

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.

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

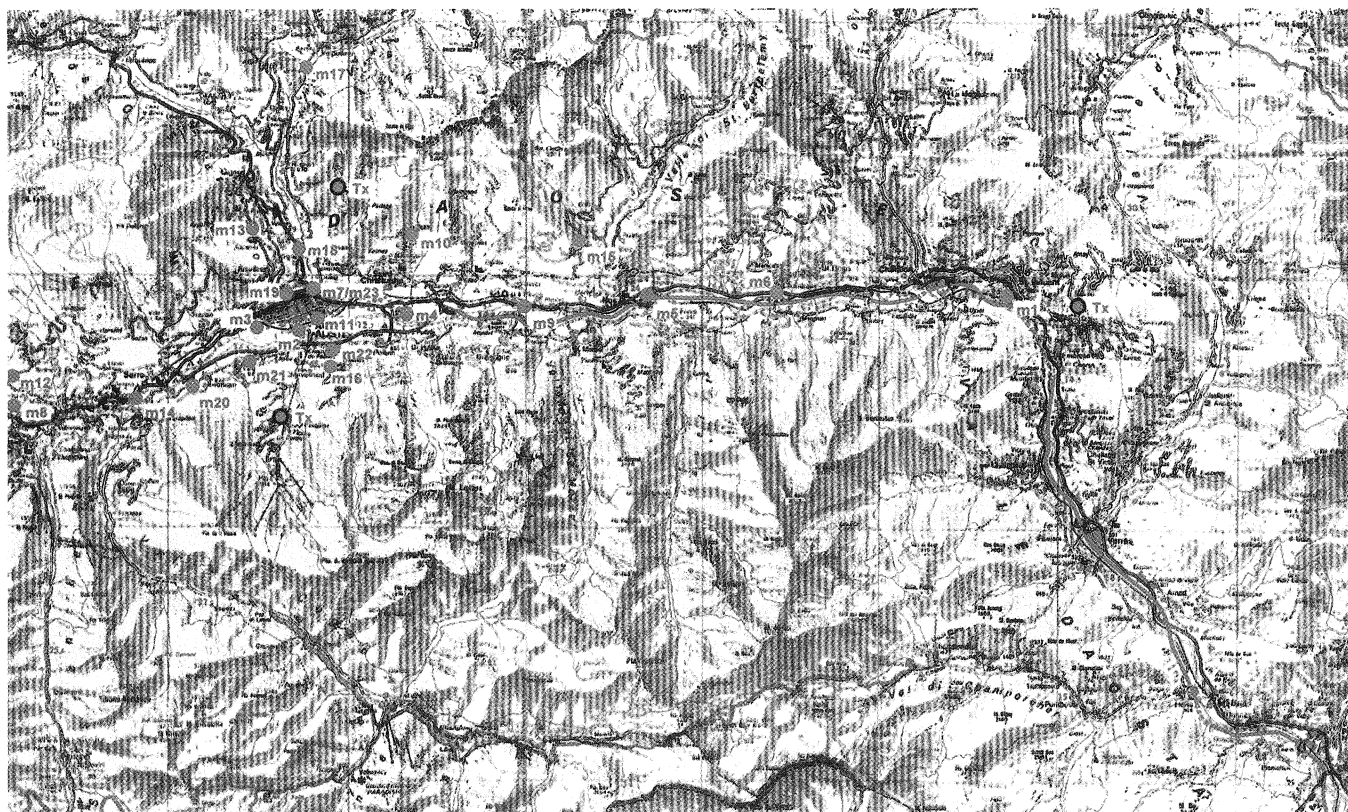


Fig. 1 — Cartina indicante i punti di misura nell'area di servizio.

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.



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 nè l'ancoraggio e nè 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.

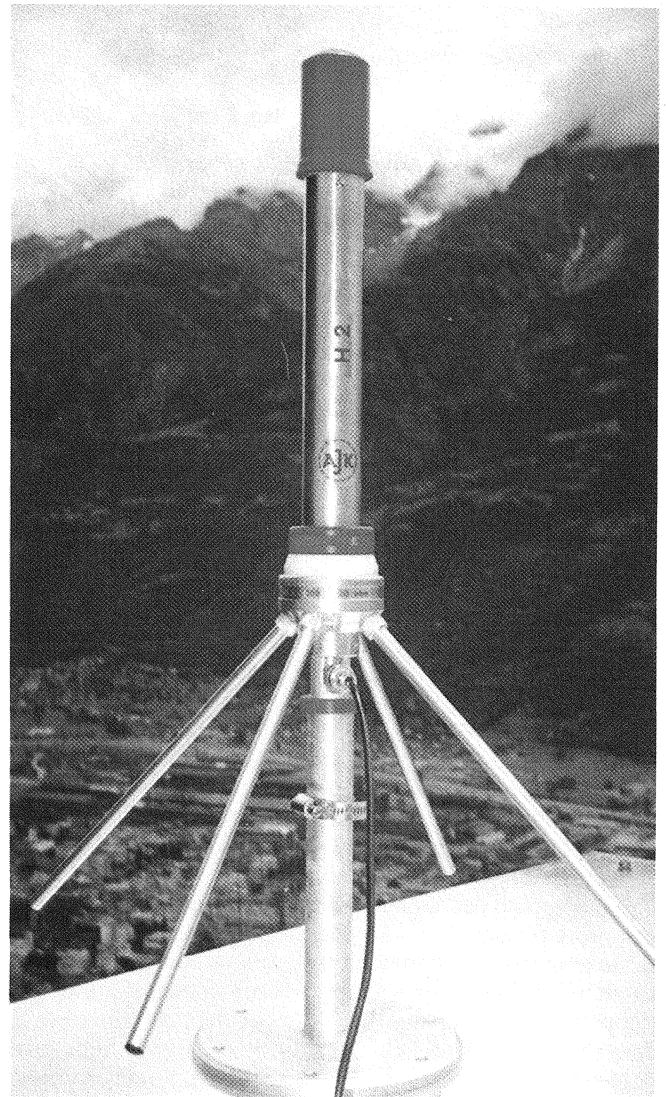


Fig. 3 — Antenne YAGI e Ground Plane utilizzate nelle misure.

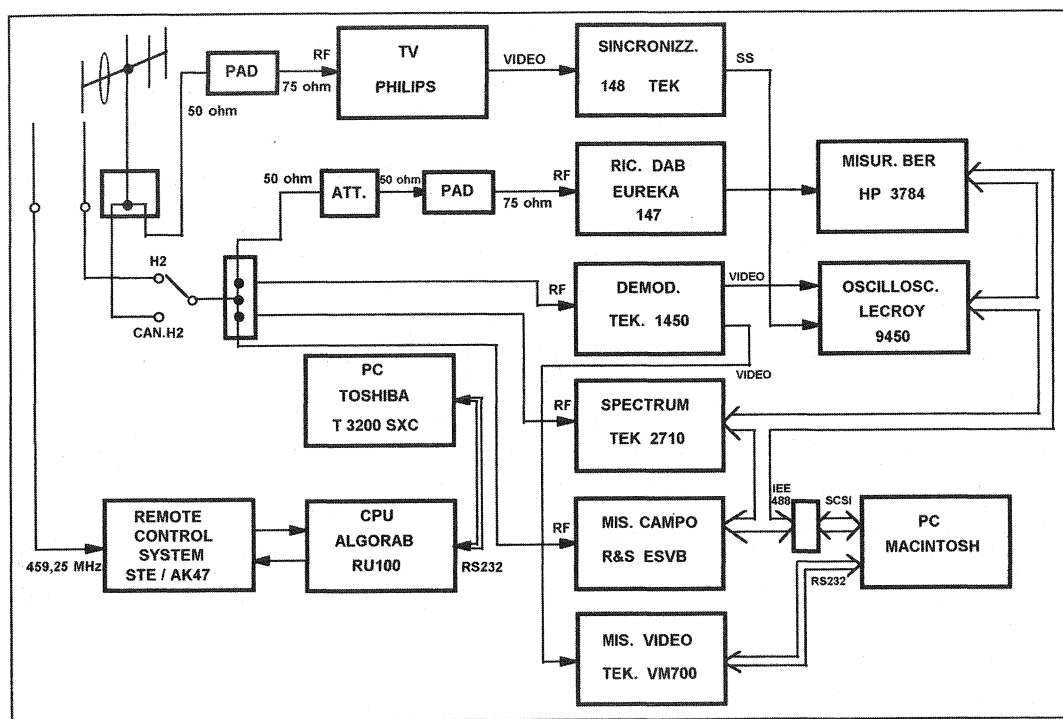


Fig. 4 — Schema a blocchi della strumentazione di misura e del controllo remoto su mezzo mobile.

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 +/- 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 $\text{Sin}(x)/x$, 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(µV/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:

- a) misure del campo e.m. ricevuto
- b) 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 perchè sono rappresentative delle condizioni di ricezione con raggio diretto ed in presenza di percorsi multipli.

