

Il sistema DVB-S2 di seconda generazione per la trasmissione via satellite e Unicast

ing. Alberto **Morello**, Direttore
ing. Vittoria **Mignone**

Rai
Centro Ricerche e
Innovazione Tecnologica
Torino

1. Introduzione

Il consorzio DVB (*Digital Video Broadcasting*) fu costituito nel Settembre del 1993, e le prime attività furono dedicate allo sviluppo delle specifiche tecniche per la diffusione della televisione digitale da satellite DVB-S [1], attualmente usata dalla maggior parte degli operatori satellitari nel mondo. Nel decennale della nascita del DVB nasce il DVB-S2 [2], sistema di seconda generazione per la trasmissione via satellite.

Il sistema DVB-S2 è stato progettato per varie applicazioni satellitari a larga banda: servizi diffusivi di TV a definizione standard (SDTV, *Standard Definition TeleVision*) e ad alta definizione (HDTV, *High Definition TeleVision*), applicazioni interattive per l'utenza domestica e professionale, compreso l'accesso ad Internet, servizi professionali di contribuzione TV ed SNG (*Satellite News Gathering*), distribuzione di segnali TV a trasmettitori digitali terrestri VHF/UHF, distribuzione dati e di siti Internet (*Internet trunking*).

Sommario

A dieci anni dalla definizione del notissimo DVB-S, sistema di diffusione televisiva via satellite attualmente operativo in tutto il mondo, nel corso del 2003 il consorzio Europeo DVB (Digital Video Broadcasting) ha sviluppato il sistema di seconda generazione per la trasmissione satellitare, denominato DVB-S2. Tale sistema beneficia dei più recenti sviluppi nella codifica di canale (utilizza i codici a controllo di parità LDPC, dall'inglese "Low Density Parity Check") combinati con vari formati di modulazione (QPSK, 16APSK e 32APSK). Oltre che per i servizi diffusivi, il sistema può essere impiegato per applicazioni interattive punto-punto, come l'accesso a Internet, e implementare l'ACM (Adaptative Coding & Modulation), che consente di ottimizzare lo schema di modulazione e codifica a seconda delle condizioni di canale. Per consentire al DVB-S di continuare ad operare durante il periodo di transizione, lo standard DVB-S2 prevede modi di trasmissione "compatibili" con i decoder (Set-Top-Box, STB) satellitari di prima generazione.

Sono tre i concetti chiave in base a cui lo standard DVB-S2 è stato definito:

- maggiore capacità trasmissiva rispetto ai sistemi di prima generazione ed in particolare al DVB-S,
- totale flessibilità,
- ragionevole complessità del ricevitore.

Per ottenere il bilanciamento tra prestazioni e complessità, il DVB-S2 si avvale dei più recenti sviluppi nella codifica di canale e nella modulazione.

La scelta del “motore” è stata il risultato di una gara fra sette diverse proposte, il cui confronto ha richiesto la simulazione di un milione di Gigabit, 40.000 giorni di elaborazioni al computer (riferimento: CPU Pentium IV a 2GHz). Le proposte in gara erano basate su codici convoluzionali concatenati in modo seriale o parallelo (cosiddetti turbo codici), turbo codici a prodotto (*turbo product codes*), codici LDPC (*Low Density Parity Check*), tutti utilizzando tecniche di decodifica SISO (*Soft Input-Soft Output*) iterative. Le simulazioni hanno valutato la distanza di ciascun schema dal limite di Shannon nel piano “capacità – rapporto segnale rumore C/N”, per 4 valori di efficienza spettrale (1, 1.5, 2, 2.5 bit/s/Hz) assumendo un canale lineare AWGN (*Additive White Gaussian Noise*). La massima complessità ammessa per il decoder era fissata in 14 mm² di silicio, con tecnologia^{Nota 1} 0,13 µm, e la velocità di simbolo di riferimento di 55 Mbaud.

Sorprendentemente, risultò vincente la proposta basata sui codici LDPC, una

famiglia di codici a blocco molto semplici, con struttura algebrica molto limitata, scoperti da Gallager nel 1960 [3], ma di cui soltanto oggi i progressi della tecnologia dei microcircuiti consentono di realizzare i sofisticati algoritmi di decodifica nei prodotti consumer.

Le caratteristiche dello schema prescelto [4], con prestazioni a soli 0.6 - 1.2 dB dal limite di Shannon, sono^{Nota 2}:

- la grande lunghezza del blocco di codifica LDPC (64800 bit per blocchi cosiddetti normali e 16200 bit per blocchi corti);
- l'elevato numero di iterazioni in decodifica (circa 50 iterazioni SISO); dev'essere sottolineato che la struttura di codifica mostra periodicità utilizzabili per realizzare decodificatori con alto parallelismo;
- la concatenazione con un codice esterno BCH (*Bose-Chaudhuri-Hocquenghem*) (senza nessun interlacciamento), definito dai progettisti come un “margine di sicurezza a basso costo contro eventuali errori residui non prevedibili ad elevati rapporti C/N”^{Nota 3} (*error floor*).

Quattro sono i tipi di modulazione presenti nella norma DVB-S2 (vedi figura 1): QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), 8PSK, 16APSK (*Amplitude Phase Shift Keying*), 32APSK. I parametri delle modulazioni 16APSK e 32APSK sono stati ottimizzati per operare su un transponder non lineare, collocando i vari punti su cerchi;

Nota 1 - Dal 2004 sarà disponibile per i prodotti elettronici consumer una tecnologia di 0,09 µm

Nota 2 - Per meglio comprendere la complessità di tali schemi si può ricordare che il decodificatore di Viterbi soft-decision dei sistemi DVB-S e DVB-DSNG decide su blocchi di soli 100 simboli senza iterazioni ed il decodificatore RS (Reed Solomon) su blocchi di circa 1600 bit (con un fattore 12 di interlacciamento), offrendo prestazioni già abbastanza buone (vedi fig. 5), a circa 3 dB dal Limite di Shannon.

