



Il sistema DVB-H per la TV Mobile

ing. Andrea **Bertella**,
ing. Paolo **Casagrande**,
ing. Davide **Milanesio**,
p.i. Mirto **Tabone**

Rai
Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica

1. Introduzione

Il rapidissimo sviluppo della telefonia mobile e dei sistemi diffusivi digitali ha dato impulso alla creazione di nuovi standard tecnologici che rendono possibile vedere programmi televisivi su apparati portatili in movimento: i luoghi in cui possiamo fruire di servizi televisivi non sono più limitati ai luoghi "tradizionali" in cui si trova il ricevitore, tipicamente in casa, ma si allargano, consentendo la visione delle immagini televisive ovunque l'utente si trovi.

Negli ultimi anni diverse tecnologie, con alterne fortune, si sono candidate per essere utilizzate per la trasmissione di immagini verso ricevitori portatili in movimento:

- GPRS (*General Packet Radio Service*): il bit rate disponibile varia all'incirca fra i 30 e i 50 kbps, che non garantiscono

Sommario

La tecnologia DVB-H (*Digital Video Broadcasting – Handheld*) permetterà la ricezione di immagini televisive su terminali portatili, utilizzando una rete broadcast, superando le problematiche, principalmente legate al costo della rete, insite nell'utilizzo di reti cellulari per la TV mobile. L'articolo descrive nei dettagli il sistema DVB-H, rivolto a terminali dotati di piccolo display e con funzionalità condivise con altre applicazioni, evidenziandone le peculiarità e i miglioramenti introdotti rispetto al DVB-T, in particolare in termini di protezione dei dati trasmessi e di durata della batteria. È inoltre riportata una panoramica sulle tipologie previste di terminali DVB-H e sullo stato di avanzamento della standardizzazione, anche grazie ai progetti di sperimentazione attualmente in corso, in cui il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica della Rai è attivamente coinvolto.

una qualità accettabile anche su schermi di piccolissima dimensione (telefoni cellulari).

- UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*): il bit rate disponibile varia fra i 100 e i 300 kbps, che permette di ottenere una qualità buona o accettabile perlomeno su schermi di piccola dimensione. Più recentemente il consorzio 3GPP ha creato lo standard *Multimedia Broadcast/Multicast Services* (MBMS [1]), che però è ancora lontano dal mercato.
- DAB (*Digital Audio Broadcasting*): è stato ideato per le trasmissioni radiofoniche; il DMB (*Digital Multimedia Broadcasting*) permetterebbe di utilizzare canali DAB per il trasporto di segnali video, con prestazioni paragonabili a quelle del DVB-H sebbene con minore libertà di configurazione del servizio. In ogni caso questa tecnologia, a molti anni dalla sua nascita, non ha ancora avuto un grande successo di mercato.
- DVB-T (*Digital Video Broadcasting-Terrestrial*) [2]: è stato ideato per la ricezione fissa benché utilizzando le modulazioni più robuste è possibile ottenere la ricezione mobile.

Nota 1 -
Attualmente lo standard 3GPP MBMS (*Multicast Broadcast Multimedia Services*) [1], ancora in fase di evoluzione, non è ancora utilizzato in servizi commerciali

Alcuni operatori GSM e UMTS stanno già proponendo servizi televisivi sul cellulare. Il problema consiste nel fatto che per veicolare programmi radiofonici e televisivi, le reti cellulari, in cui allo stato attuale lo stesso segnale deve essere replicato per il numero di utenti interessati, costano 10-100 volte di più delle reti broadcast ad elevata potenza e copertura. Il bit-rate richiesto è al momento all'incirca proporzionale al numero di richieste^{Nota 1}, poiché lo streaming si appoggia su un'architettura che è ancora punto-punto.

2. Lo standard DVB-H

Il DVB-H è il più recente protocollo definito dal consorzio Digital Video Broadcasting (DVB). Inizialmente nato come DVB-M (*Mobile*), successivamente rinominato DVB-X e quindi DVB-H (acronimo di *Digital Video Broadcasting to Handheld*, per sottolineare che si tratta di servizi rivolti non soltanto ad apparecchi installati in auto, ma più genericamente a terminali portatili "che stanno in una mano"), questo sistema si rivolge alla distribuzione di servizi multimediali a terminali mobili in modalità multicast e broadcast.

Il sistema DVB-H è stato sviluppato dal gruppo ad hoc TM-H del *Technical Module DVB*, e presieduto da Nokia. Attualmente con DVB-H si intende sia la parte propriamente trasmissiva della specifica sia l'architettura e i protocolli di *IP Datacast* in via di definizione da parte del gruppo TM-CBMS. Il protocollo DVB-H in realtà non è uno standard a sé stante, alternativo agli altri presentati in precedenza (DVB-S, DVB-C e DVB-T), ma è stato pensato come un'evoluzione del sistema DVB-T, con cui condivide la gamma di frequenze, aggiungendovi quelle funzionalità necessarie per garantire maggiore robustezza nella ricezione in movimento, un minor consumo delle batterie e una maggiore sinergia con il mondo Internet. È quindi stato garantito che, almeno per un certo numero di possibili configurazioni, sia possibile la coesistenza tra servizi DVB-T e DVB-H nello stesso canale a radiofrequenza.

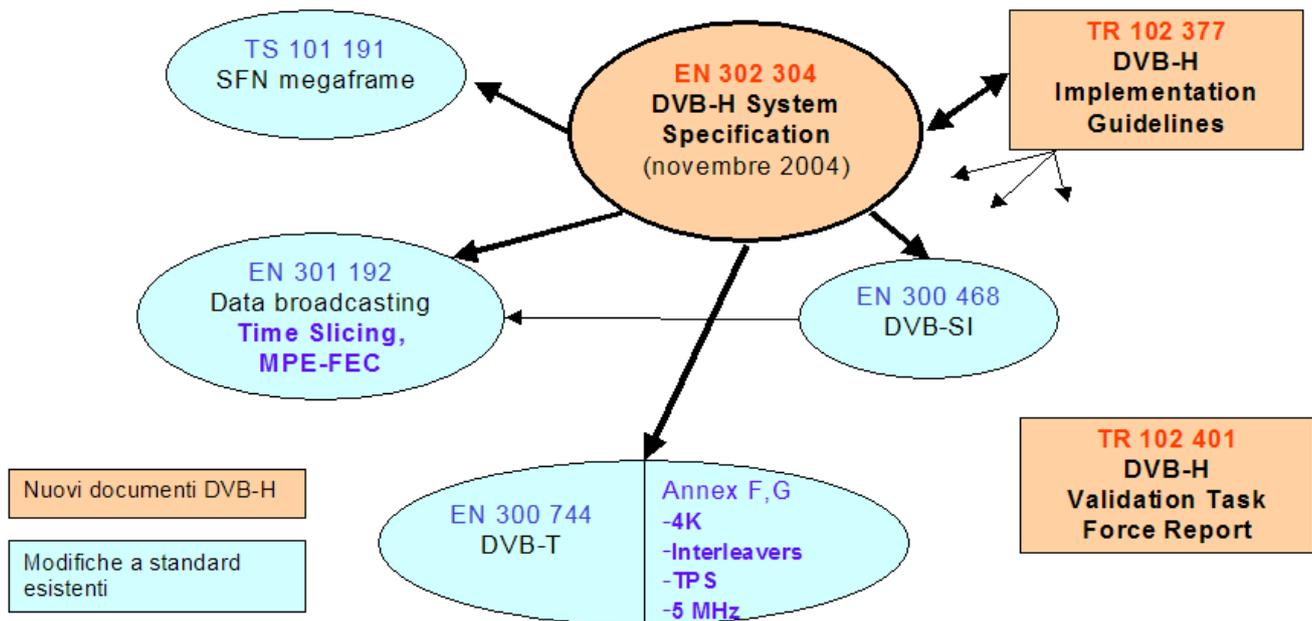


Fig. 1 - Lo standard DVB-H (senza la parte di IP Datacast)

Lo standard, approvato e pubblicato nel novembre 2004, è infatti costituito da un solo nuovo breve documento e dalla modifica di un certo numero di altri documenti DVB preesistenti (v. capitolo 5.1 e figura 1).

Lo standard includerà anche l'infrastruttura di *IP Datacast* (Guida Elettronica ai Servizi, Architettura, Protocolli di distribuzione dei contenuti, AL-FEC), che non è ancora del tutto ultimata. Infatti, DVB-H è caratterizzato dalla trasmissione di dati nello stesso formato utilizzato nella distribuzione di pacchetti dati tramite internet. Il protocollo IP applicato al DVB-H può essere utilizzato per il trasferimento, oltre che di video e audio, di *file*, pagine html, immagini, video clip. L'impiego del protocollo IP comporta un ulteriore vantaggio: permette al DVB-H di utilizzare tutta una serie di componenti e protocolli standard per l'elaborazione, l'immagazzinamento e la trasmissione dei dati.