Poichè 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(µV/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(µV/m)) a 10 m. di altezza	58

Il valore di campo mediano minimo di 58 dB(µV/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 artificiosamente il valore del campo alla soglia del sistema che risulta di 35 dB(µV/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(µV/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(µV/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 trasmittente 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)

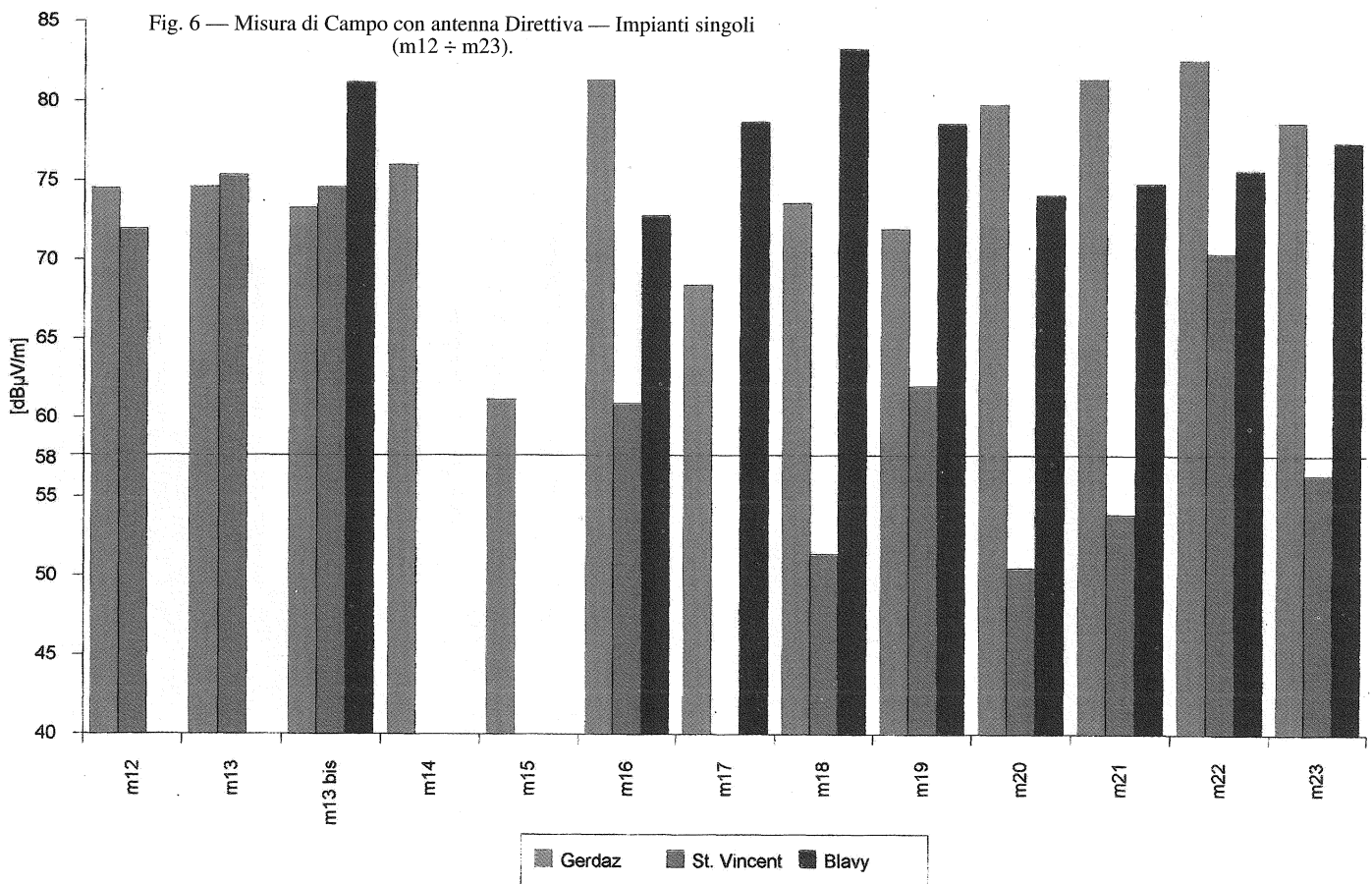
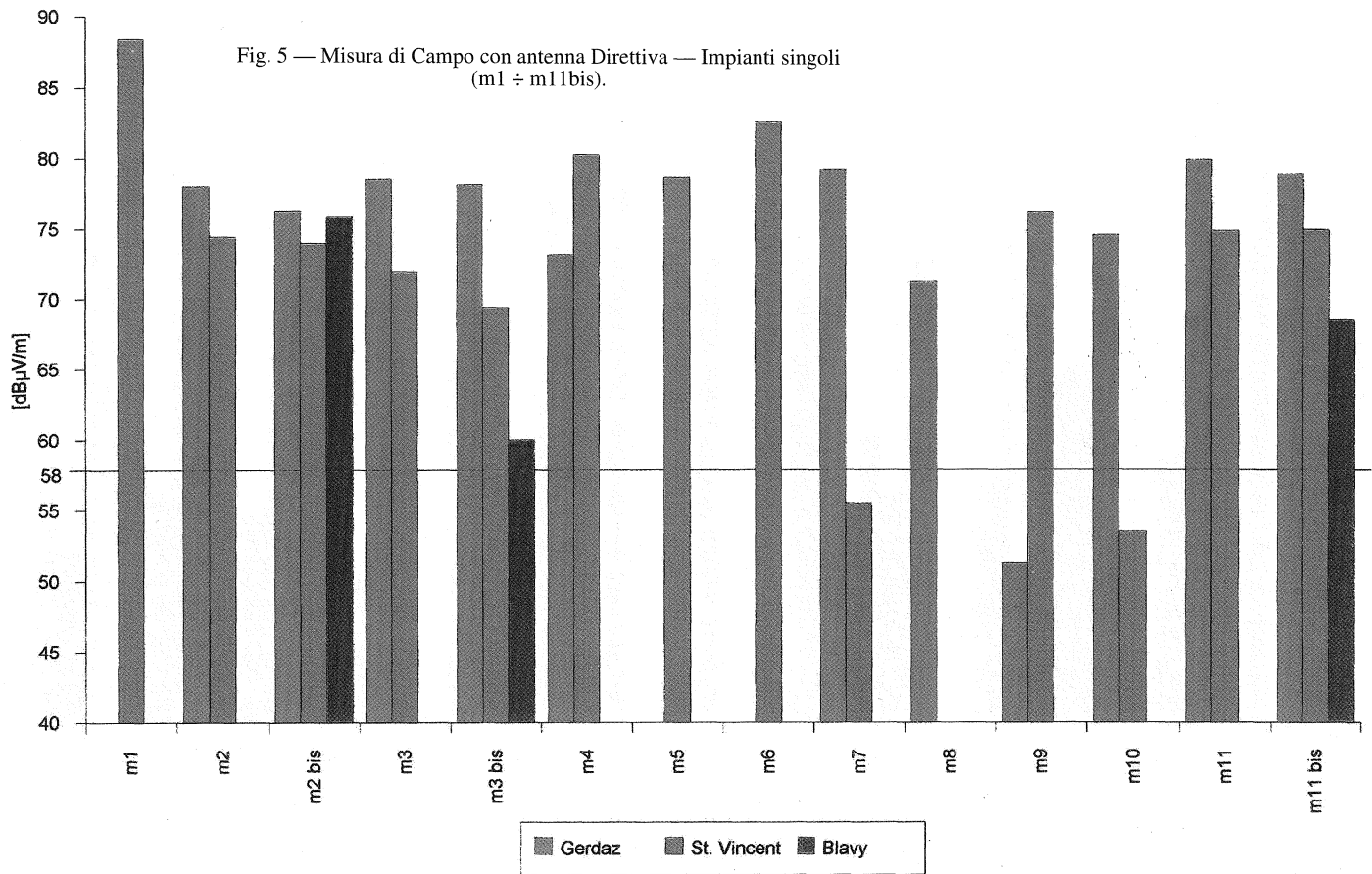
Le figure 5 e 6 riportano i risultati per i tre impianti singoli. Si nota come in alcuni punti di misura si ha una terna completa di valori perchè si ha ricezione da tutti e tre gli impianti, mentre in altri punti la ricezione è limitata a uno o due impianti (m1, m5, m15, ecc.). I valori suddetti sono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

Si può osservare che il valore di campo misurato è pressochè ovunque superiore al suddetto valore di 58 dB(µV/m), avendosi mediamente valori di campo intorno a 70 ÷ 75 dB(µV/m). Il punto più sfavorevole è m15, in località Ville sur Nus che peraltro non è in vista di nessuno dei tre impianti trasmittenti 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-