Nota 3 - imputabili a imprevedibili cambi di pendenza della curva di prestazioni per valori C/N elevati.

comunque le loro prestazioni su un canale lineare sono paragonabili rispettivamente con quelle delle modulazioni 16QAM e 32 QAM.

L'adozione nel DVB-S2 di queste tecniche innovative di codifica e modulazione garantisce un aumento di capacità dell'ordine del 30% rispetto al DVB-S nelle stesse condizioni di trasmissione, in modalità CCM (*Constant Coding & Modulation*, letteralmente Modulazione e Codifica Costanti), ossia con parametri di trasmissione fissi.

Nelle applicazioni punto-punto, come l'IP Unicast, il guadagno del DVB-S2 rispetto al DVB-S può essere ancora maggiore. La funzionalità ACM (*Adaptive Coding & Modulation*, letteralmente Modulazione e Codifica Adattative) permette infatti di variare lo schema di modulazione ed i livelli di protezione dagli errori ad ogni nuovo blocco elementare di codifica, ottimizzando il sistema di trasmissione alle condizioni di ricezione d'utente. Per informare il trasmettitore delle condizioni di ricezione del singolo utente, il sistema deve operare "ad anello chiuso", utilizzando un canale di ritorno via telefono o satellite.

Il DVB-S2 è così flessibile da adattarsi a tutti i tipi di transponder satellitari esistenti, grazie ad un'ampia varietà di efficienze spettrali e rapporti segnale/ rumore C/N richiesti. Inoltre, è progettato per trattare una grande varietà di formati audio-video e

di dati, dall'MPEG-2 attualmente utilizzato negli standard DVB, a quelli che il progetto DVB sta attualmente definendo per le applicazioni future (H264 e VC9). Il sistema DVB-S2 si adatta a qualunque formato di flusso di dati in ingresso, compresi flussi digitali MPEG *Transport Stream* (TS), singoli o multipli, IP e ATM. Questo fa sì che anche se in futuro verranno definiti altri formati, essi potranno essere impiegati senza bisogno di modificare il sistema.

Il sistema DVB-S2 è strutturato come una "scatola di attrezzi" (*Tool-Kit*), insieme di tecniche che permettono di coprire tutte le aree applicative, realizzabili in "single-chip" con complessità ragionevole, per permettere di utilizzare prodotti destinati al mercato di massa anche per applicazioni professionali.

Fig. 1 - Le 4 possibili costellazioni DVB-S2 prima dello "scrambler" a livello fisico.

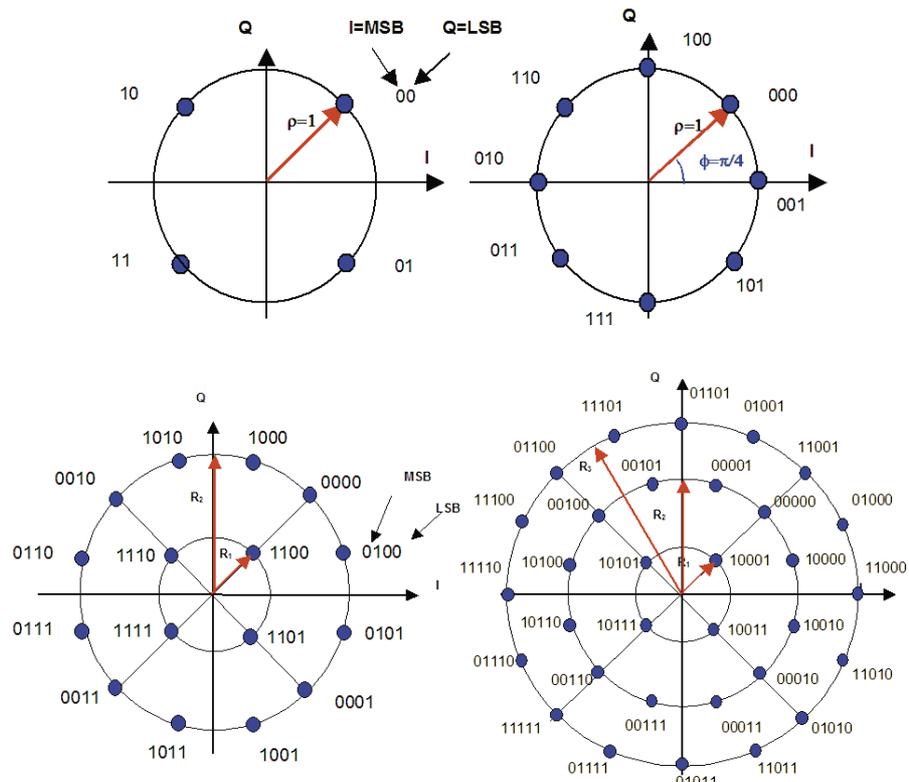
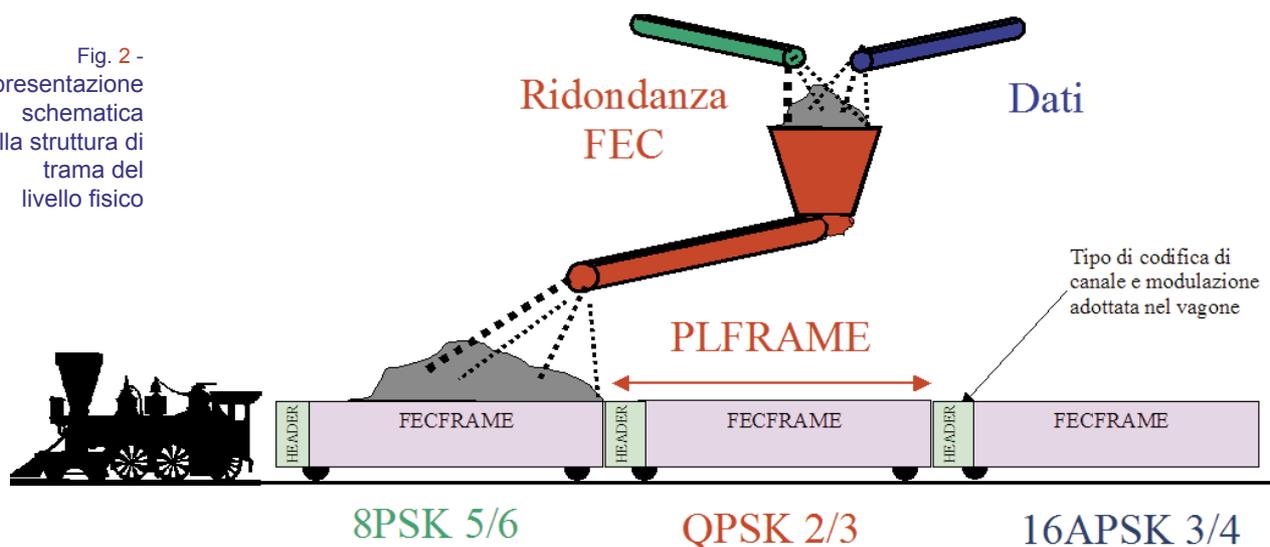


