussioni ricevute da terzi		0	0		
Garanzia ipotecaria ricevuta da terzi		0	0		
Rischi di ingresso		0	0		
CONTO ECONOMICO		1995	1994		
A) VALORE DELLA PRODUZIONE					
1) ricavi delle vendite e prestazioni		+29.924.488.800	+44.489.537.545		
2) variaz. nm. semilavorati e finiti		(1.683.983.556)	(3.472.549.460)		
3) variaz. di lavori in corso su ordinazione					
4) incrementi immobilizzi per lavori interni		+101.206	+85.764.554		
A) TOTALE VALORE DELLA PRODUZIONE		28.240.606.450	41.102.752.939		
B) COSTI DELLA PRODUZIONE					
6) acquisti mat. prime, sussidi, merci		-6.190.014.803	-7.235.259.699		
7) prestazione di servizi		-19.932.444.398	-29.788.291.556		
8) godimento di beni di terzi		-800.534.028	-1.417.002.185		
9) costi del personale:					
a) salari e stipendi		-8.967.480.537	-11.270.710.297		
b) oneri sociali		-3.006.215.408	-3.965.578.715		
c) trattamento di fine rapporto		-850.031.916	-1.008.704.716		
d) trattamenti di quiescenza e simili			-193.928		
e) altri costi del personale		-163.641.198	-195.009.219		
9) totale costi del personale		-12.987.735.443	-16.440.197.875		
10) ammortamenti e svalutazioni:					
a) ammort. immob. materiali		-279.268.098	-139.593.938		
b) ammort. immob. materiali		-270.543.247	-402.052.623		
c) altre svalutazioni delle immobilizz.					
d) svalutaz. cred. compresi nell'attivo circ.		-594.420.718	-3.552.318.032		
10) totale ammortamenti e svalutazioni		-1.144.232.063	-4.083.964.593		
11) variaz. rim. materie prime, sussidi, e merci		-1.115.772.918	-134.024.637		
12) accantonamenti per rischi					
13) altri accantonamenti		-4.164.400.000	-799.475.191		
14) oneri diversi di gestione		-1.123.796.287	-1.265.220.891		
B) TOTALE COSTI DELLA PRODUZIONE		47.458.929.940	61.173.436.627		
Differenza tra valore e costi di produzione (A-B)		(19.218.323.490)	(20.070.683.688)		
C) PROVENTI E ONERI FINANZIARI					
15) proventi da partecipazioni in:					
a) imprese controllate					
b) imprese collegate					
c) altre imprese					
d) altri proventi da partecipazioni					
15) totale proventi da partecipazioni		0	0		
16) altri proventi finanziari:					
a) proventi finanziari da crediti immob. in:					
a1) imprese controllate					
a2) imprese collegate					
a3) impresa controllante					
a4) altri					
totale proventi finanziari da crediti immob.		0	0		
b) proventi finanziari da titoli immobilizz.					
c) proventi finanziari da titoli attivo circ.					
d) proventi finanziari da titoli diversi da:					
d1) imprese controllate					
d2) imprese collegate					
d3) impresa controllante					
d4) altri					
totale proventi finanziari da titoli diversi		324.258.381	180.166.794		
16) totale altri proventi finanziari		324.258.381	180.166.794		
TOTALE PROVENTI FINANZIARI		324.258.381	180.166.794		
17) interessi ed oneri finanziari da:					
a) debiti verso imprese controllate					
b) debiti verso imprese collegate					
c) debiti verso impresa controllante					
d) debiti verso banche					
e) debiti per obbligazioni					
f) altri debiti					
g) oneri finanziari diversi					
17) totale interessi ed oneri finanziari		51.639.961	574.009.132		
TOTALE ONERI FINANZIARI		51.639.961	574.009.132		
C) DIFFERENZA TRA PROVENTI ED ONERI FINANZIARI		856.944.892	(742.953.647)		
D) RETTIFICHE DI VALORE ATTIVITÀ FINANZIARIE					
18) rivalutazione attività finanziarie di:					
a) partecipazioni					
b) immobilizzazioni fin. non partecipazioni					
c) titoli iscritti attivo circ. non partecipaz.					
18) totale rivalutazioni		0	0		
19) svalutazione attività finanziarie di:					
a) partecipazioni					
b) immobilizzazioni fin. non partecipazioni					
c) titoli iscritti attivo circ. non partecipaz.					
19) totale svalutazioni		0	0		
D) TOTALE RETTIFICHE DI VALORE ATTIVITÀ FINANZIARIE		0	0		
E) PROVENTI ED ONERI STRAORDINARI					
20) proventi straordinari:					
a) plusvalenze su alienazione immobilizz.		813.455.383	39.469		
b) altri proventi straordinari		18.016.014.960	1.530.559.135		
20) totale proventi straordinari		18.829.470.343	1.530.598.604		
21) oneri straordinari:					
a) minusvalenze su alienazione immobilizz.		-74.801.033	-144.185.091		
b) imposte relative ad esercizi precedenti					
c) altri oneri straordinari		-3.056.761.369	-1.059.844.836		
21) totale oneri straordinari		-3.131.562.402	-1.204.029.927		
E) TOTALE DELLE PARTITE STRAORDINARIE		15.697.907.941	326.568.677		
RISULTATO PRIMA DELLE IMPOSTE		(2.663.370.657)	(20.487.068.658)		
22) imposte sul reddito dell'esercizio:					
a) ammontare lordo		-345.000.000			
b) crediti d'imposta sui dividendi					
22) totale imposte sul reddito dell'esercizio		-345.000.000	0		
23) UTILE / (PERDITA) DELL'ESERCIZIO		(3.008.370.657)	(20.487.068.658)		