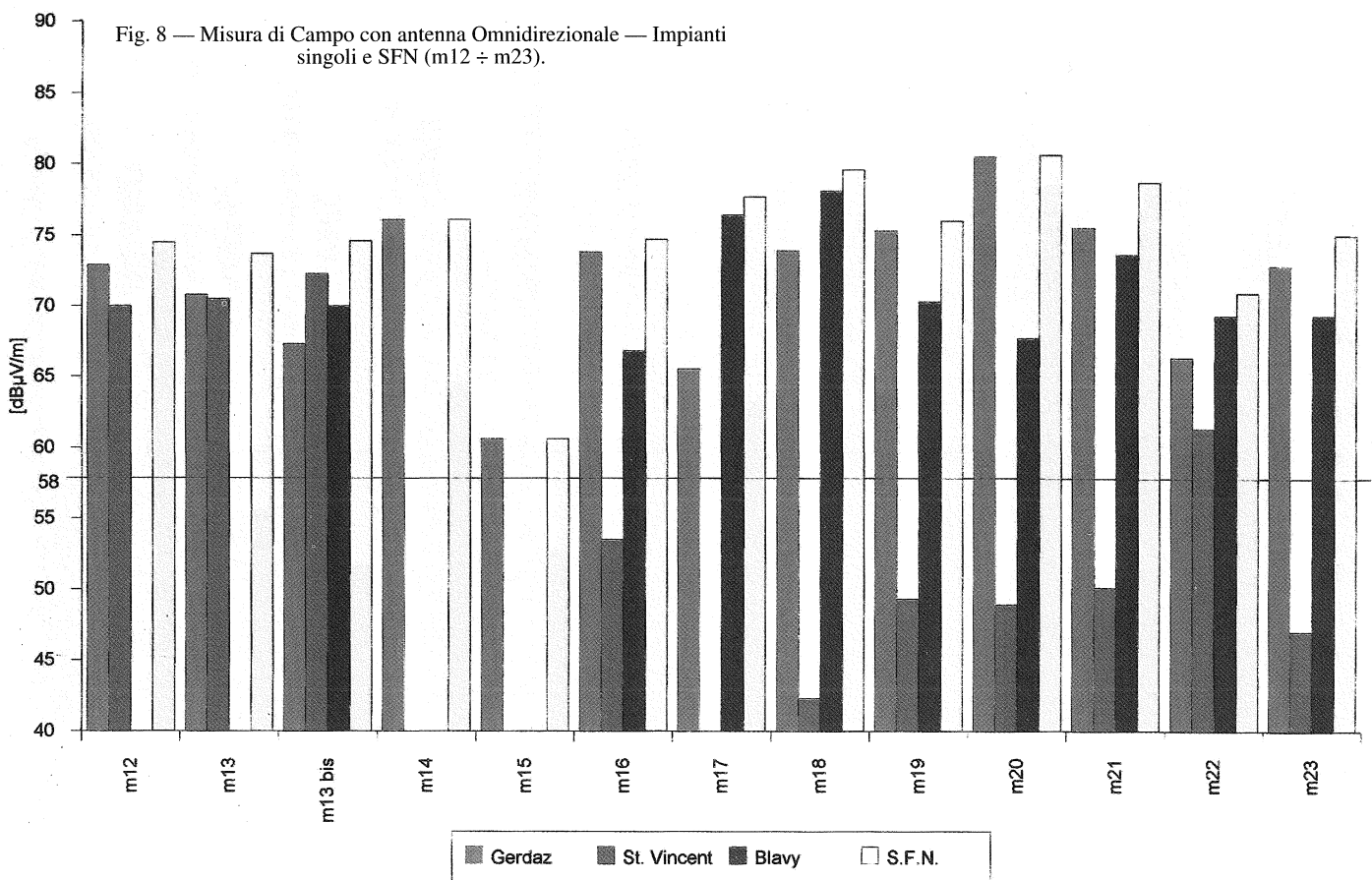
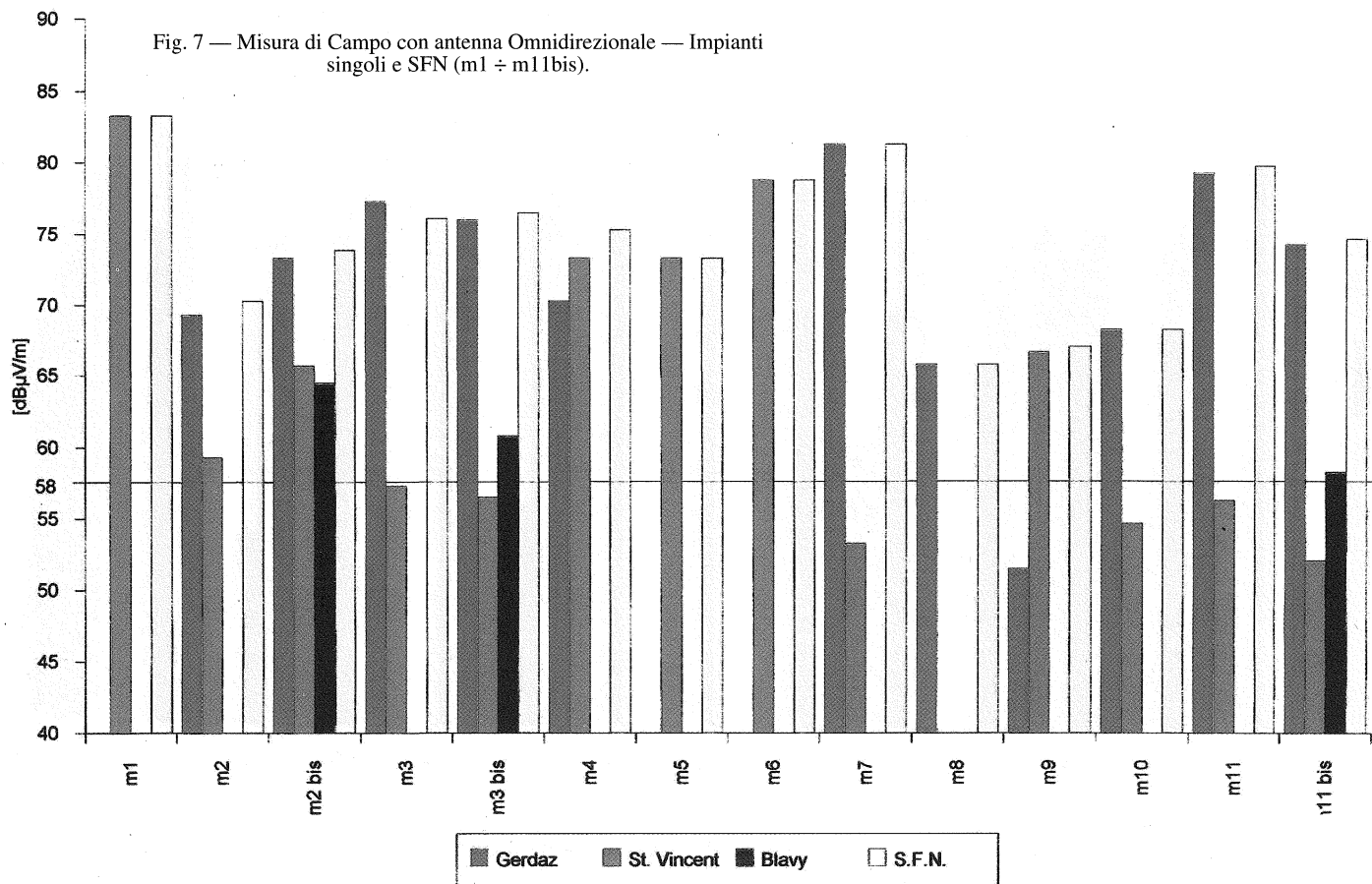
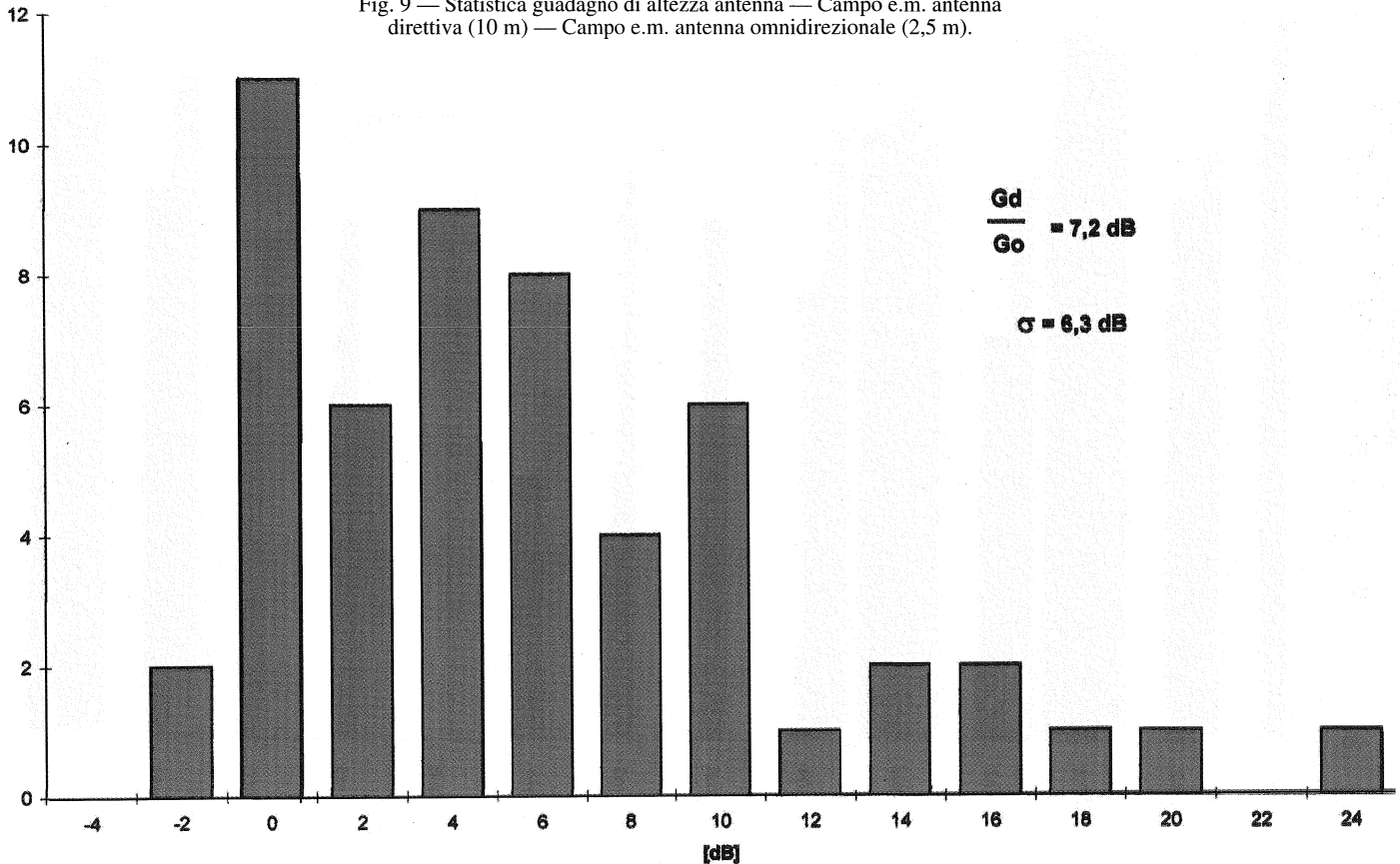