Fig. 2 - Rappresentazione schematica della struttura di trama del livello fisico



2. L'architettura del sistema

Il sistema DVB-S2 è stato progettato in base a due livelli di trama del segnale:

- il primo, a livello fisico (PL, *Physical Layer*), che trasporta pochi bit di segnalazione molto protetti;
- il secondo, a livello di banda base (BB, *BaseBand*), che trasporta molti bit di segnalazione, per consentire la massima flessibilità di adattamento del segnale di ingresso.

2.1 Struttura di trama del livello fisico

Il primo livello di trama è stato progettato in modo tale da consentire di rivelare la modulazione e i parametri di codifica prima della demodulazione e della decodifica FEC e garantire la possibilità di sincronizzare il ricevitore (recupero di portante e fase, sincronizzazione di trama) in condizioni di C/N molto critiche, dettate dalle alte prestazioni del FEC.

Il livello fisico del DVB-S2 è composto da una sequenza regolare di "vagoni" periodici (figura 2), costituenti la trama di livello

fisico, denominati PLFRAME: all'interno di un vagone, lo schema di modulazione e codifica è omogeneo, ma può variare in modalità VCM (*Variable Coding & Modulation*) in vagoni adiacenti. Indipendentemente dall'applicazione (CCM o VCM), ogni PLFRAME è composto da:

- un carico utile FECFRAME di 64800 bit (FECFRAME normale) o 16200 bit (FECFRAME corto), corrispondente a un blocco codificato LDPC/BCH, generato codificando i bit d'utente secondo lo schema FEC scelto;
- L'intestazione del PLFRAME denominata PLHEADER, contenente informazioni per la sincronizzazione e la decodifica: tipo di modulazione e tasso di codifica FEC, lunghezza del FECFRAME, presenza/assenza di simboli pilota per facilitare la sincronizzazione.

L'intestazione del PLFRAME è composta sempre da 90 simboli (che usano una modulazione binaria $\pi/2$ BPSK) e il carico utile da un numero intero multiplo di 90 simboli (ad esclusione dei simboli pilota).

Poiché l'intestazione del PLFRAME è la prima entità ad essere decodificata dal ricevitore, non può essere protetta dal potente schema LDPC/BCH. D'altra parte esso deve poter essere ricevuto correttamente anche nelle peggiori condizioni di collegamento; si è pertanto ridotto al minimo (7) il numero di bit di segnalazione, per diminuire la perdita di efficienza globale, e per ridurre la complessità della decodifica sono stati protetti con un codice a blocco specifico con tasso di codifica molto basso 7/64, adatto per decodifica a correlazione con *soft-decision*. Nel caso peggiore, assumendo un FECFRAME di 64800 bit, l'efficienza del PLFRAME è 99,3% (in assenza di simboli pilota).

2.2 Struttura di trama di banda base

La trama di banda base permette invece una segnalazione più completa della configurazione trasmissiva, con indicazione della molteplicità dei flussi d'ingresso (singolo o multiplo), del tipo (generico GS, dall'inglese *Generic Stream* o TS, *Transport Stream*), e della modalità di trama, CCM o ACM.

Grazie alla protezione del codice FEC LDPC/BCH e alla lunghezza dei blocchi di codifica, l'intestazione del blocco ele-

mentare della struttura di banda base, denominato BBFRAME, può contenere molti bit di segnalazione (80), senza perdere efficienza trasmissiva e neppure robustezza contro il rumore.

L'intestazione BB trasporta quindi altre importanti informazioni di segnalazione come: etichetta dei flussi all'ingresso del modulatore, descrizione della posizione e delle caratteristiche dei pacchetti d'utente, indicazione della presenza di bit di riempimento (*padding bits*) nel BBFRAME trasmesso, segnalazione della messa in funzione di specifici strumenti (funzione di cancellazione dei pacchetti nulli (*null packets*), funzione di sincronizzazione del flusso di ingresso, come descritto in [6], segnalazione del coefficiente di *roll-off* adottato^{Nota 4}.