Notiamo infine che sono state recentemente completate le "*Implementation Guidelines*" [4], ovvero le linee guida, rivolte ai costruttori di apparati e agli operatori di rete, per la realizzazione di servizi DVB-H: ha contribuito al loro completamento l'attività di sperimentazione attualmente in corso, che ha inoltre prodotto il documento relativo alle prestazioni del sistema ("*Validation Task Force Report*", [5]).

3. Terminali DVB-H

Il sistema DVB-H è stato progettato per funzionare con diverse classi di servizio: ricezione portatile con ricevitore fermo o a bassa velocità ("*pedestrian*"), ricezione portatile indoor, ricezione mobile con antenna esterna (es. in auto), ricezione indoor con terminali portatili in veicoli in movimento (es. treni, bus, ...).

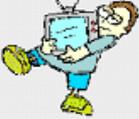
	Categoria	Bande di frequenza (Europa)	Note
1	Terminale integrato in auto 	VHF III UHF IV, V	Ricezione mobile; Antenna esterna
2a / 2b	TV portatile / tascabile 	VHF III UHF IV, V	Ricezione portatile indoor/outdoor; Antenna esterna
3	Terminale "handheld" 	UHF IV, UHF V	Ricezione portatile indoor/outdoor; Antenna interna

Fig. 2 - Categorie di terminali DVB-H

I terminali DVB-H possono essere classificati in una di queste tre categorie (figura 2):

1. Terminale integrato in auto, concettualmente simile alle attuali autoradio, ma dotato di uno schermo (destinato naturalmente ad essere utilizzato da parte dei passeggeri, oppure a veicolo fermo!). L'antenna è installata all'esterno della carrozzeria, e la ricezione in movimento è garantita fino alle alte velocità.
2. Televisore portatile o tascabile, dotato di antenna esterna o estraibile, adatto alla ricezione indoor o outdoor.
3. Terminale palmare (*handheld*), eventualmente integrato con altri sistemi (telefono cellulare GSM o UMTS, WiFi, Bluetooth, radio FM, ecc.), di piccole dimensioni e con antenna integrata, adatto alla ricezione portatile indoor o outdoor, ma di cui è previsto l'utilizzo

anche in movimento, a bordo di veicoli (bus, treni, auto, ecc.).

L'utilizzo di ricevitori portatili richiede naturalmente schermi di dimensioni limitate. Di conseguenza, anche se lo standard non impone particolari limitazioni, il formato video sarà in genere CIF (*Common Intermediate Format*), con risoluzione 352x288 pixel, corrispondente a circa 1/4 della TV tradizionale, oppure anche QCIF (*Quarter CIF*), con risoluzione 176x144, corrispondente a circa 1/16 della TV tradizionale.

Dal punto di vista tecnico, per i costruttori di apparati, progettare terminali *handheld* pone delle problematiche anche per quanto riguarda la banda di frequenze utilizzate. Infatti, è molto difficile realizzare un'antenna integrata, di così piccole dimensioni, che sia anche a banda larga: per questa ragione la banda di frequenze coperta includerà tendenzialmente solo la UHF e non la VHF. Inoltre, se lo

stesso terminale funge anche da telefonino GSM a 900 MHz, per problemi di interferenze all'interno dell'apparecchio, occorre escludere le frequenze più alte della banda UHF: in questo caso, i canali utilizzabili per il DVB-H saranno limitati a quelli compresi tra il 21 e il 49 UHF (470 ÷ 698 MHz)^{Nota 2}.

Questa categoria di ricevitori DVB-H sarà basata su terminali del tipo di quelli, di alta gamma, già esistenti, detti anche *smartphone*, a metà strada tra un telefono cellulare e un palmare, come in figura 3.

Attuali terminali di questo tipo possono avere un peso inferiore a 200 g e dimensioni di circa 130x70x20 mm, ospitando un display LCD ad alta risoluzione, di 640x320 pixel e con 65000 colori. Il display è di tipo *touch screen*, con tastiera a video e/o riconoscimento della grafia. Oltre alle normali funzioni di chiamata telefonica, invio di SMS/MMS e rubrica, permettono anche l'accesso a *streaming video*, *clip* musicali (ad es. MP3), immagini (JPEG, BMP, GIF anche animate, ecc.).

Su questo terminale sono quindi già disponibili le funzionalità di base necessarie per fruire dei servizi *broadcast (streaming video)* ricevuti mediante DVB-H. Il modulo DVB-H progettato per questi terminali è stato quindi pensato per una facile integrazione nell'apparecchio: ad esempio, è inserito nel coperchio posteriore (decoder + antenna integrata).

La maggiore sfida di questo tipo di ricevitori DVB-H è legata alla durata delle batterie. Terminali di questo tipo dotati di una batteria da 1300 mAh, hanno autonomia dichiarata da 3 a 12 ore in conversazione e fino a 10 ÷ 14 giorni in stand-by; la

sezione ricevente DVB-H comporta necessariamente un maggior assorbimento di corrente, anche se la tecnica del *Time Slicing* permette un risparmio fino al 90% sul consumo che sarebbe necessario per la ricezione DVB-T. Va poi tenuto presente il consumo del display, che resta costantemente acceso durante la visione di un programma televisivo.

In alternativa a questi *smartphone* integrati, saranno disponibili ricevitori DVB-H da collegarsi ad un PC o ad un palmare/PDA (figure 4 e 5).

Nota 2 - È allo studio presso il Gruppo TM-H la possibilità di estendere la banda utilizzabile fino al canale 55 UHF (ovvero 470 ÷ 750 MHz).



Fig. 3 - Terminale DVB-H handheld

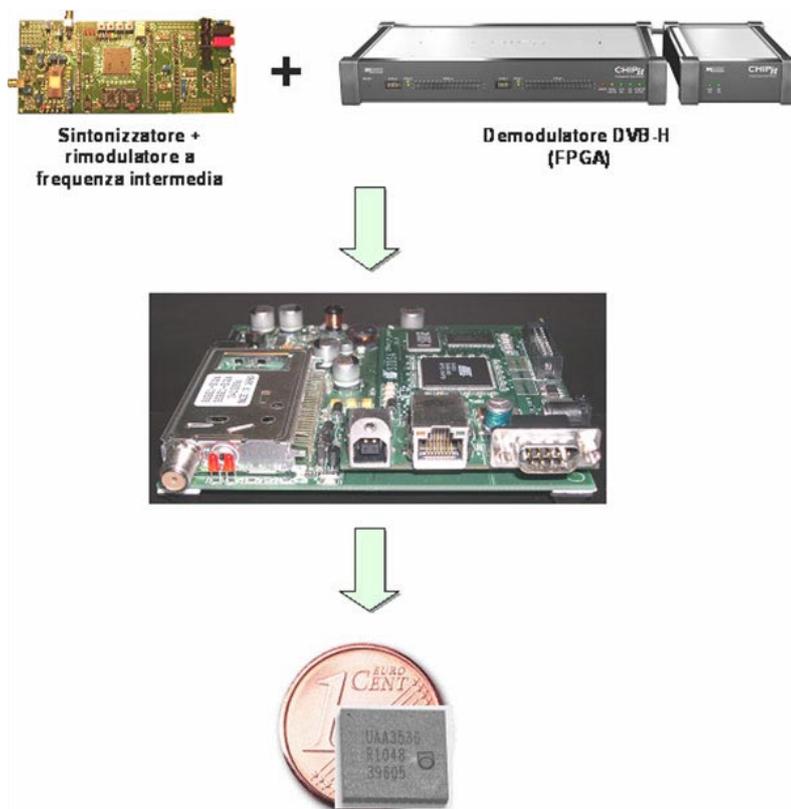
Nel caso di un PC, il ricevitore può essere un modulo esterno, che si incarica della sintonizzazione del segnale e dell'estrazione dei dati IP incapsulati sul DVB e li rende disponibili sulla porta USB, mentre la decodifica DVB-H con la correzione degli eventuali errori (MPE-FEC) e la visualizzazione dei flussi video ricevuti (*streaming*) può essere effettuata via software dallo stesso PC.

Nel caso di terminali basati su PDA (*Personal Digital Assistant*), il modulo ricevitore DVB-H può essere realizzato su di una scheda *Compact-Flash*.



Fig. 4 - Terminali DVB-H basati su PDA

Fig. 5 - Evoluzione dei ricevitori DVB-H prototipali



La tendenza dei costruttori di apparati sarà comunque quella di produrre chip miniaturizzati, integrabili in ogni tipo di ricevitore, e dal consumo inferiore a 50 mW.

4. Il sistema DVB-H: dettagli tecnici

Gli “strumenti” aggiuntivi rispetto al DVB-T messi a disposizione dal DVB-H sono:

- *Time Slicing*: per ridurre il consumo delle batterie.
- *IP DataCast*: per aumentare la flessibilità nella trasmissione dei dati (audio, video e file).
- *MPE-FEC (Multi Protocol Encapsulation – Forward Error Correction)*: per aumentare la robustezza.
- *Modo 4k*: per aumentare la flessibilità del sistema in termini di pianificazione della rete di diffusione.
- *Interleaver esteso* (nei modi 2k e 4k): per avere una maggiore immunità dalle interferenze.
- *TPS-bit*: per inviare segnalazioni a livello fisico che identificano un flusso DVB-H.
- *Algoritmi di codifica video*: il DVB-H utilizza algoritmi di ultima generazione per aumentare l'efficienza della compressione video in particolare a bassi bit-rate.