Fig. 9 — Statistica guadagno di altezza antenna — Campo e.m. antenna direttiva (10 m) — Campo e.m. antenna omnidirezionale (2,5 m).



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

Tali valori, presi singolarmente, non sono omogenei con i 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.

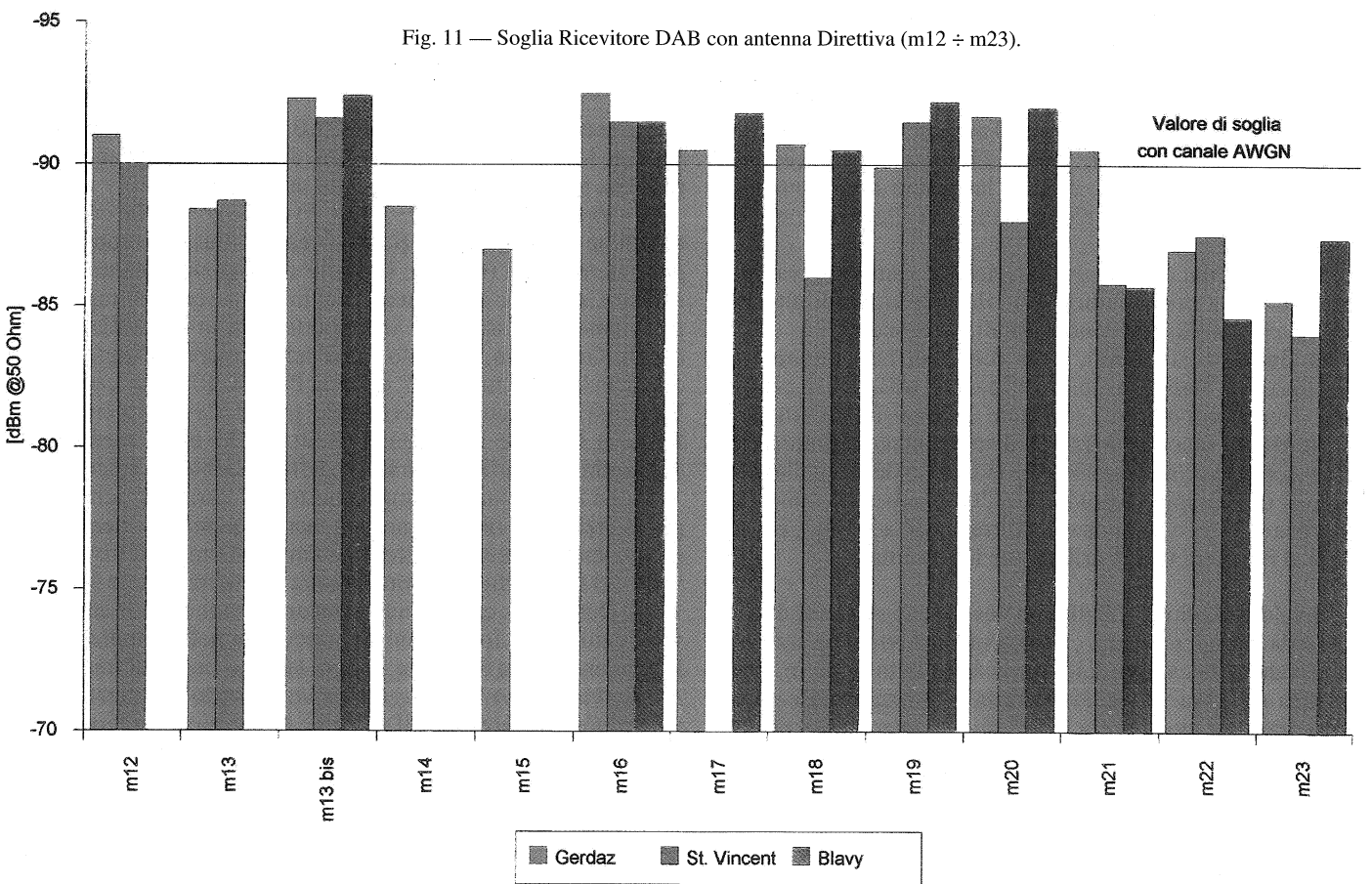
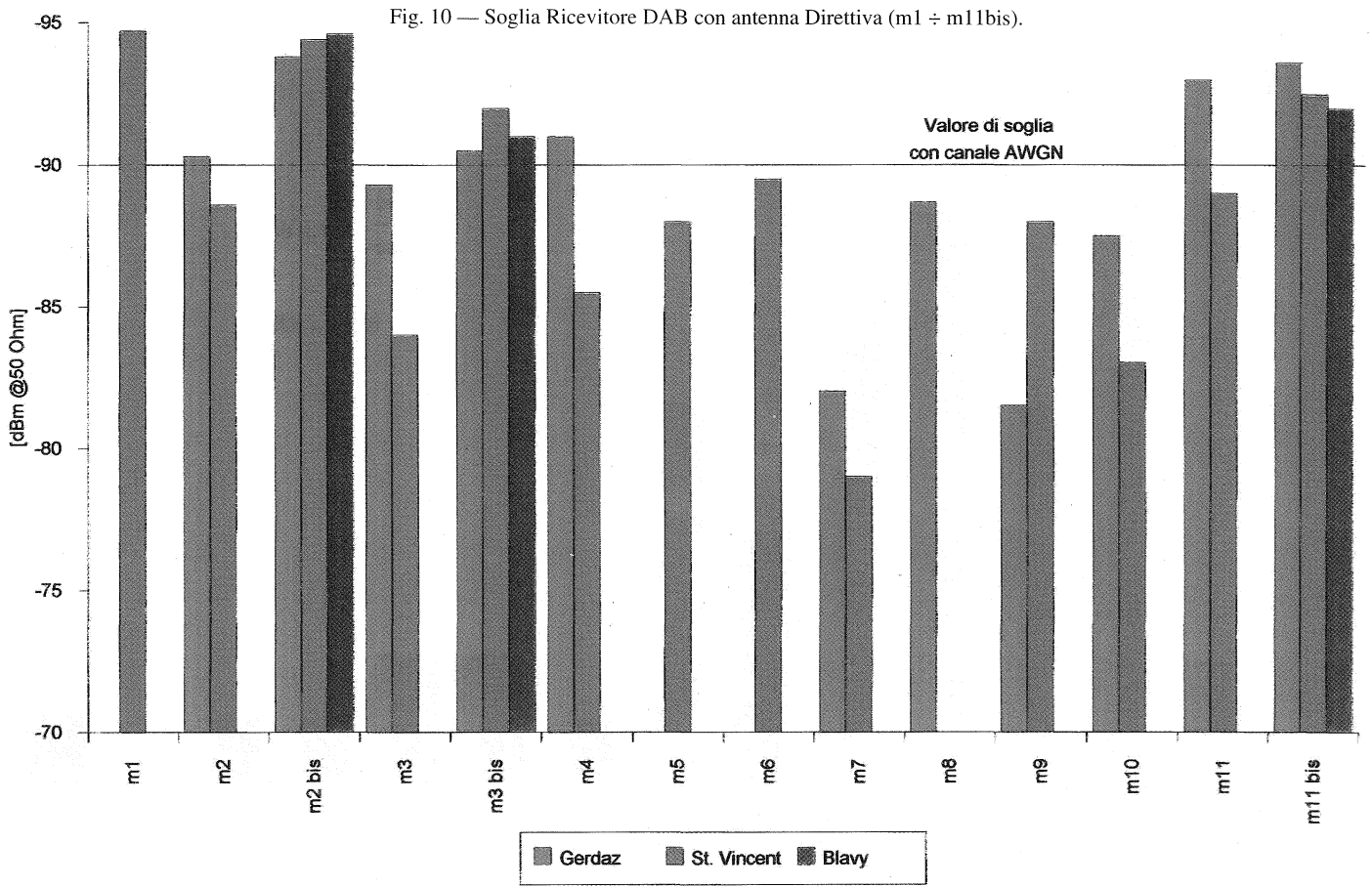


Fig. 12 — Soglia Ricevitore DAB con antenna Omnidirezionale (m1 ÷ m11bis).