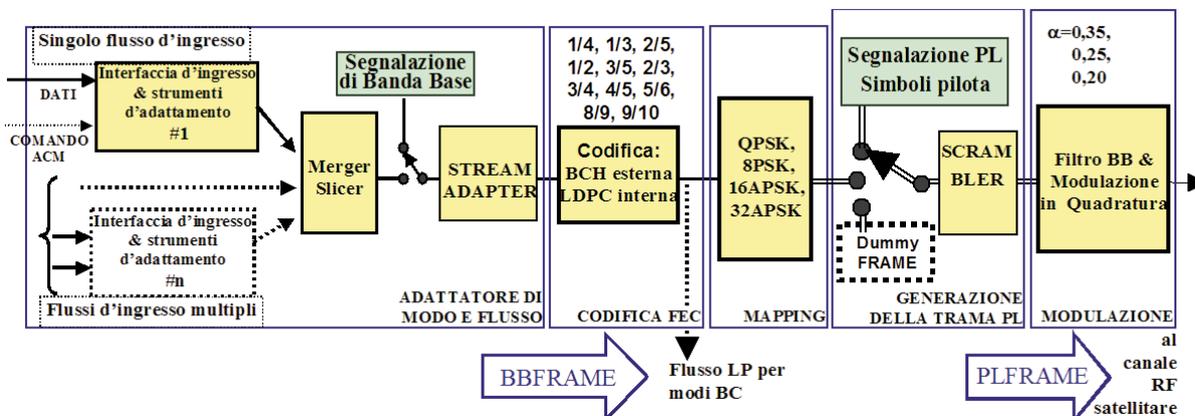
Nota 4 - Il fattore di roll-off non deve essere segnalato a livello fisico, poiché la ricezione è possibile (sub-ottima) anche assumendo un roll-off sconosciuto.

2.3 Diagramma a blocchi del sistema

Il sistema DVB-S2 è composto da una sequenza di blocchi funzionali, come descritto in Figura 3 [2].

Il blocco identificato come **Adattatore di modo e di flusso** svolge funzioni legate all'applicazione. Esso fornisce l'interfac-

Fig. 3 - Schema a blocchi funzionale del sistema DVB-S2.



cia per il flusso di ingresso^{Nota 5}, strumenti opzionali richiesti per l'ACM (ad esempio per la sincronizzazione^{Nota 6} e la cancellazione dei pacchetti nulli nel caso di flussi di ingresso di tipo TS^{Nota 7}) e inserisce la codifica CRC (*Cyclic Redundancy Check*) per permettere al ricevitore di rivelare la presenza di errori nel flusso ricevuto.

Oltre a ciò, nel caso di ingressi multipli, esso unisce i flussi di ingresso (**Merger**) per poi suddividerli (**Slicer**) in blocchi del codice FEC. Questi ultimi sono composti da bit presi da una sola porta di ingresso da trasmettere in modo omogeneo (stessa modulazione e codice FEC).

Si inserisce poi l'intestazione di banda base (80 bit) davanti al Campo Dati per informare il ricevitore del formato del flusso di ingresso e del tipo di "adattamento" utilizzato. Nel caso i dati utente disponibili per la trasmissione non siano sufficienti a riempire completamente il BBFRAME, si provvederà a completarlo con bit di riempimento. In ultimo, nel blocco denominato "**Stream Adapter**" il BBFRAME viene moltiplicato per una sequenza pseudocasuale (**Scrambler**), che uniformemente distribuisce gli zeri e gli uno del BBFRAME, evitando la presenza di sequenze critiche per il codice FEC.

Il blocco **Codifica FEC** effettua la codifica concatenata del codice esterno BCH e del codice interno LDPC. I rapporti di codifica

del codice LDPC interno sono 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10, da scegliersi congiuntamente allo schema di modulazione in base ai requisiti del sistema. I rapporti 1/4, 1/3 e 2/5 sono stati introdotti per operare in combinazione con lo schema di modulazione QPSK, per collegamenti di bassa qualità, dove il livello del segnale è al di sotto del livello di rumore. Le simulazioni al computer hanno dimostrato la superiorità di tali modalità rispetto alla modulazione BPSK combinata con velocità di codifica 1/2, 2/3 e 4/5. A seconda dell'area di applicazione i blocchi di codice FEC (FECFRAME), possono avere una lunghezza di 64800 o 16200 bit. L'introduzione di due possibili valori è stata dettata da due opposte necessità. Le prestazioni in funzione del rapporto C/N migliorano al crescere della lunghezza dei blocchi di codifica, ma aumenta anche molto il ritardo globale della catena trasmissiva. Quindi, per applicazioni non critiche per i ritardi (come ad esempio la diffusione di programmi), sono preferibili i blocchi lunghi, mentre per le applicazioni interattive un blocco più corto può essere più efficiente, in quanto un pacchetto di informazione "corto" viene immediatamente messo in onda dalla stazione trasmittente. La modulazione e il codice FEC sono costanti all'interno del FECFRAME, e possono cambiare in differenti FECFRAME nelle modalità VCM e ACM. Oltre a ciò il segnale trasmesso può contenere FECFRAME corti e normali. Per le modulazioni 8PSK, 16APSK e 32APSK ai bit codificati FEC si applica un interallacciatore di bit, per separare i bit assegnati allo stesso punto della costellazione in trasmissione.