MPE-FEC e *time-slicing* sono compatibili con lo standard DVB-T, permettendo ai ricevitori DVB-T tradizionali di interpretare correttamente il segnale, semplicemente ignorando la segnalazione DVB-H. Questo funzionamento va naturalmente a scapito di una perdita di efficienza trasmissiva, dell'ordine del 25%, variabile a seconda della configurazione DVB-H. Il modo 4k invece non può essere usato, se si vuole mantenere la compatibilità con il DVB-T.

Nella figura 6 è rappresentato lo schema a blocchi del sistema DVB-H. I blocchi evidenziati sono quelli che sono stati aggiunti al DVB-T. Gli altri sono comuni ai due standard.

4.1 Time Slicing

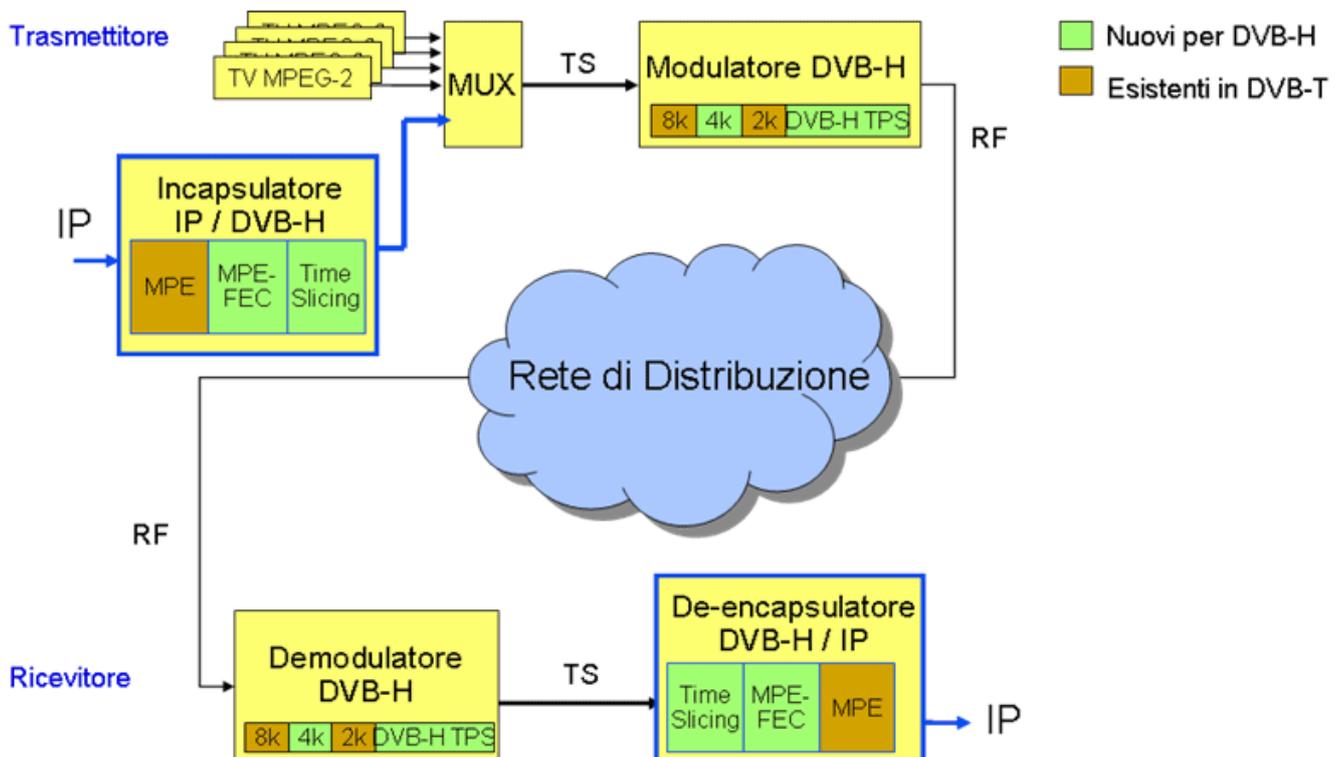
Cominciamo a vedere il funzionamento del *Time Slicing* (figura 7): i dati relativi ad un certo programma sono trasmessi a pacchetti in intervalli di tempo noti, durante i quali il ricevitore, sintonizzato su quel dato programma, sarà attivo. Negli altri intervalli di tempo, in cui sono trasmessi altri programmi, il ricevitore è spento permettendo un risparmio di batteria che può arrivare fino al 95% rispetto ad un convenzionale ricevitore DVB-T. L'attivazione

del ricevitore è pilotata dall'indicazione del tempo che manca all'inizio del prossimo *burst* (Δt). La seguente figura illustra il comportamento di un ricevitore DVB-H (sintonizzato sul Programma 1).

L'utente naturalmente non si accorge di questa trasmissione a pacchetti in quanto il ricevitore memorizza i dati giunti ad un bit rate molto elevato e li rilascia ad una velocità pari al bit rate medio visualizzando così l'immagine in modo continuativo.

Il *Time Slicing* può essere implementato sia a livello MPE (Δt viene trasmesso all'interno delle sezioni MPE) che a livello di *Transport Stream*. Per permettere l'introduzione del codice correttore di errore MPE-FEC il *Time Slicing* è implementato a livello MPE. Questa soluzione presenta il

Fig. 6 - Schema a blocchi del sistema DVB-H



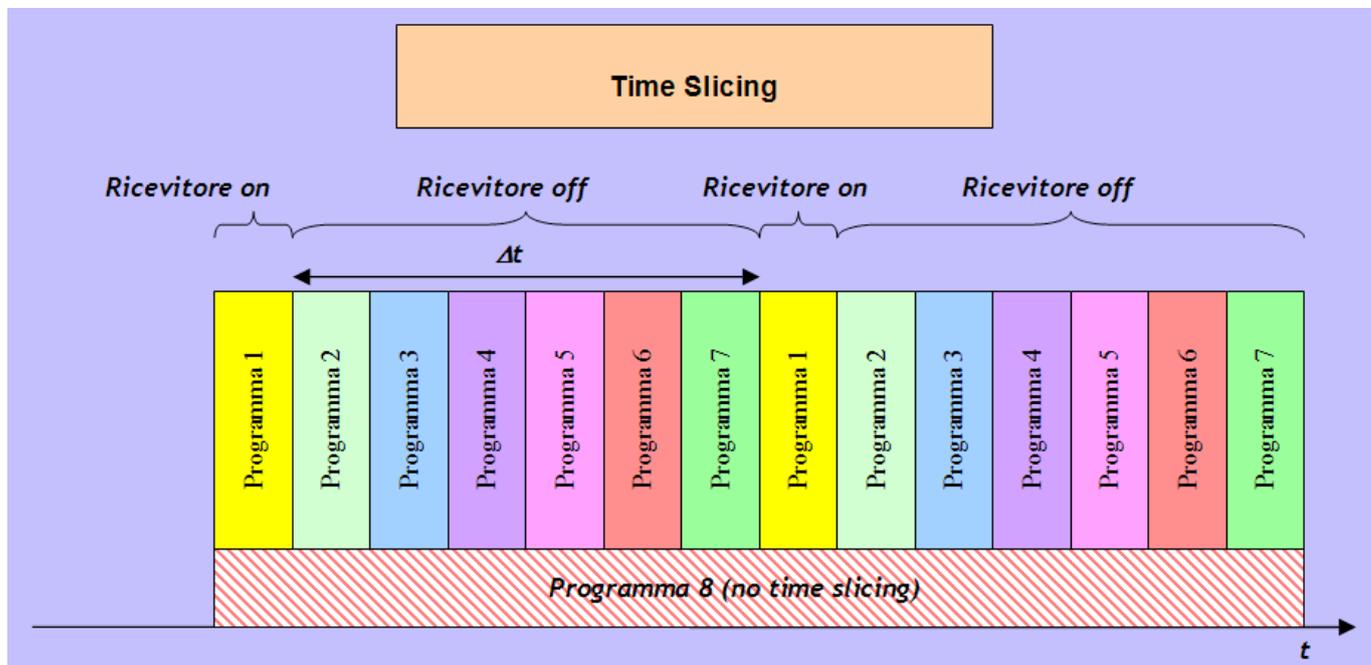
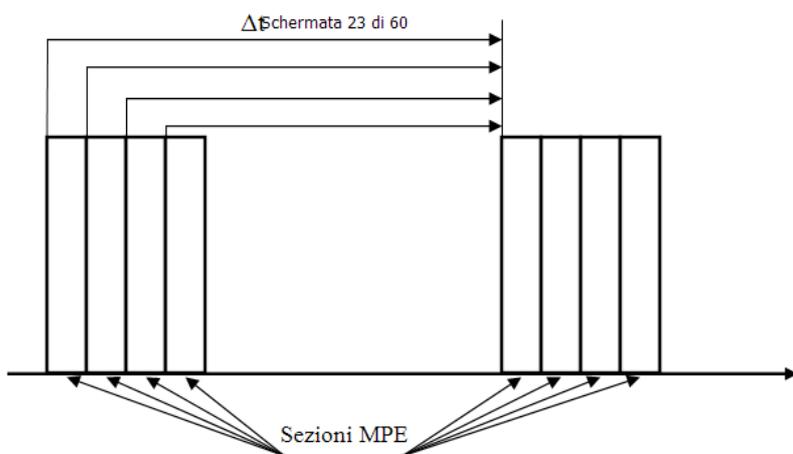


Fig. 7 - Time-slicing.