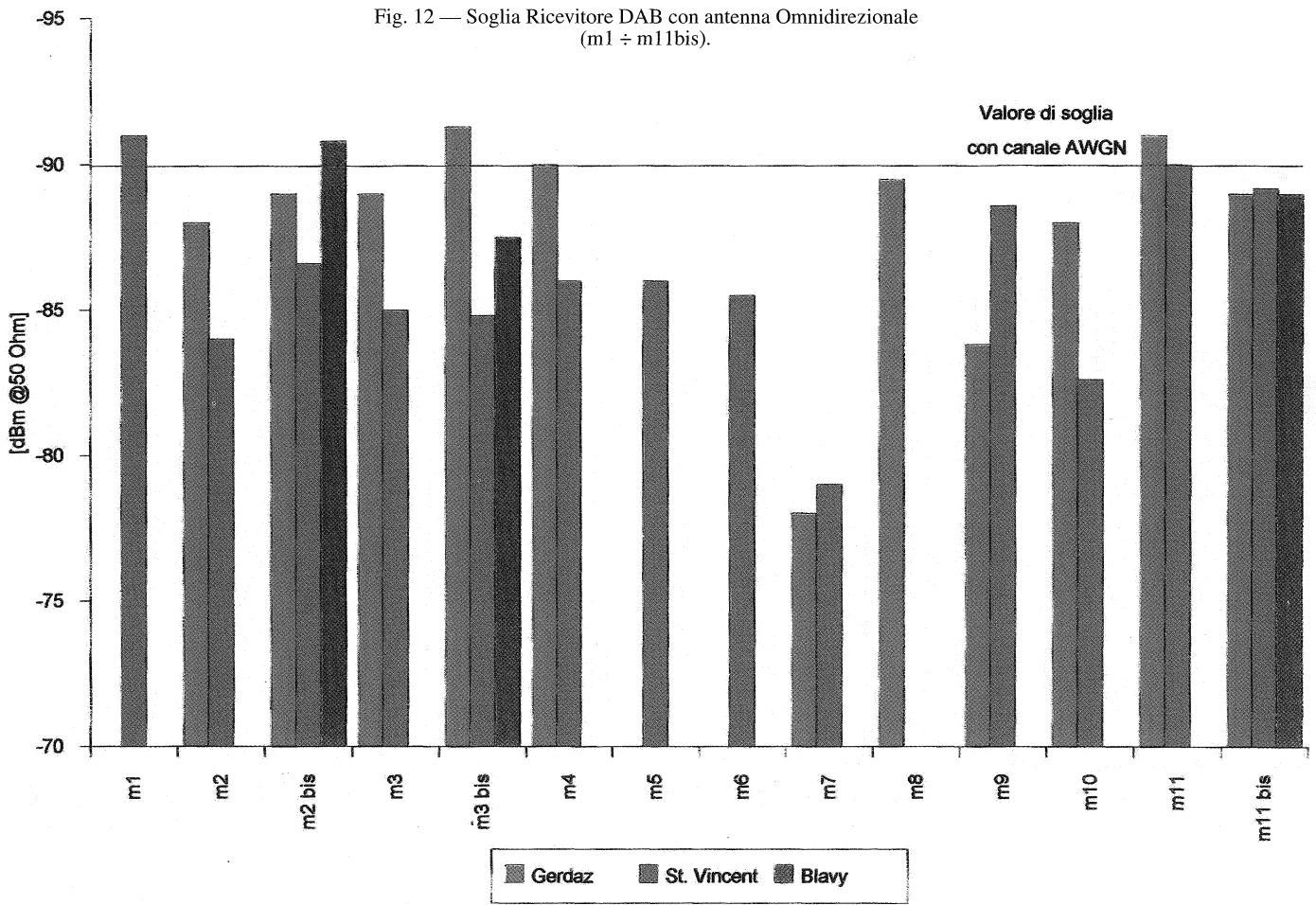


Fig. 13 — Soglia Ricevitore DAB con antenna Omnidirezionale (m12 ÷ m23).

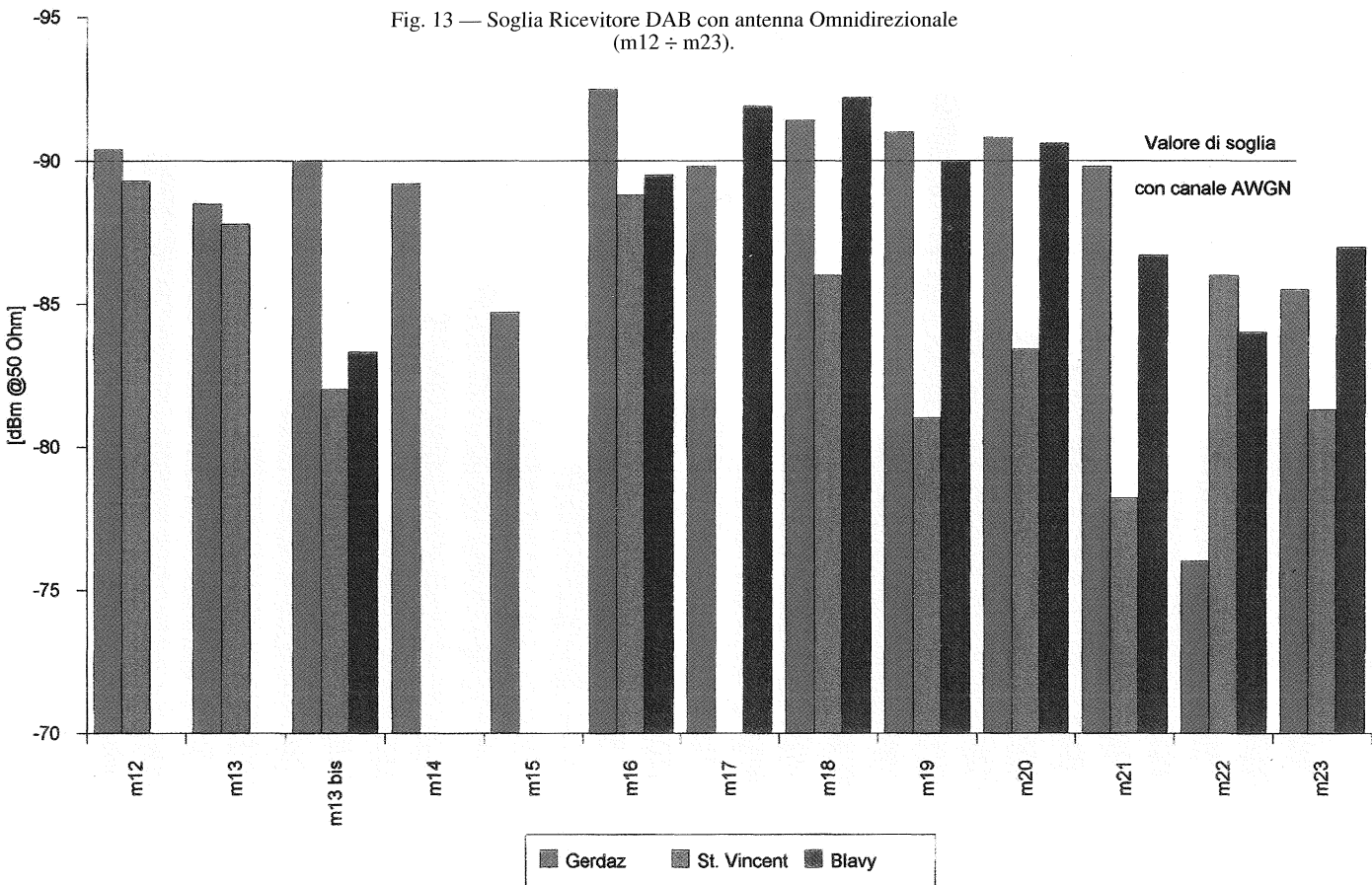


Fig. 14a — Potenza all'ingresso del ricevitore DAB misurata alla soglia di funzionamento in SFN (m1 ÷ m23).