Il blocco **Mapping** associa i bit alla costellazione: QPSK, 8PSK, 16APSK o 32APSK a seconda dell'applicazione. Tipicamente, per applicazioni broadcast vengono proposte le costellazioni QPSK e 8PSK, poiché sono di fatto modulazioni

Nota 5 - Le sequenze di ingresso possono essere flussi di trasporto TS singoli o multipli, flussi generici GS singoli o multipli, a pacchetti o continui.

Nota 6 - L'elaborazione dati nel DVB-S2 può generare ritardi di trasmissione variabili. Questo blocco permette di garantire velocità e ritardi di trasmissione globali costanti (per flussi di ingresso a pacchetti).

Nota 7 - Per ridurre la velocità di informazione e aumentare la protezione dagli errori nel modulatore. Il processo permette il reinserimento dei pacchetti nulli nel ricevitore, nel punto esatto in cui si trovavano all'origine.

ad inviluppo costante e possono essere usate su transponder da satellite non lineari portati vicino alla saturazione. Le modalità 16APSK e 32APSK invece sono principalmente orientate ad applicazioni professionali; possono anche essere impiegate per il broadcasting, ma richiedono la disponibilità di un più elevato livello di C/N al ricevitore e l'adozione di avanzati metodi di pre-distorsione nella stazione di up-link per attenuare gli effetti di non-linearità del transponder. Sebbene non permettano efficienze di potenza analoghe agli schemi ad inviluppo costante, offrono però maggiore capacità trasmissiva.

Il blocco di **Generazione della trama PL**, sincrono con i FECFRAME, gestisce l'inserimento dell'intestazione di livello fisico e dei simboli pilota opzionali (2,4 % di perdita di capacità), di PLFRAME fittizi (**Dummy Frame**) in assenza di dati utili pronti per la trasmissione, e la moltiplicazione per una sequenza pseudocasuale (**Scrambler**) per la dispersione dell'energia.

Il **filtraggio in banda base e la modulazione in quadratura** si applicano per modellare lo spettro del segnale e per generare il segnale RF. Il filtro usato in trasmissione è la radice quadrata del filtro a coseno rialzato con tre possibili coefficienti di roll-off α : 0.35 per continuità con il DVB-S, 0.25 e 0.20 per i casi in cui vi siano maggiori limitazioni di banda.

2.4 I modi compatibili con i sistemi di prima generazione

Il successo ottenuto dal DVB-S ha portato ad una elevata diffusione dei ricevitori DVB-S per l'utente consumer. Questo mercato consolidato rende molto difficile pensare ad un brusco cambiamento tecnologico verso il DVB-S2 per molti broadcaster, anche tenendo conto del fatto che, essendo spesso i ricevitori

forniti in comodato d'uso, una mutazione tecnologica comporterebbe investimenti notevoli da parte degli operatori per la sostituzione dei decoder DVB-S. Inoltre esistono servizi pubblici gratuiti, che nel caso di un passaggio al DVB-S2 non potrebbero più essere fruiti con gli attuali ricevitori DVB-S. In uno scenario di questo tipo, il DVB ha ritenuto importante prevedere per il periodo di transizione la possibilità di avere la compatibilità con i sistemi preesistenti, per mantenere in operatività i sistemi DVB-S e contemporaneamente permettere di aumentare la capacità trasmissiva per i servizi dedicati ai nuovi più sofisticati ricevitori DVB-S2. Solo alla fine del processo di transizione, quando l'intero parco ricevitori DVB-S sarà stato sostituito da ricevitori DVB-S2, il segnale trasmesso dovrebbe essere modificato verso il sistema non compatibile, così da sfruttare completamente le potenzialità del DVB-S2.

Per poter realizzare lo scenario di transizione appena descritto, nel DVB-S2 sono state dunque inserite, in modo opzionale, modalità trasmissive compatibili con il sistema DVB-S. Lo standard prevede di inviare su un singolo canale satellitare due flussi di dati TS, con livelli diversi di protezione dagli errori, il primo ad Alta Priorità (*High Priority*, HP), compatibile con i ricevitori DVB-S (secondo la norma ETSI EN 300421) [1], e anche con i ricevitori DVB-S2, il secondo a Bassa Priorità (*Low Priority*, LP), compatibile soltanto con i ricevitori DVB-S2 [8].

La compatibilità con i sistemi precedenti può essere realizzata attraverso due approcci:

- **modulazioni stratificate** (*Layered Modulations*), dove un segnale DVB-S2 e uno DVB-S sono combinati in modo asincrono sul canale a radio-frequenza, con il segnale