Fig. 8 - Il metodo Δt .



vantaggio di essere semplice ed economica visto che tutte queste funzioni possono essere svolte da un unico apparato (IP *encapsulator*)

Il Δt , come si vede in figura 8, serve per indicare il tempo che intercorre fra due burst successivi. L'idea base è quella di segnalare il tempo fra l'inizio della sezione MPE attualmente ricevuta e l'inizio del burst successivo.

La trasmissione del Δt nella sezione MPE elimina la necessità di sincronizzare i clock fra trasmettitore e ricevitore. Questa flessibilità è resa possibile grazie al fatto che i parametri del *Time Slicing* possono variare liberamente fra i burst all'interno

dell'elementary stream. Il ricevitore deve solamente garantire l'accuratezza del clock durante il tempo di off visto che ad ogni burst il clock verrà fatto ripartire.

Le informazioni relative al Time Slicing vengono inserite nella sezione header di MPE ove è allocato un campo di 6 byte per l'indirizzo MAC; dato che la lunghezza dell'indirizzo MAC è di un byte, rimangono liberi cinque byte che si possono usare per altri scopi come ad esempio per il trasporto dei parametri di Time Slicing. La trasmissione di questi cinque byte è obbligatoria indipendentemente dal fatto che vengano usati o meno.

Può succedere che in cattive condizioni di ricezione si perdano parti di un burst. Per evitare che il ricevitore rimanga in stato di attesa a causa della perdita del Δt , questa informazione viene inserita nell'header di ogni sezione MPE: in questo modo basta ricevere una sezione MPE per poter conoscere il Δt e risparmiare potenza anche in condizioni pessime di ricezione.

I parametri di un burst (figura 9) sono:

- **Burst size** (bit), è la dimensione in bit del burst. Essa non può superare la memoria del ricevitore che deve essere in grado di contenere il burst e rilasciarlo nel periodo di off.
- **Burst bandwidth** (bit/s), è il bit-rate istantaneo usato da uno stream elementare "Time Sliced" mentre trasmette un burst.
- **Constant Bandwidth** (bit/s), è la bit rate medio richiesto dall'elementary stream quando non è in Time slicing.
- **Burst Duration** (s), tempo che intercorre fra l'inizio e la fine del burst.
- **Off-time** (s), è il tempo che intercorre tra l'arrivo di due burst successivi.

- **Maximum Burst Duration** (s), è la massima durata del Burst. Deve essere trasmessa per ogni Elementary Stream in Time Slicing. Sia $T1$ il tempo indicato da Δt e sia $T2 = T1 + \text{Maximum Burst Duration}$, allora un burst non potrà iniziare prima di $T1$ e non potrà finire dopo $T2$. In cattive condizioni di ricezione, un ricevitore può usare questa informazione per conoscere la fine di un burst.

Il Time slicing è opzionale per ogni singolo

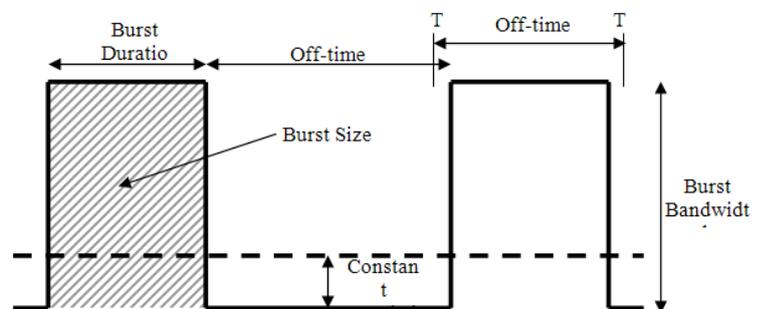


Fig. 9 - I parametri del burst.

flusso dati (programma) ed è così possibile avere bouquet di programmi "misti".

Il risparmio di potenza dovuto all'utilizzo del Time Slicing, come si vede in figura 10, è funzione del bit rate di picco (**Burst Bandwidth**) e del bit rate medio (**Constant Bandwidth**): tanto più è alto il rapporto fra il valore di picco e il valore medio quanto più grande sarà la durata delle batterie.

Un ulteriore vantaggio del *Time Slicing* è legato alla possibilità di monitorare le "celle" adiacenti durante il periodo di inattività del ricevitore. In questo modo il terminale che si trovasse a passare fra due celle potrà commutare da una all'altra senza fastidiose interruzioni. Questa modalità è chiamata *soft handover* (figura 11).

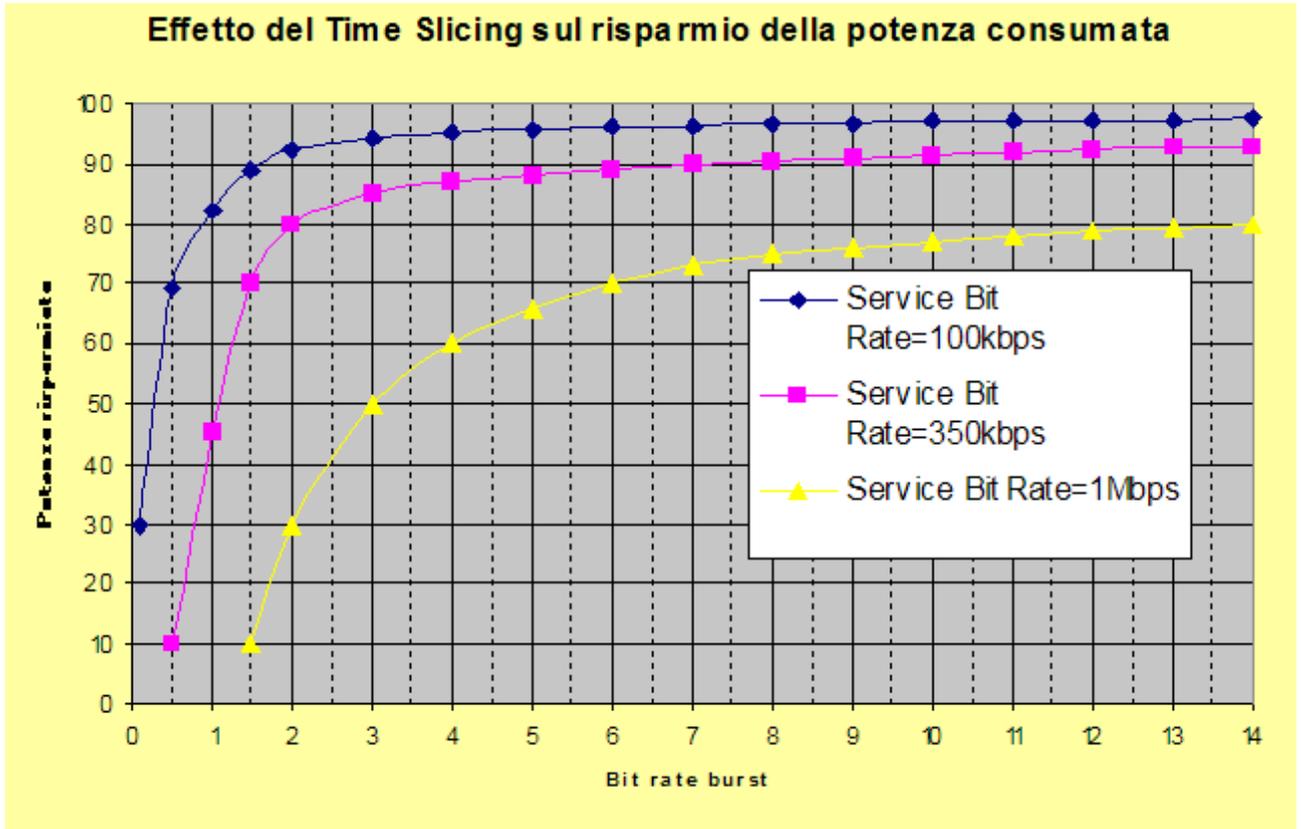
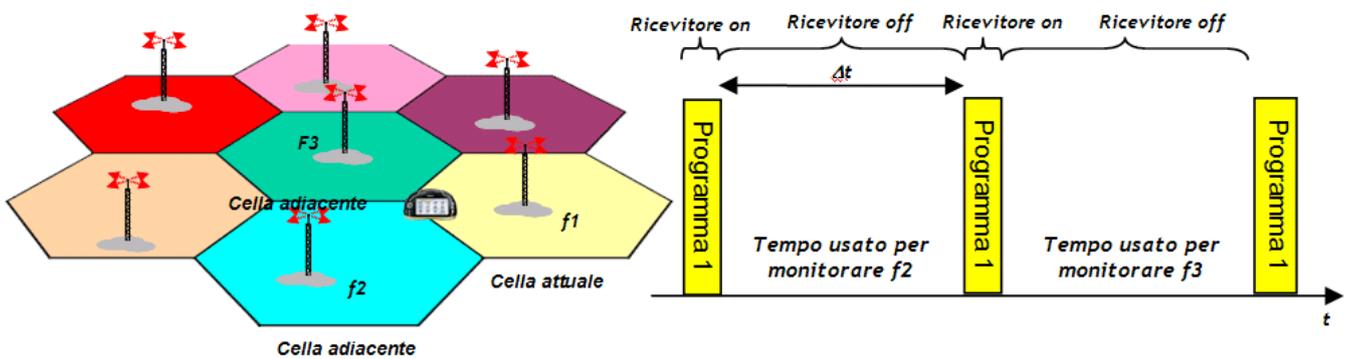


