

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 diffuse 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

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

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 μ s, e consente di superare anche in ricezione mobile, gli effetti distruttivi della propagazione multipercorso, purché il ritardo degli echi sia contenuto entro i 300 μ s. 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 EU-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

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 trasmettenti. 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 trasmittente 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 trasmittente 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 trasmittente con EIRP di 72 dBW (antenna da 2,4 m.) installata presso il Centro Ricerche permetterà l'accesso diretto al satellite.

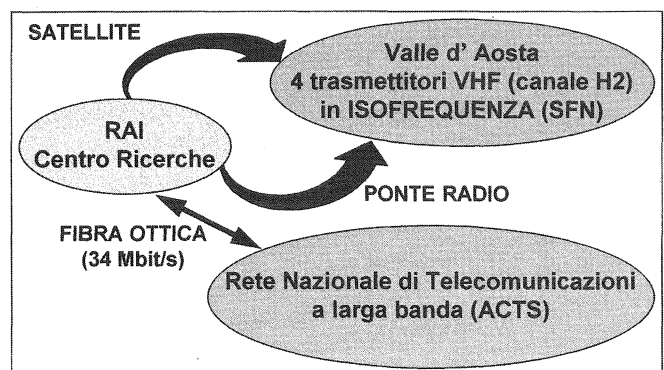


Fig. 1 — Architettura della rete sperimentale DAB-T

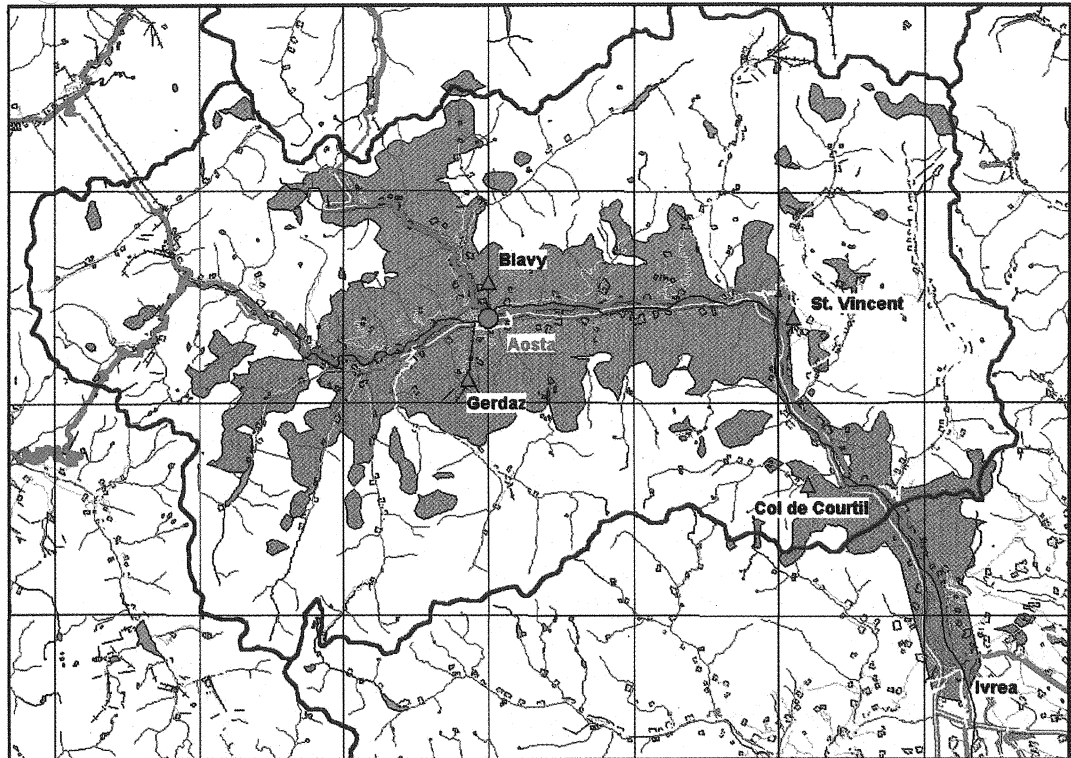


Fig. 2 — Area di copertura del Servizio sperimentale DAB-T in Valle d'Aosta

In prospettiva, le funzioni di codifica e moltiplicazione 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 adatterà lo standard DVB; ciò consentirà una ricezione affidabile da Hot-Bird 1 con piccole antenne riceventi (1,2 metri), facilmente installabili presso gli impianti trasmettenti 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 trasmettenti 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/spengimento
- 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 trasmittente 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 trasmissivi.

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.