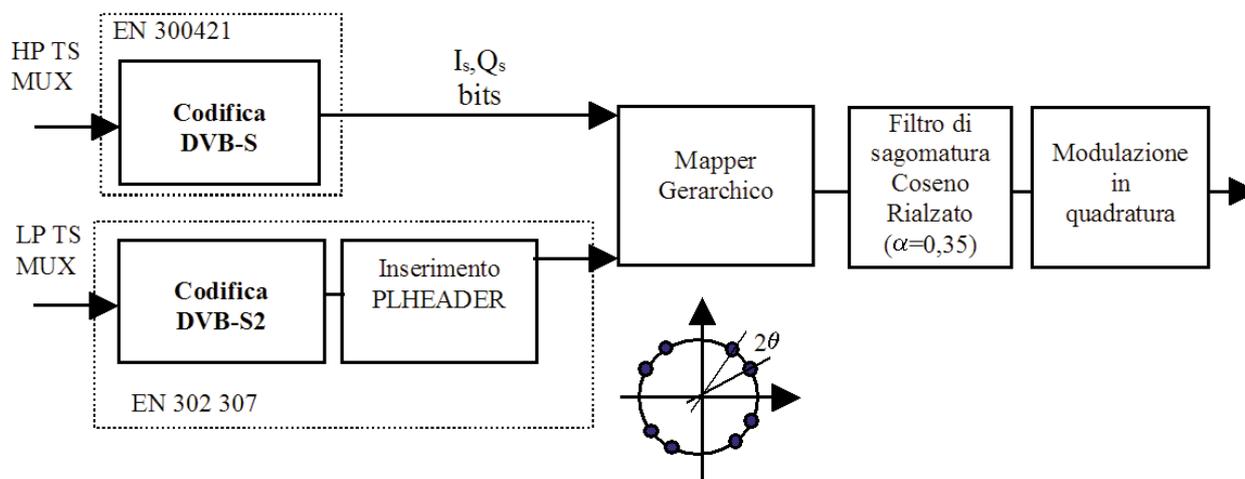


Fig. 4 - Diagramma dello schema a blocchi funzionale di un sistema DVB-S2 gerarchico, compatibile con i ricevitori DVB-S:

DVB-S trasmesso ad un livello di potenza assai più elevato del DVB-S2. Poiché il segnale risultante mostra grandi variazioni di inviluppo, esso deve essere trasmesso su un transponder quasi-lineare, lontano dalla saturazione. Come alternativa, per meglio sfruttare le risorse di potenza del satellite, i segnali HP e LP, possono essere trasmessi indipendentemente sulla tratta in salita del collegamento satellitare (*up-link*), amplificati ciascuno da un amplificatore da satellite indipendente (HPA) portato vicino alla saturazione, ed essere combinati sulla tratta di discesa (*down link*). Ciò richiede però la progettazione ed il lancio di una nuova generazione di satelliti

- **modulazione gerarchica**, dove i due flussi di dati HP e LP, sono uniti in modo sincrono a livello di simbolo di modulazione su una costellazione 8PSK non uniforme^{Nota 8}. Poiché il segnale risultante ha un inviluppo quasi-costante, esso può essere trasmesso su un singolo transponder, spinto quasi alla saturazione.

Nota 8 - Le modulazioni gerarchiche sono anche usate nella norma DVB-T [EN 300744].

Nel seguito viene descritta l'implementazione DVB-S2 dei modi compatibili attraverso le modulazioni gerarchiche. Lo standard non definisce invece regole per la realizzazione della compatibilità attraverso le modulazioni stratificate.

La figura 4 rappresenta schematicamente la struttura del sistema di trasmissione gerarchica: essa è composta di due rami, il primo conforme allo standard DVB-S per il flusso ad Alta Priorità (HP), il secondo che aumenta la dimensionalità della costellazione ad un 8PSK non-uniforme per il livello a Bassa Priorità (LP).

Per la modulazione gerarchica, il segnale LP è codificato BCH e LDPC, con rapporti di codifica LDPC possibili 1/4, 1/3, 1/2 o 3/5. Poi, il mapper gerarchico genera il punto della costellazione 8PSK non uniforme: i due bit HP DVB-S definiscono un punto della costellazione QPSK, mentre il bit proveniente dal codificatore DVB-S2 LDPC impone una rotazione addizionale $\pm\theta$ prima della trasmissione.

L'angolo θ può essere selezionato dall'operatore a seconda delle esigenze di servizio ed il suo valore non viene segnalato.

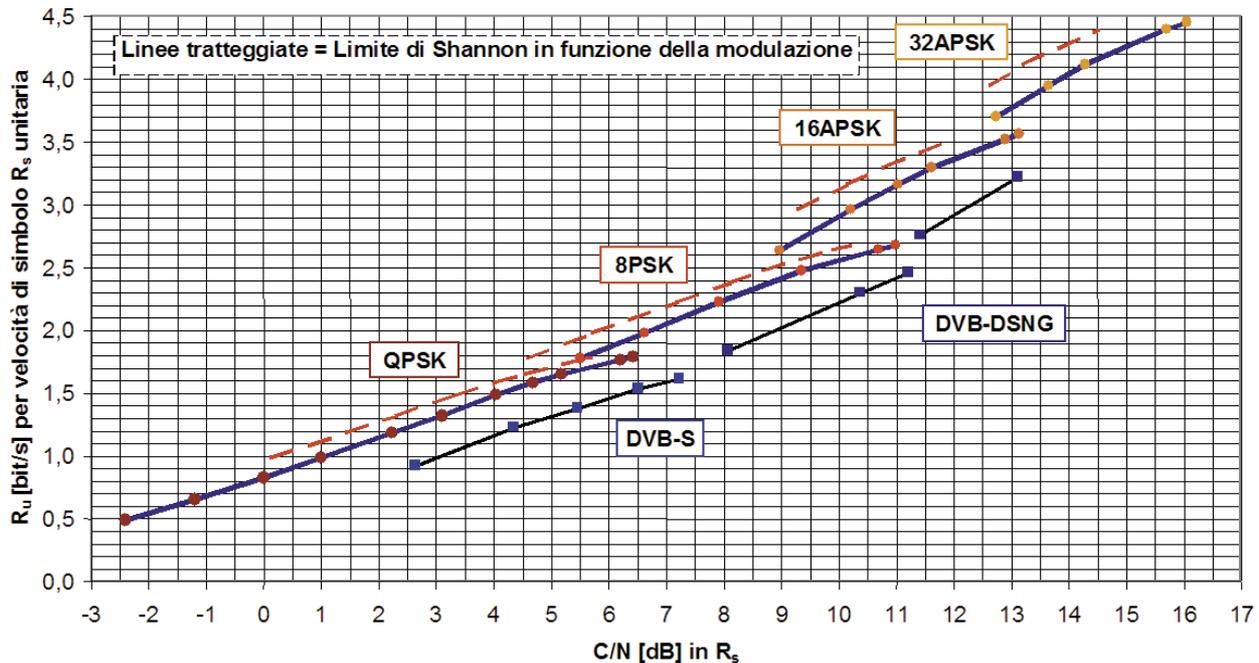


Fig. 5 - Grafico dell'efficienza spettrale in funzione del rapporto C/N (C/N si riferisce alla potenza media) richiesto, ottenuto attraverso simulazioni al calcolatore sul canale AWGN (demodulazione ideale).