Fig. 10 - Effetto del Time-Slicing sul risparmio della potenza consumata.

Fig. 11 - Soft-handover nel DVB-H.



4.2 IP DataCast

DVB-H è il primo protocollo di *broadcasting* caratterizzato pienamente dall'utilizzo di IP per il trasporto di dati: vedremo nel seguito che questa caratteristica, ben lontana dall'essere un mero espediente tecnico, abilita di fatto la sinergia di servizi diffusivi, servizi cellulari/mobili e tecnologie del mondo Internet. In realtà l'impiego di IP per il trasporto dati era un'opzione da tempo presente nei profili di databroadcasting del DVB (profilo *Multi-Protocol Encapsulation*, vedi [6]), la diversità sta nella sua funzione: da semplice vettore di dati, in DVB-H IP è diventato anche il protocollo di trasporto standard di audio, video e metadati.

Il protocollo DVB-H è nato grazie al contributo di costruttori di apparati, broadcaster, centri di ricerca e operatori telefonici, all'interno di gruppi internazionali di standardizzazione come il DVB TM-H e TM-CBMS. La collaborazione di tutti questi soggetti per la creazione di uno standard che permettesse la sinergia dei mondi televisivo e delle telecomunicazioni era iniziata diversi anni prima, con progetti europei di ricerca della IST (*Information Society Technologies*) quali ad esempio l'IST CISMUNDUS (*Convergence of IP-based Services for Mobile Users and Networks in DVB-T and UMTS Systems*, 2001) e OverDRiVE (*Spectrum Efficient Uni- and Multicast Over Dynamic Radio Networks in Vehicular Environments*, 2002) [8]. La caratteristica comune è stata l'individuazione

di IP (IPv4 o il recente IPv6 [7], [9]) quale protocollo comune per il trasporto di audio, video e dati. In realtà la possibilità di trasportare dati su protocolli DVB era prevista già da diversi anni con i profili di *Multi-Protocol Encapsulation* (MPE), che permettevano l'inserimento opzionale di pacchetti IP nel *Transport Stream* DVB [6]. Questa scelta è stata adottata in DVB-H, rendendo molto più immediata la sinergia tra il mondo di Internet e della connettività bidirezionale e il mondo *broadcast*.

IP *Datacast* su DVB-H è definito dal consorzio DVB come un sistema diffusivo *end-to-end* per la distribuzione di contenuti digitali e servizi utilizzando meccanismi basati su IP, e ottimizzato per terminali con limitazioni sia sulla potenza di calcolo sia di durata delle batterie; una parte essenziale di IP *Datacast* è la possibile sinergia con un canale bidirezionale mobile. In questo modo IP *Datacast* è una piattaforma che può rendere possibile e facilitare la sinergia di servizi tra i mondi broadcast e delle telecomunicazioni.

La mancanza di un protocollo standard per il trasporto di file su IP senza canale di ritorno è stata superata alla fine del 2004, quando il protocollo FLUTE [10] è diventato uno standard sperimentale IETF ed è stato scelto subito dopo dal gruppo TM-CBMS, nell'ambito della *Call for Technologies IP Datacast*, per essere utilizzato con DVB. La figura 12 illustra il principio del protocollo FLUTE nello spedire un file:



Fig. 12 - Principio del protocollo FLUTE.

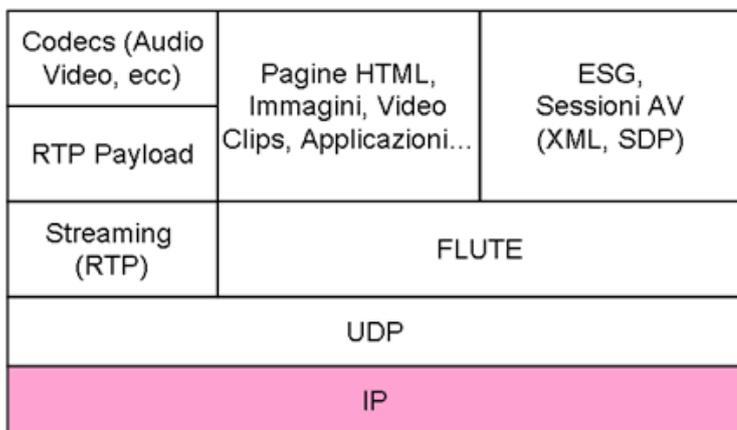


Fig. 13 - Schema dei protocolli utilizzati per il trasporto in DVB-H.

FLUTE permette di aggiungere un codice di protezione (*Forward Error Correction*, FEC) ai pacchetti UDP, in modo tale da aumentare l'affidabilità della trasmissione. Il codice può infatti ricostruire alcuni pacchetti non ricevuti utilizzando l'informazione ridondante introdotta durante la trasmissione. L'utilizzo del FEC a livello applicazione di FLUTE (AL-FEC) non è al momento obbligatorio, dal momento che l'affidabilità della ricezione è in parte aumentata dall'MPE-FEC incluso in DVB-H.

Al contrario dei protocolli normalmente utilizzati su Internet (e basati su TCP), FLUTE non richiede la presenza di un canale di ritorno, rendendo possibile il trasferimento di file sul canale broadcast.

Il trasporto di dati sul protocollo DVB-H utilizza quindi FLUTE (figura 13). Oltre ai file (applicazioni, immagini, video clip, pagine HTML), FLUTE trasporta anche le informazioni sui servizi, cioè la *Electronic Service Guide* (ESG).

Nota 3 - La ESG è attualmente nelle fasi conclusive di standardizzazione da parte del gruppo DVB TM-CBMS.

La ESG è nata come strumento per consentire all'utente di acquisire informazioni sui contenuti disponibili sulla rete DVB-H, e si presenta come uno strumento analogo alla *Electronic Program Guide* già utilizzata da alcuni protocolli DVB.

È da sottolineare che, mentre i ricevitori DVB-T, generalmente utilizzati in casa, richiedono che la scansione dei canali venga effettuata soltanto in fase di installazione, la mobilità del terminale DVB-H implica che la segnalazione dei programmi e la ricerca dei canali su nuove frequenze venga effettuata in modo più agile, se possibile senza intervento diretto dell'utente.

A differenza della EPG, la ESG è trasportata su IP da FLUTE e utilizza una specializzazione del formato XML per descrivere i suoi contenuti, e contiene tra le altre le seguenti informazioni:

- presenza di un canale TV Mobile (es. Rai Tre)
- presenza di opzioni multiple su un canale TV (es. linguaggi)
- segnalazione di nuovi servizi disponibili (video, audio, file)
- informazioni sulla possibilità di sottoscrivere servizi a pagamento (ad es. l'abbonamento ad un insieme di canali per un mese)

La ESG viene divisa in *frammenti* che vengono eventualmente raggruppati per la trasmissione, per rendere più veloce l'accesso dell'utente alle informazioni di interesse. La specifica della ESG diventerà presto standard ETSI^{Nota 3}.

Si veda infine uno schema dei protocolli utilizzati per il trasporto in DVB-H nella figura seguente. Si vede che la stessa pila protocollare può essere utilizzata

dallo standard 3GPP MBMS (*Multimedia Broadcast-Multicast Services*).

Come si vede, i protocolli e le tecnologie connesse ad IP Datacast aprono grandi opportunità per lo sviluppo di servizi a valore aggiunto; per questo motivo la maggior parte del lavoro di ricerca e innovazione nell'ambito DVB-H riguarderà nei prossimi mesi proprio la parte IP. La vicinanza ai protocolli Internet permetterà di riutilizzare facilmente tecnologie già sperimentate in quell'ambito.