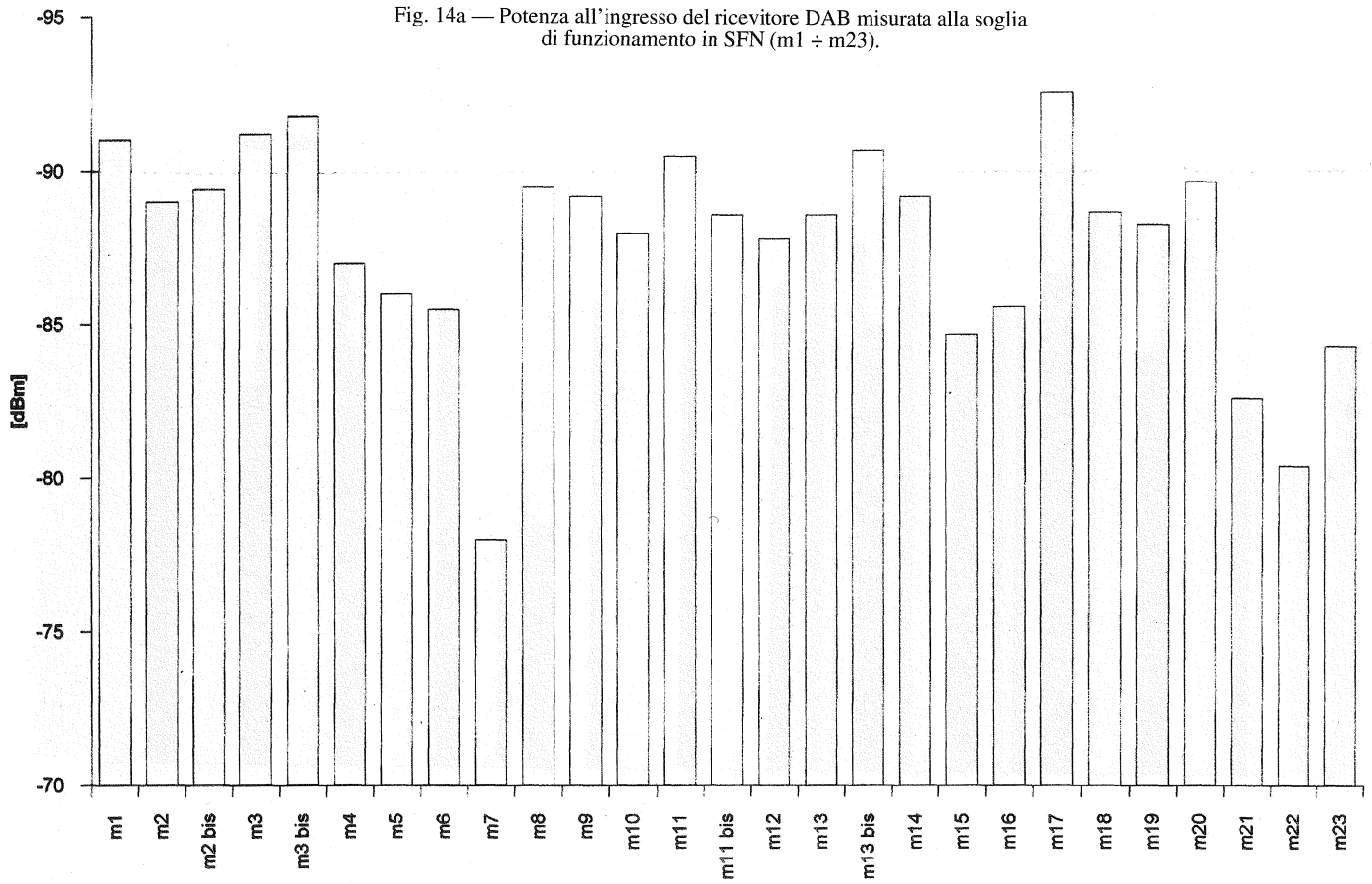
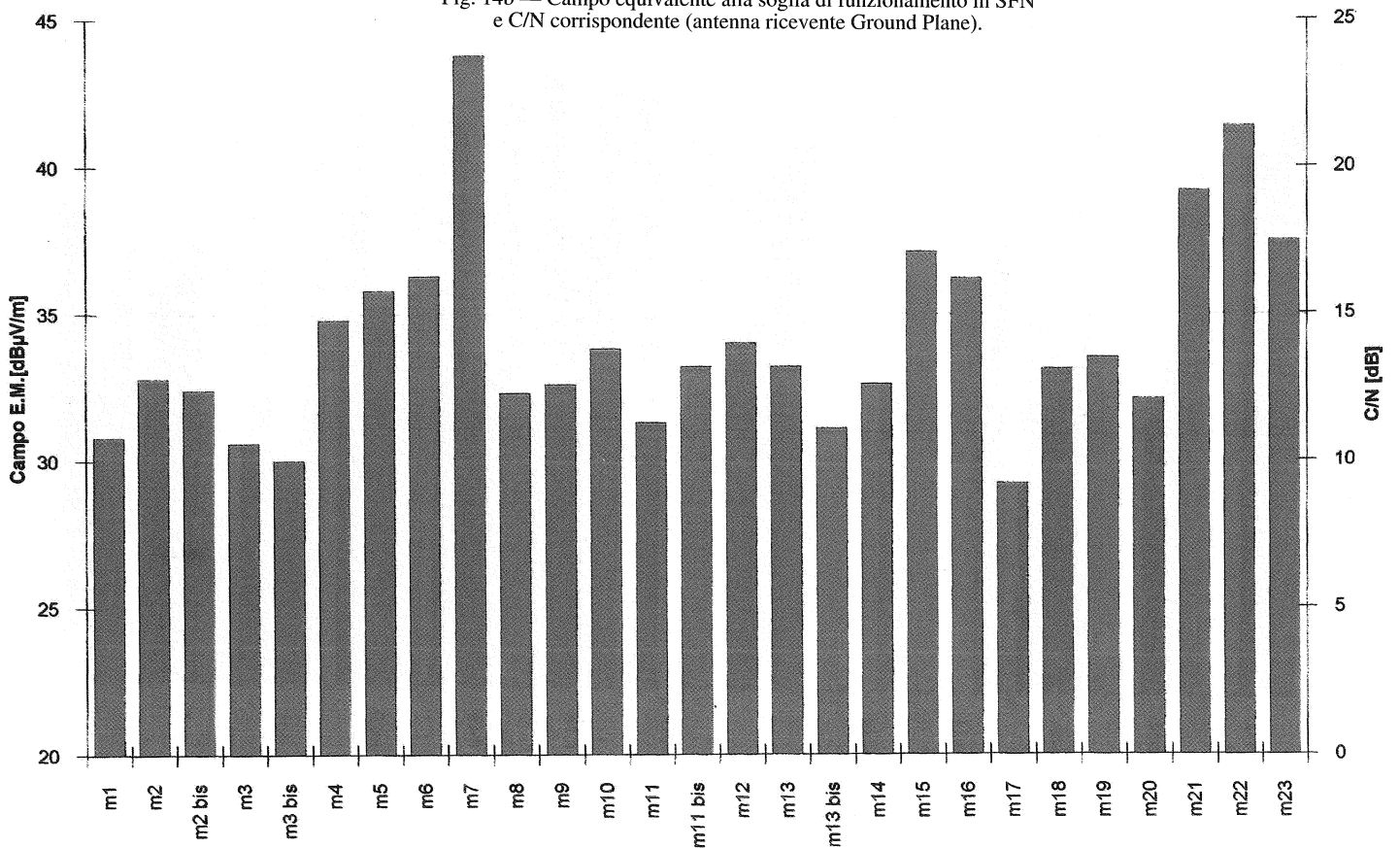


Fig. 14b — Campo equivalente alla soglia di funzionamento in SFN e C/N corrispondente (antenna ricevente Ground Plane).



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 -90dBm 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(μ V/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(μ V/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 (85dB(μ V/m), figura 7). Ciò è 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 m 22, 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 m 7 e m 22)
- ricezione con antenna omnidirezionale in rete SFN (figura 14a e b esclusi i punti anomali m 7 e m 22)

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 dBmV/m	C/N (dB)
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

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(μ V/m) per il caso di ricezione da impianti singoli e 33,4 dB(μ V/m) per il caso della rete SFN, mentre nel caso di antenna direttiva 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 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 trasmettenti, 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 trasmettenti 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 3^a 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 trasmettenti 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.