3. Le prestazioni del sistema

Il DVB-S2 permette di selezionare lo schema di modulazione ed il tasso di codifica a seconda dei requisiti del servizio e delle caratteristiche del transponder da satellite impiegato. L'efficienza spettrale va da 0,5, usando la modulazione QPSK 1/4, a 4,5 bit/s/Hz, usando la configurazione 32 APSK 9/10, ed il rapporto segnale rumore da -2,4 dB a 16 dB (assumendo canale AWGN e demodulazione ideale), come illustrato in figura 5. I risultati sono stati ottenuti attraverso simulazioni al calcolatore valutanti le prestazioni dei sistemi DVB-S2 e DVB-S/DVB-DSNG [10] ad un tasso d'errore sul pacchetto (PER, Packet Error Rate) TS di 10^{-7} , corrispondente circa a un pacchetto errato per ora di trasmissione in un servizio video a 5 Mbit/s^{Nota 9}.

Nota 9 - Si deve segnalare che questa definizione è leggermente differente dalla definizione adottata nella norma EN 300421. Inoltre i margini d'implementazione riportati nelle normative EN 300421 e EN 301210, non sono inclusi in Figura 5.

Su canale ideale affetto esclusivamente da rumore additivo Gaussiano bianco AWGN (*Additive White Gaussian Noise*), il risultato è un aumento della capacità trasmissiva dell'ordine del 20-35% rispetto al DVB-S e DVB-DSNG nelle stesse condizioni di trasmissione, o una ricezione di 2-2,5 dB più robusta per la stessa efficienza spettrale.

Il sistema DVB-S2 può essere usato nelle configurazioni "singola portante per transponder" o "multiportante per transponder" (Moltiplicazione a divisione di frequenza FDM, *Frequency Division Multiplexing*).

Nella configurazioni a singola portante per transponder, la velocità di trasmissione R_s può essere adattata alla larghezza di banda BW del transponder (a -3dB), per ottenere la massima capacità trasmissiva compatibile con un degradamento accettabile del segnale dovuto alle limitazioni della larghezza di banda del transponder. Per tenere conto di possibili instabilità ter-

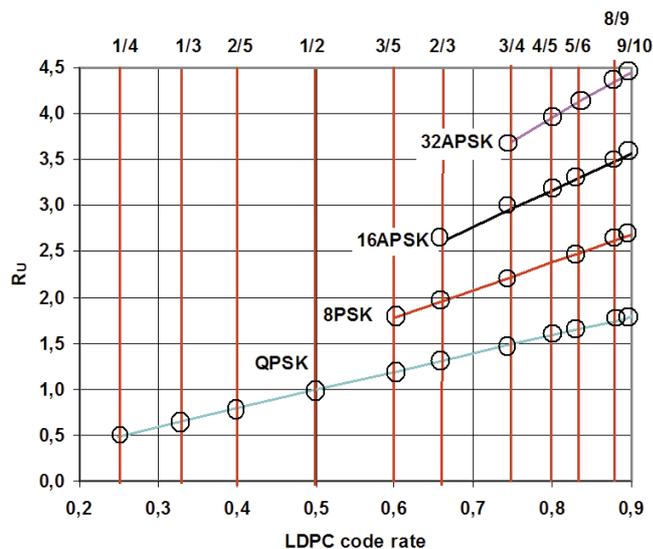


Fig. 6 - Esempi di bit-rate utile R_u in funzione del tasso di codifica LDPC per velocità di simbolo R_s unitaria

miche e di invecchiamento, bisogna fare riferimento alla maschera di risposta in frequenza del transponder. Per aumentare la capacità trasmissiva o per ridurre il degradamento si può fare uso di equalizzatori di ritardo di gruppo al trasmettitore.

Nella configurazione multi-portante FDM, R_s deve essere adattato all'intervallo di frequenza BS assegnato al servizio dal piano delle frequenze, per ottimizzare la capacità trasmissiva e contemporaneamente mantenere ad un livello accettabile le reciproche interferenze tra le portanti adiacenti.

La figura 6 mostra esempi della capacità utile R_u realizzabile dal sistema al variare della modulazione e del rapporto di codifica LDPC, assumendo R_s come velocità di simbolo. La velocità di simbolo R_s corrisponde alla larghezza di banda a -3dB del segnale modulato. $R_s (1+\alpha)$ corrisponde alla larghezza di banda teorica totale del segnale dopo la modulazione, e α rappresenta il fattore di *roll-off* della modulazione.

I valori si riferiscono alla configurazione

broadcast con modalità CCM, FECFRAME di lunghezza normale (64800), nessun bit di riempimento né segnale pilota (i segnali pilota ridurrebbero l'efficienza di circa il 2.4%).

Il rapporto tipico BW/R_s o BS/R_s è $(1+\alpha) = 1.35$: questa scelta permette di rendere trascurabile il degradamento di C/N dovuto alle limitazioni della larghezza di banda del transponder ed alle interferenze del canale adiacente su un canale lineare.