4.3 MPE-FEC

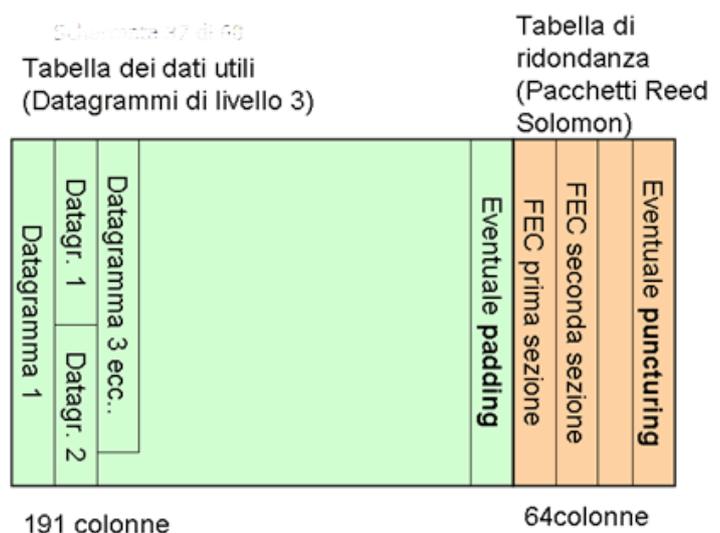
L'MPE-FEC, definito in [6], è un codice correttore di errori a livello di protocollo IP che viene aggiunto a quelli già presenti nello standard DVB-T allo scopo di migliorare la ricezione quando il rapporto segnale/rumore C/N al ricevitore sia basso. Si noti che l'utilizzo di MPE-FEC è opzionale, cioè, la mancata implementazione della sua specifica nei terminali non pregiudica la possibilità di ricevere i dati correttamente (i pacchetti dati sono separati dai pacchetti di ridondanza con il FEC). Nelle situazioni in cui ci sia un'elevata perdita di pacchetti, possono essere introdotti pacchetti di ridondanza che permettono attraverso un algoritmo di interleaving e di protezione basato sul codice Reed Solomon, indicato tecnicamente dalla tripletta (255, 191, 64) che indica che su 255 byte totali, 191 saranno costituiti da dati utili e 64 da byte di parità. DVB-H prevede diversi livelli di protezione: quanto più essi sono efficaci in termini di protezione ai disturbi tanto più basso sarà il bit rate utile e di conseguenza il numero di programmi trasmissibili.

La figura 14 schematizza la tabella che viene utilizzata per la creazione del MPE-FEC.

Come si vede, per creare i byte di ridondanza Reed Solomon, i pacchetti di dati (UDP) vengono disposti lungo le colonne della tabella, uno di seguito all'altro. Se tutte le colonne di dati e tutte le colonne di FEC vengono riempite, si ottiene una ridondanza del 25% circa (con un *code rate* di $\frac{3}{4}$). Se al posto delle ultime colonne di dati vengono inseriti dei byte fittizi (padding) si ottiene praticamente un aumento della ridondanza (in quanto il padding non viene spedito e il codice di correzione lavora quindi su un numero minore di dati). Ad esempio, inserendo 127 colonne di padding, otteniamo un code rate di $\frac{1}{2}$. Se le ultime colonne di FEC non vengono utilizzate (puncturing) la ridondanza quindi diminuisce. È utile notare che la tabella descritta ha un numero massimo di 1024 righe, il che limita la grandezza massima della tabella di MPE-FEC a 2 Mbit circa; questo di fatto limita anche la quantità di dati totale presente in un burst trasmesso in *time-slicing* a circa 195kbyte.

Il sistema è stato studiato in modo tale da essere compatibile con i ricevitori privi

Fig. 14 - Tabella utilizzata per la creazione del MPE-FEC



di MPE-FEC: in questo caso le sezioni contenenti il codice correttore vengono ignorate.

Le prove di laboratorio effettuate presso il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica Rai e le prove su campo condotte nell'area di Torino hanno dimostrato che le prestazioni dei terminali DVB-H in termini di robustezza in ricezione mobile e in presenza di rumore impulsivo, grazie all'MPE-FEC, sono nettamente migliori rispetto alla ricezione con terminali DVB-T.

4.4 Modo 4k

Gli standard DVB-T e DVB-H utilizzano entrambi la modulazione multiportante OFDM [11] che permette di ottenere delle ottime prestazioni sul canale terrestre, caratterizzato dalla presenza di cammini multipli (i cosiddetti echi) [12]. Rispetto al DVB-T che può utilizzare solo le modalità 2k e 8k, lo standard DVB-H aggiunge la modalità 4k, ovvero vengono impiegate 4096 portanti (3409 portanti attive) per il trasporto del segnale. Tale modalità apporta una maggiore flessibilità nel progetto della rete, in quanto è ottenuta da un compromesso tra le prestazioni della ricezione mobile e le dimensioni della rete SFN. La modalità 4k è compatibile con l'infrastruttura DVB-T, e richiede solo piccoli cambiamenti nel modulatore e nel demodulatore. Nel sistema DVB-T la modalità 2k ha ottime prestazioni in ricezione mobile (maggiore resistenza all'effetto Doppler). Per quanto riguarda l'efficienza spettrale le migliori prestazioni si hanno con la modalità 8k, mentre la 2k è adatta solo a reti SFN di piccole dimensioni a causa della sua breve durata di simbolo. Il modo 4k è adatta a SFN di medie dimensioni e raggiunge una buona robustezza nei confronti dell'effetto Doppler a velocità medio-alte.

La modalità 4k, il cui costo in termini implementativi nel modulatore e nel ricevitore è molto ridotto, permette quindi di raggiungere prestazioni di ricezione mobile sufficienti per l'uso del DVB-H ottenendo un buon compromesso tra l'efficienza spettrale e la mobilità degli utenti.

4.5 Interleaving esteso

La modalità di trasmissione 8k è la più robusta al rumore impulsivo in quanto ha una durata di simbolo più lunga: ciò permette al demodulatore di disperdere la potenza del rumore impulsivo sulle 8192 sottoportanti. Nelle altre due modalità invece la potenza del rumore è distribuita solo su 4096 o su 2098 portanti; la potenza del rumore per sottoportante perciò, rispetto al modo 8k, è duplicata per il modo 4k e quadruplicata per il 2k.

Si può pensare quindi di usare un symbol interleaver più lungo per le modalità 2k e 4k in modo da disperdere i bit di un simbolo.

L'uso di un interleaver 8k anche per le modalità 2k e 4k aiuta a disperdere la potenza del rumore lungo 2 simboli (per la 4k) e 4 simboli (per la 2k). Questo metodo di interleaving esteso permette alle modalità 2k e 4k di avere una immunità dal rumore impulsivo paragonabile a quella del modo 8k.

4.6 TPS bit

Le portanti TPS (*Transmission Parameter Signalling*) sono specificate nello standard DVB-T e trasportano l'informazione relativa allo schema di modulazione utilizzato nella trasmissione.

La trasmissione dei bit TPS, che avviene con uno schema di modulazione molto robusto ed è quindi ricevibile con valori

di C/N molto bassi, rende più veloce il sistema di demodulazione, in quanto è più facile demodulare l'informazione trasportata nelle portanti TPS piuttosto che nelle Service Information (SI) o nel MPE-header. Attualmente sono rimasti liberi solo 6 bit TPS ed il DVB-H non può ovviamente usarli tutti. Lo standard DVB-H si è riservato l'utilizzo dei primi 4 bit:

- S48: quando settato, indica la presenza del DVB-H;
- S49: quando settato, indica la presenza del Time Slicing in almeno uno stream elementare sul Transport Stream ;
- S50: quando settato, indica la presenza del Forward Error Correction, in almeno uno stream elementare sul Transport Stream;
- S51: destinato per usi futuri del DVB-H.

Per segnalare l'utilizzo del modo 4k si possono utilizzare i bit S38 e S39 delle TPS in quanto solo 2 delle 4 possibili combinazioni di bit sono attualmente utilizzate per segnalare le modalità 2k e 8k.

Per quanto riguarda la segnalazione dell'utilizzo dell'interleaver esteso si possono utilizzare alcune combinazioni non utilizzate dei bit S27, S28 e S29 impiegate nel DVB-T per la segnalazione del modo gerarchico. Per ulteriori dettagli si rimanda a [3].

4.7 Algoritmi di codifica video

Per ora non ci sono vincoli di specifica sui formati audio/video che il ricevitore DVB-H dovrà essere in grado di decodificare. Nei prossimi mesi però verrà emesso un documento che indicherà quali saranno i formati implementati obbligatoriamente. Probabilmente MPEG-4 Parte 10/H.264 sarà un formato raccomandato. Lo standard VC1 proposto da Microsoft potrebbe essere un'altra opzione. Un for-

mato audio probabilmente richiesto sarà AAC, con l'opzione di AMR-WB.

La maggior parte degli algoritmi sopra menzionati sono caratterizzati da un'efficienza di codifica superiore a quella ottenibile con MPEG-2 che è lo standard attualmente previsto ed utilizzato per la trasmissione della televisione a definizione convenzionale e di quella in alta definizione. In particolare, lo standard più promettente è MPEG-4 Parte 10/H.264 che consente all'incirca di dimezzare il bit-rate rispetto a MPEG-2 mantenendo inalterata la qualità finale percepita dall'utente.