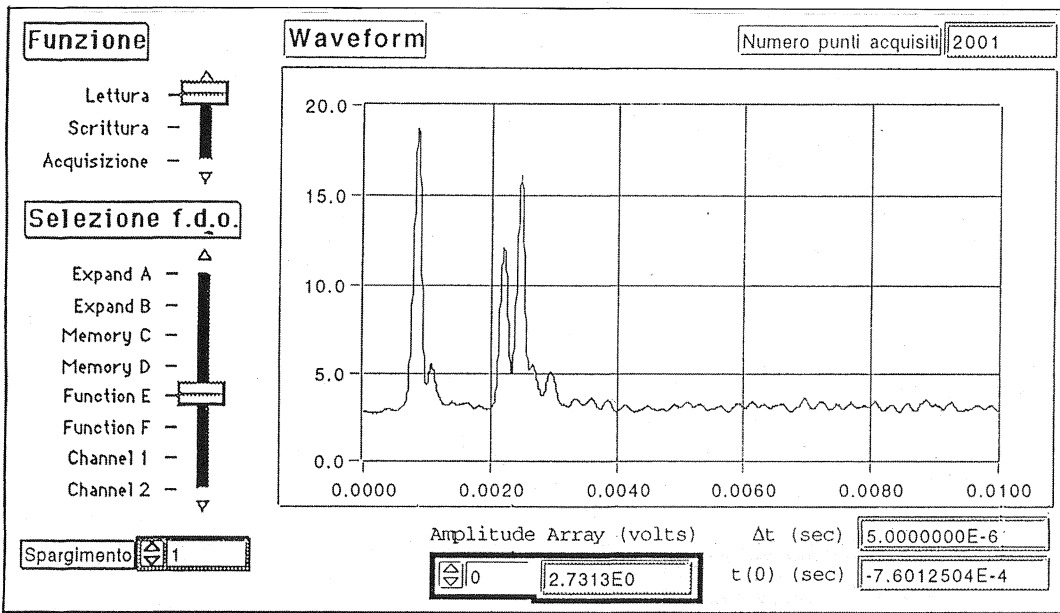


Fig. 1A — Risposta all'impulso nel punto di misura m 13.

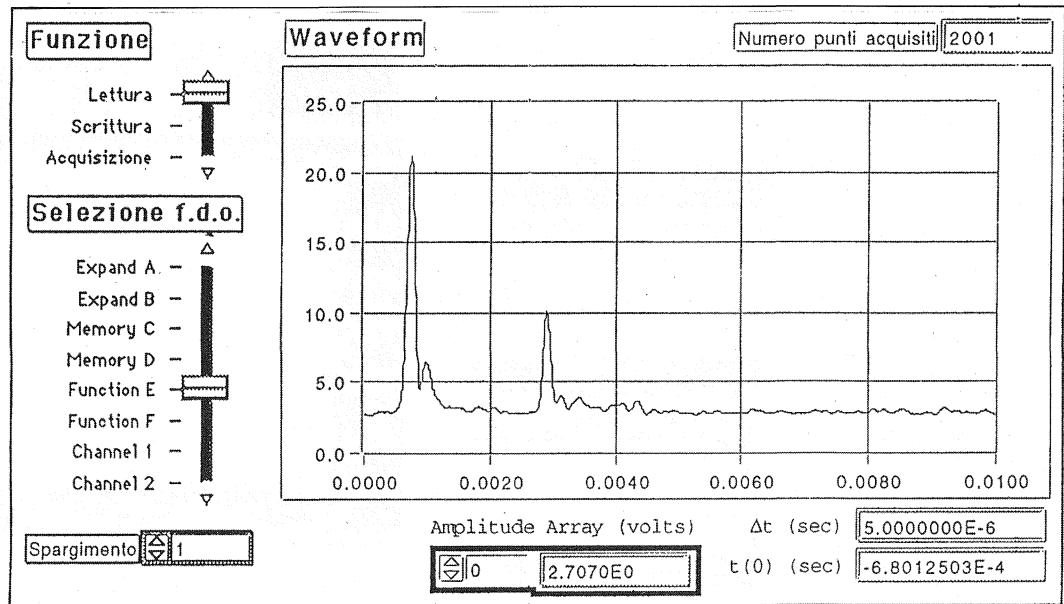


Fig. 2A — Risposta all'impulso nel punto di misura m 16.

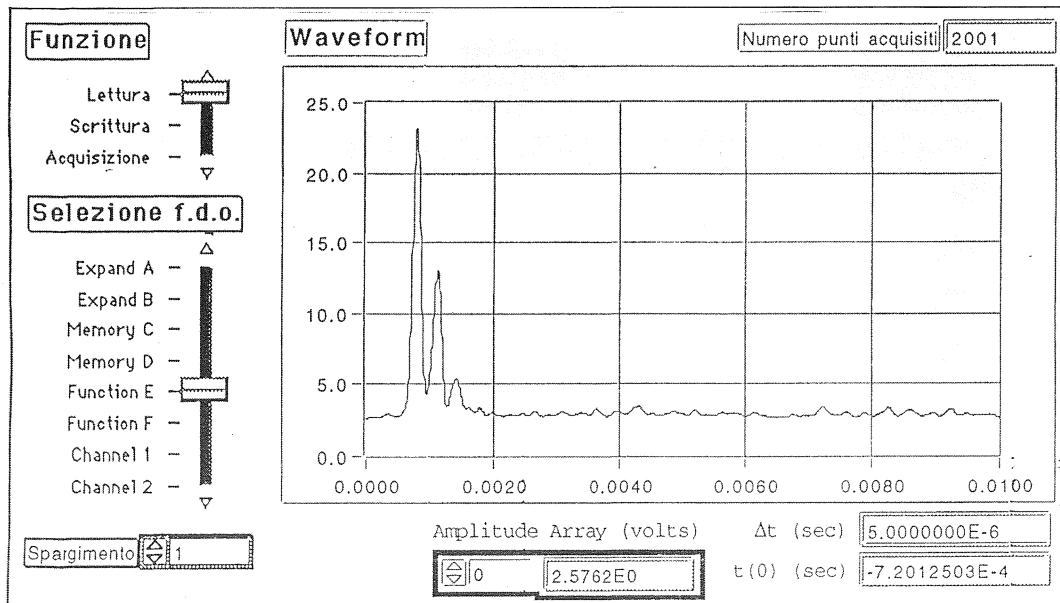


Fig. 3A — Risposta all'impulso nel punto di misura m 19.

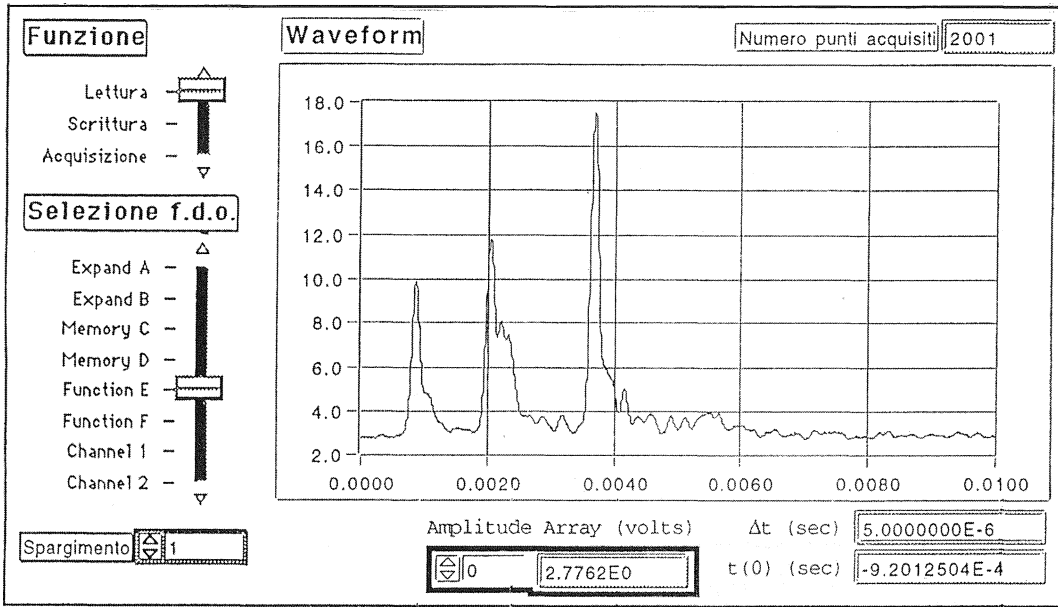


Fig. 4A — Risposta all'impulso nel punto di misura n 22.

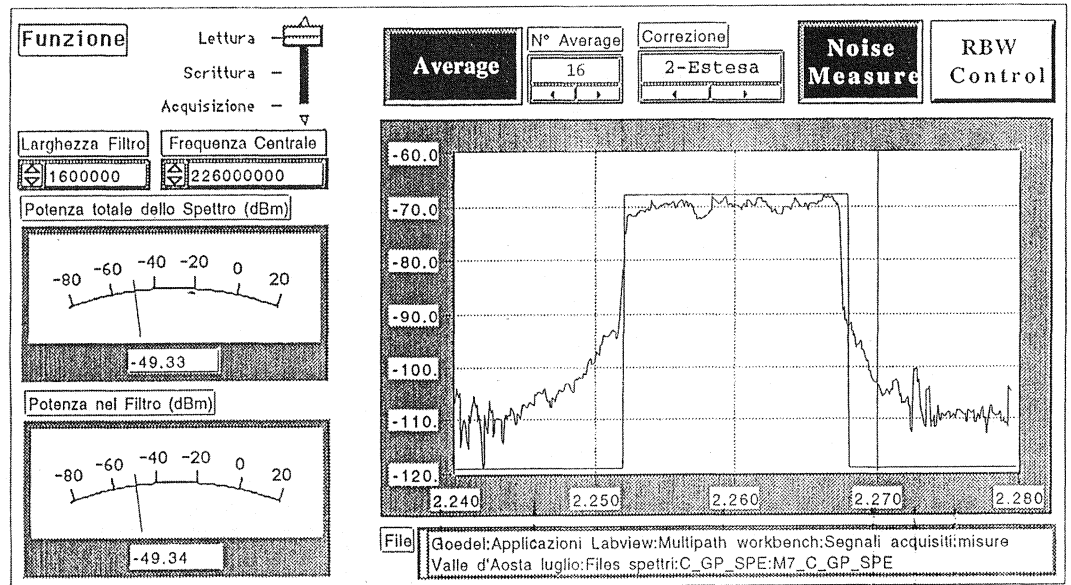


Fig. 5A — Spettro di potenza del segnale DAB-T nel punto di misura n 7.