Poiché i display dei terminali DVB-H saranno molto simili a quelli dei telefoni cellulari o dei computer palmari, il bit-rate necessario a garantire all'utente finale una qualità più che accettabile si aggirerà tra i 128kbps e i 384 kbps, a seconda della risoluzione utilizzata in trasmissione.

5. Utilizzo di un segnale DVB-H in una rete DVB-T

Le caratteristiche dello standard DVB-H, come visto analizzando gli aspetti tecnici di questa nuova tecnologia, solo tali da permettere diverse configurazioni di rete offrendo quindi al broadcaster la possibilità di scegliere quella che più gli si addice.

Si è infatti visto che il DVB-H aggiunge una serie di "novità" rispetto al DVB-T ma rimane completamente compatibile rispetto ad esso ed è quindi possibile avere delle reti "miste" DVB-T – DVB-H con evidenti vantaggi in termini di costi di implementazione.

La rete DVB-T è normalmente progettata per la ricezione fissa (quindi con un'antenna direttiva posta sul tetto) mentre una rete

DVB-H è prevalentemente orientata alla ricezione portatile sia all'esterno che all'interno degli edifici con terminali di ridotte dimensioni dotati di una piccola antenna (magari interna come spesso succede nei telefoni cellulari).

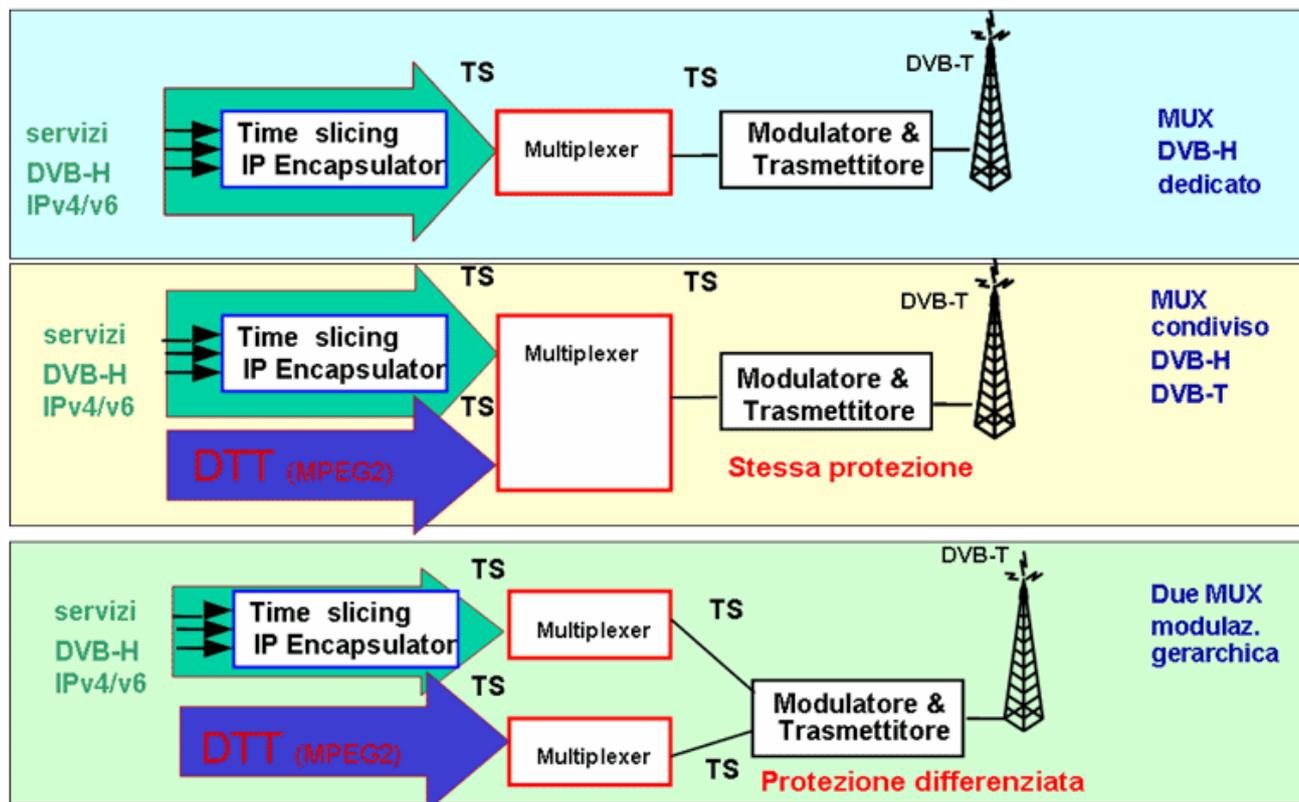
Per rendere possibile una ricezione di questo tipo si deve garantire una maggior potenza in trasmissione oppure utilizzare una modulazione più robusta. In quest'ultimo caso il ricevitore funzionerà correttamente anche con livelli di segnale più debole ma il bit rate trasmissibile e quindi il numero di programmi sarà ovviamente più basso.

I possibili scenari di rete sono i seguenti (figura 15):

- Rete DVB-H dedicata
- Rete mista DVB-T / DVB-H.
- Rete mista DVB-T / DVB-H utilizzando la modalità di trasmissione gerarchica.

Il primo caso, rete mista DVB-T / DVB-H, ha l'indubbio vantaggio di riutilizzare l'esistente rete DVB-T dedicando una porzione della capacità ai programmi DVB-H. L'inconveniente però è, come accennato in precedenza, che la rete DVB-T è normalmente pianificata per la ricezione fissa. Per ovviare a questo inconveniente, senza modificare gli impianti di trasmissione, è necessario utilizzare una modulazione più robusta riducendo il numero di programmi trasmessi sul digitale terrestre.

Fig. 15 - Possibili scenari per le reti DVB-H.



Un'ipotesi ragionevole (figura 16) prevede la trasmissione di 2-3 programmi DVB-T (quindi codificati in MPEG2) e una decina di programmi DVB-H (utilizzando ad esempio la codifica H264).

Un'altra possibilità (figura 17) per realizzare una rete mista DVB-T / DVB-H prevede l'utilizzo dei modi gerarchici definiti già nello standard DVB-T ma utilizzati, fino ad ora, assai raramente. Questa modalità prevede la separazione dei due flussi in blocchi aventi priorità differente: il blocco ad alta priorità, ricevibile con bassi livelli di segnale, sarà occupato dal DVB-H mentre quello a bassa priorità, ricevibile nella maggior parte dei casi solo con antenna direttiva sul tetto, sarà invece riservato al DVB-T.

Utilizzando i modi gerarchici è possibile trasmettere fino a 4 programmi DVB-T in bassa priorità e dedicare una porzione della capacità sufficiente a trasmettere 12-15 programmi DVB-H ad alta priorità.

Un'ultima possibilità (figura 18) è quella di creare una rete totalmente dedicata al DVB-H. Questa soluzione ha certamente lo svantaggio di essere molto costosa e di richiedere tempi più lunghi per la messa in servizio in quanto prevede l'implementazione di una nuova rete. D'altra parte in questo modo è possibile progettare la rete in modo specifico per le esigenze di ricezione del DVB-H e di sfruttare anche il modo 4k, non compatibile con le reti DVB-T, che permette di migliorare le prestazioni in ricezione mobile di un fattore due rispetto al modo 2k e di aumentare la flessibilità del sistema in termini di pianificazione della rete di diffusione.

Utilizzando una rete specifica per il DVB-H e impiegando una modulazione in grado

DVB-T+
DVB-H

16QAM 2/3, $T_g=1/32$, modo 8k
2-3 DVB-T prog. (12 Mbps)
8-10 DVB-H prog. (4Mbps)

Fig. 16 - Possibile configurazione nel caso di rete mista DVB-T / DVB-H

DVB-T+
DVB-H
Gerarchico

64QAM 2/3, hier. $T_g=1/32$, FFT 8k
Bassa priorità: 4 TV prog. DVB-T (18 Mbps)
Alta priorità: 12-15 prog. DVB-H (6Mbps)

Fig. 17 - Possibile configurazione nel caso di rete gerarchica

DVB-H

QPSK 2/3, $T_g=1/32$, modo 4k
16-20 DVB-H prog. (8 Mbps)

Fig. 18 - Possibile configurazione nel caso di rete DVB-H dedicata

di garantire una robustezza molto elevata è possibile trasmettere fino a 16-20 programmi DVB-H.

Vediamo ora quali sono i principali blocchi che costituiscono una generica rete DVB-H. I contributi video e audio che costituiscono i programmi DVB-H da trasmettere vengono codificati tramite appositi *Encoder*.

I dati codificati vengono inviati all'*IP Encapsulator* che si occupa della trasformazione dei dati secondo lo standard utilizzato per la trasmissione dei pacchetti internet (pro-

to collo IP). A questo livello l'operatore di rete può decidere se inserire e con quali parametri il *Time Slicing* e l'*MPE-FEC*.

Un sistema di IP Datacast comprende anche una parte atta a generare la ESG. La trasmissione dei pacchetti contenenti la ESG viene quindi programmata e l'*IP Encapsulator* si occupa di inserirla nel bouquet DVB-H insieme agli altri pacchetti dati.

Nel caso in cui si stia realizzando una rete solo DVB-H l'uscita dell'*IP Encapsulator* viene inviata direttamente al centro trasmettente mediante la rete di distribuzione (ponti radio, fibre ottiche ecc.) da dove verrà irradiato sul territorio.

Nell'ipotesi che si desideri realizzare una rete mista DVB-T/DVB-H l'uscita dell'*IP Encapsulator* viene inviata ad un *Multiplexer*. Tale apparato riceve anche gli ingressi provenienti dagli *Encoder MPEG2* utilizzati per la codifica dei programmi DVB-T. Partendo da questi ingressi il *Multiplexer* genera in uscita un flusso dati (Transport Stream) che contiene i contributi DVB-T e DVB-H e le informazioni di servizio necessarie alla ricezione. Il Transport Stream è inviato al centro trasmettente con le stesse modalità viste in precedenza.

6. Stato di avanzamento della standardizzazione

Al momento della creazione di questo articolo (Novembre 2005), il gruppo DVB TM-CBMS stava ultimando le specifiche di molti aspetti dell'IP Datacast. In particolare la Electronic Service Guide, i protocolli di distribuzione dei contenuti (Content Delivery Protocols, CDP), l'ar-

chitettura generale del sistema (alcuni documenti preliminari inviati all'ETSI per la standardizzazione sono stati pubblicati dal gruppo DVB, si veda tra i più significativi [14] e [15]).

Per la parte CDP, un argomento analizzato e vivacemente discusso è il FEC a livello applicazione (AL-FEC). Come è già stato descritto, DVB-H migliora l'affidabilità della ricezione ricostruendo alcuni pacchetti UDP (la capacità di correzione è opzionale come anche il numero di pacchetti che si possono ricostruire, e dipende dal livello di ridondanza introdotta in trasmissione, confronta [3]). AL-FEC aggiunge ulteriore ridondanza a livello applicazione, nel caso di trasferimento di file. Utilizzando, ad esempio, protocolli che lavorano su blocchi di dati molto grandi (LDPC, Low-Density Parity-Check Codes), è possibile garantire la ricezione di un video-clip o di un'applicazione anche se molti pacchetti trasmessi sono andati persi. L'utilità di simili tecniche non è generale e dipende molto dalle condizioni al contorno (copertura dell'area, movimento del terminale...).

Sono invece state create due diverse soluzioni per il Content Purchase and Protection, perfezionate e descritte fino alla proposta di standardizzazione; il gruppo TM-CBMS ha però demandato una decisione finale, che si stava rivelando assai ardua, al mercato. L'importanza di definire subito uno standard che consenta di proteggere servizi da parte del fornitore di servizio e di sottoscrivere e acquistare servizi a pagamento da parte dell'utente risiede nella possibilità di creare un mercato di dispositivi interoperabili.

Un'ultima considerazione sulla standardizzazione. La creazione delle specifiche, che comprende un notevole lavoro

di analisi, confronto, simulazione, progetto e implementazione, in parte viene condotta in progetti di ricerca Europei, che mettono a disposizione dei gruppi internazionali il lavoro svolto. Uno di questi progetti è il Progetto IST INSTINCT (IP-based Networks, Services and Terminals for Convergence Systems), iniziato nel 2004, che ha permesso di condurre una serie di test di trasmissione e ricezione DVB-H a Torino grazie al Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica della Rai e in Francia, Germania e Regno Unito, oltre ad aver dato impulso alle specifiche di ESG, protocolli di trasporto e FEC a livello applicazione.

Un altro Progetto Europeo a cui il Crit Rai partecipa attivamente è il Progetto CELTIC Wing TV (Services to Wireless, Integrated, Nomadic, GPRS-UMTS & TV handheld terminals), iniziato nel 2005 e specificatamente rivolto alla validazione dei primi apparati DVB-H, con test estensivi di laboratorio e in campo, e alla definizione del ricevitore di riferimento.

7. Conclusioni

La tecnologia DVB-H rappresenta il passo più concreto verso la sinergia di reti broadcast e cellulari, e permetterà la ricezione di immagini televisive su terminali portatili, utilizzando una rete broadcast, superando le problematiche, principalmente legate al costo di rete, insite nell'utilizzo di reti cellulari per la TV mobile.

Rispetto al DVB-T, il DVB-H migliora infatti il rendimento in termini di durata della batteria, e garantisce maggiore protezione ai dati trasmessi. L'utilizzo di una codifica video più efficiente ai bassi bit-rate rende



Fig. 19 - Logo del Progetto IST INSTINCT



Fig. 20 - Logo del Progetto IST CELTIC Wing TV.

poi il DVB-H adatto per terminali dotati di piccolo display e con funzionalità condivise con altre applicazioni.

Inoltre, l'utilizzo di IP come protocollo di trasporto è decisivo nel rendere possibile l'utilizzo di applicazioni nate per Internet, aumentando le sinergie tra le diverse tecnologie.

I progetti di sperimentazione in corso [13], in continuo aumento, daranno un'idea dell'interesse per la televisione mobile DVB-H in Europa e nel mondo. Il progetto BMCO (Broadcast Mobile Convergence) a Berlino è stato il primo progetto con trasmissioni *live* DVB-H. In seguito, ci sono state sperimentazioni in tutta Europa. In Olanda, una primo test è avvenuto ad IBC 2004 ad Amsterdam. Ad Helsinki, in Finlandia, la TV Mobile finlandese ha lanciato la prima

sperimentazione pilota commerciale per servizi DVB-H da Marzo 2005. Durante questa sperimentazione, 500 utenti hanno sperimentato i servizi televisivi mobili grazie ai terminali Nokia 7710 muniti di un ricevitore DVB-H.

Altre sperimentazioni commerciali sono in corso o in preparazione in Francia, Regno Unito, Spagna, Svizzera, Danimarca^{Nota 4}.

La tecnologia DVB-H è stata valutata anche in Australia, Brasile, USA e Taiwan.

In Italia il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica Rai ha avviato la prima sperimentazione DVB-H con trasmissioni *live* sull'area urbana è iniziata a Torino alla fine del 2004. La trasmissione del segnale DVB-H Rai a Torino è attualmente attiva, con generazione del segnale presso il CRIT, con l'obiettivo di avviare una sperimentazione pre-commerciale del servizio.

Bibliografia

1. "Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Architecture and functional description", ETSI, 3GPP TS 23.246, versione 6.8.0, Release 6.
2. "Digital Video Broadcasting (DVB); framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television". ETSI EN 300 744, 1997.
3. "Digital Video Broadcasting (DVB);Transmission System for Handheld Terminals", ETSI EN 302 304 V1.1.1, Novembre 2004.
4. "Digital Video Broadcasting (DVB);DVB-H Implementation Guidelines", ETSI TR 102 377 V1.2.1, Novembre 2005.
5. "Digital Video Broadcasting (DVB);Transmission to Handheld Terminals (DVB-H);Validation Task Force Report", ETSI TR 102 401 V1.1.1, Maggio 2005.
6. "Digital Video Broadcasting (DVB);DVB specification for data broadcasting", ETSI EN 301 192 V1.4.1, Novembre 2004.
7. S.Deering, R. Hinden:"Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification", RFC2460, IETF, Dicembre 1998.
8. P. Casagrande, V. Mignone, D. Milanese, P. Sunna, L. Vignaroli: "Sistemi di comunicazione convergenti: DVB-T e reti cellulari di terza generazione", "Elettronica e Telecomunicazioni", n° 2, agosto 2003.
9. G. Alberico, P. Casagrande: "DVB e IPv6", IPv6 Task Force Italiana, www.it.ipv6tf.org/minutes/RAI-DVB_IPv6.pdf, Ultimo Accesso 9.11.2005.
10. T. Paila et al. "FLUTE - File Delivery over Unidirectional Transport", RFC3926, IETF, Ottobre 2004.
11. V. Mignone, A. Morello, M. Visintin: "Lo standard DVB-T per la televisione digitale terrestre", "Elettronica e Telecomunicazioni", n° 1, aprile 2002.
12. A. Bertella, B. Sacco, M. Tabone: "Valutazioni in laboratorio del sistema DVB-T", "Elettronica e Telecomunicazioni", n° 1, aprile 2002.
13. "DVB-H Handbook", a cura del Digttag, 2005
14. "IP Datacast over DVB-H: Set of specifications for Phase 1", DVB Document A096, Novembre 2005
15. "IP Datacast over DVB-H: Electronic Service Guide (ESG)", DVB Document A099, November 2005

Nota 4 - Un elenco aggiornato dei siti DVB-H commerciali o sperimentali si può trovare in <http://www.dvb-h-online.org>