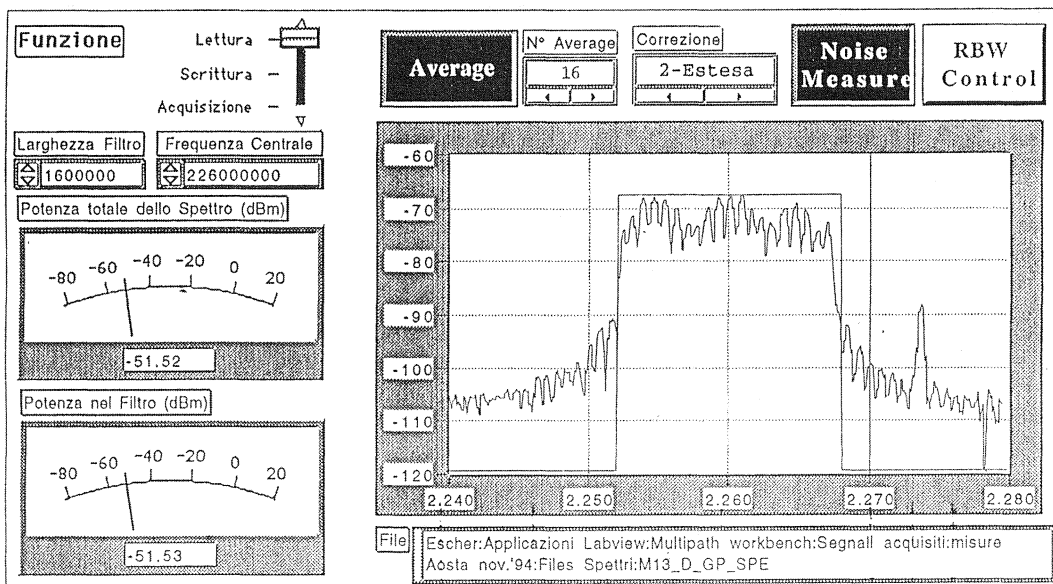


Fig. 6A — Spettro di potenza del segnale DAB-T nel punto di misura n 13.

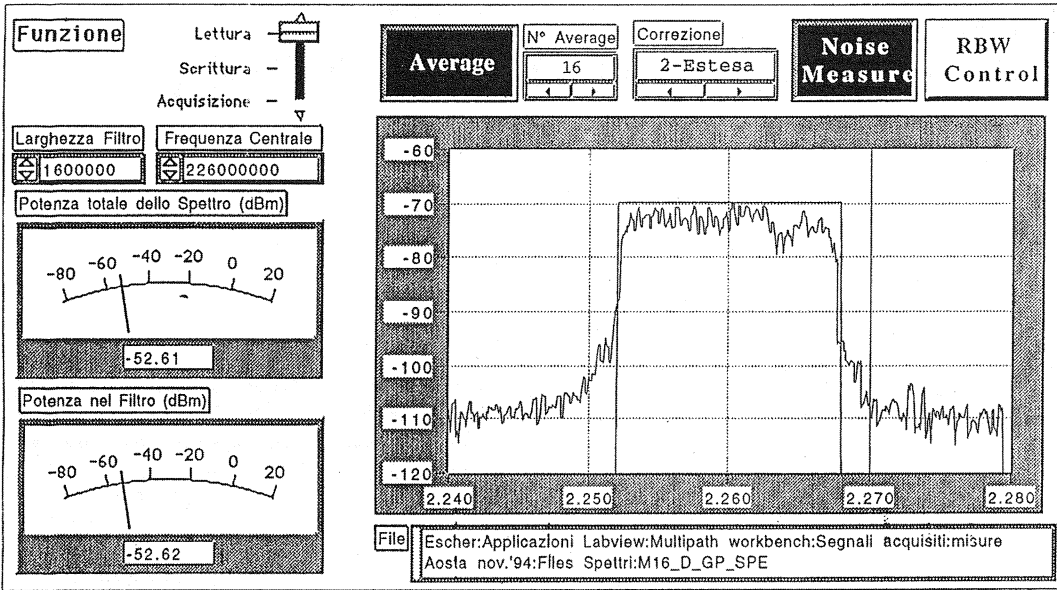


Fig. 7A — Spettro di potenza del segnale DAB-T nel punto di misura m 16.

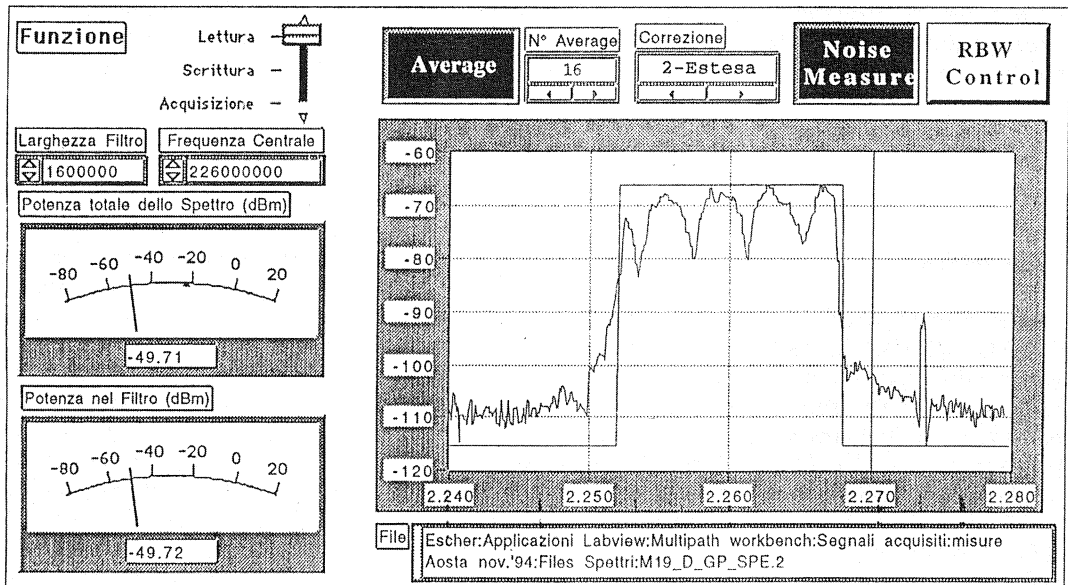


Fig. 8A — Spettro di potenza del segnale DAB-T nel punto di misura m 19.

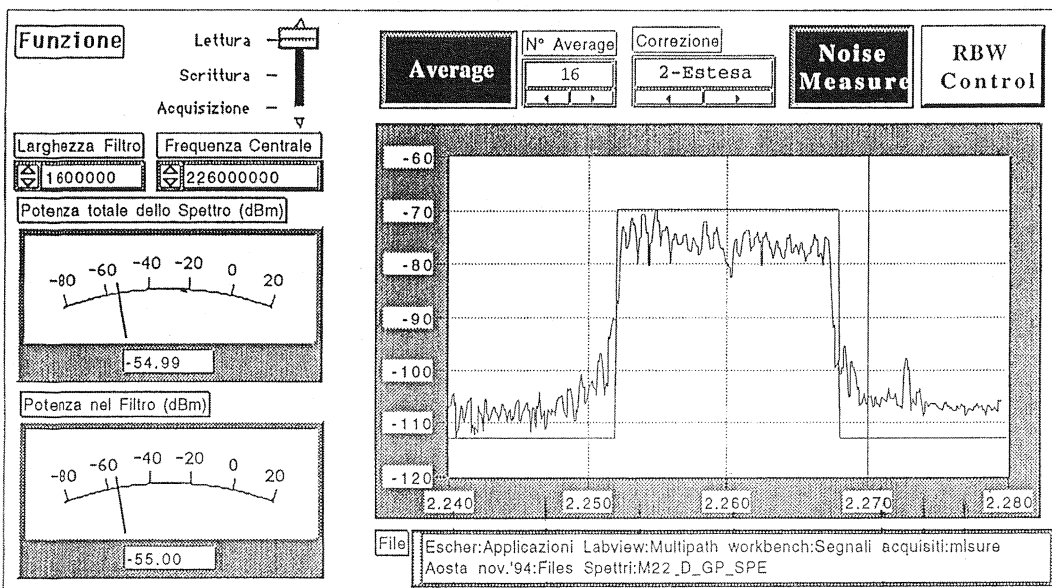


Fig. 9A — Spettro di potenza del segnale DAB-T nel punto di misura m 22.