L'uso di un coefficiente di *roll-off* più stretto $\alpha = 0.25$ e $\alpha = 0.20$ può consentire un aumento della capacità trasmissiva, ma può anche produrre un più ampio degradamento su canale satellitare non-lineare in funzionamento a singola portante.

Rapporti BW/R_s minori di $1+\alpha$ possono anche essere adottati, ma dovrebbero essere effettuati attenti studi caso per caso, per evitare interferenze e livelli di distorsione inaccettabili.

Le modulazioni ad involuppo quasi-costante, QPSK e 8PSK, sono molto efficienti in termini di potenza per trasmissioni via satellite in configurazioni a singola portante per transponder, poiché sono in grado di operare con il transponder portato vicino alla saturazione. Le modulazioni 16APSK e 32APSK invece, essendo intrinsecamente più sensibili alle distorsioni non lineari, richiederebbero transponder quasi-lineari (cioè con un *Output-Back-Off*, OBO, più elevato). Per migliorarne le prestazioni in termini di efficienza di potenza è possibile utilizzare tecniche di compensazione non lineare nella stazione trasmittente di terra (*up-link*) [5].

Nelle configurazioni FDM, dove più portanti occupano lo stesso transponder, quest'ultimo dev'essere mantenuto nella zona di operatività quasi-lineare (cioè con OBO elevato) per evitare eccessive interferenze

Modo di trasmissione	Senza predistorsione Senza rumore di fase	Con predistorsione dinamica Senza rumore di fase	Con predistorsione dinamica Con rumore di fase
QPSK 1/2	0.6 (OBO=0.4)	0.5 (IBO=0 dB; OBO=0.4)	0.6
8PSK 2/3	1.0 (OBO=0.3)	0.6 (IBO=0; OBO=0.4)	0.9
16APSK 3/4	3.2 (OBO=1.7)	1.5 (IBO=1.0; OBO=1.1)	1.9
32APSK 4/5	6.2 (OBO=3.8)	2.8 (IBO=3.6; OBO=2.0)	3.6

Tab. 1 - Perdita di rapporto CSAT/N [dB] su canale satellitare (risultati di simulazione). Configurazione a singola portante per transponder, punto di lavoro ottimo del TWTA (IBO=Input Back Off)

di inter-modulazione fra segnali. In questo caso, per il bilanciamento del collegamento (*link budget*), si possono adottare i valori di C/N valutati per il canale AWGN.

La tabella 1 mostra, per la configurazione a singola portante per transponder, il degradamento del rapporto C/N al punto di lavoro dell'amplificatore ad onde progressive TWTA (dall'inglese *Travelling Wave Tube Amplifier*) ottimo dal punto di vista operativo^{Nota 10}, ottenuto tramite simulazioni al calcolatore, usando i modelli del canale satellitare e la maschera del rumore di fase del ricevitore riportati in [2]. I casi analizzati si riferiscono a TWTA non linearizzato e rumore di fase del convertitore di frequenza d'ingresso del ricevitore LNB (dall'inglese Low-Noise Block) di tipo consumer.

C_{sat} è la potenza di una portante non modulata alla saturazione dell'amplificatore di potenza HPA (dall'inglese High Power Amplifier), OBO è il rapporto di potenza misurata in dB fra la portante non modulata alla saturazione e la portante modulata (dopo il filtro d'uscita del satellite OMUX).

I dati del degradamento dovuti al rumore di fase si riferiscono ad un algoritmo di recupero della portante basata sull'utilizzo dei "simboli pilota" [5].

I dati mostrano il grande vantaggio offerto dall'uso di algoritmi di pre-distorsione dinamica per gli schemi 16APSK e 32APSK. I degradamenti dovuti al rumore di fase per le costellazioni APSK, ed in particolare per

il 32APSK, possono essere considerati pessimistici, poiché si riferiscono ad LNB di tipo consumer mentre per applicazioni professionali possono essere impiegati dispositivi migliori con costi aggiuntivi trascurabili.

La figura 7 mostra, nel piano "rapporto C/N - efficienza spettrale", le prestazioni complessive del sistema DVB-S2 via satellite, paragonate al DVB-S e al DVB-DSNG^{Nota 11}. Il guadagno del DVB-S2 nei confronti del DVB-S e del DVB-DSNG in termini di C/N, per una determinata efficienza spettrale, rimane sostanzialmente costante attorno a 2-2.5 dB, confermando il risultato ottenuto su canale AWGN. Analogamente, il guadagno di capacità ad un dato rapporto C/N disponibile si conferma in un intervallo compreso tra 0.3 e 0.4 bit/s/Hz (la perdita dovuta ai simboli pilota pari al 2.6% non è indicata, poiché i simboli pilota sono opzionali). Paragonate alle simulazioni su canale AWGN, le curve di simulazione su canale satellitare, per le costellazioni 16APSK e 32APSK, sono più allineate alle curve degli schemi QPSK e 8PSK, a causa della limitazione di

Nota 10 - Parametri di simulazione [5]: $R_s=27.5$ Mbaud, roll-off=0.30 (valore non disponibile nel DVB-S2, intermedio tra 0.35 e 0.25).

Nota 11 - I punti circolettati sono stati ottenuti tramite simulazione [5], le altre configurazioni sono estrapolate. I degradamenti della Tabella 1 sono aggiunte ai dati simulati su canale AWGN, per la corrispondente costellazione, trascurando gli effetti del rapporto di codifica sul degradamento; per le configurazioni del DVB-DSNG, i degradamenti delle costellazioni M-QAM sono assimilate al corrispondente schema M-APSK.

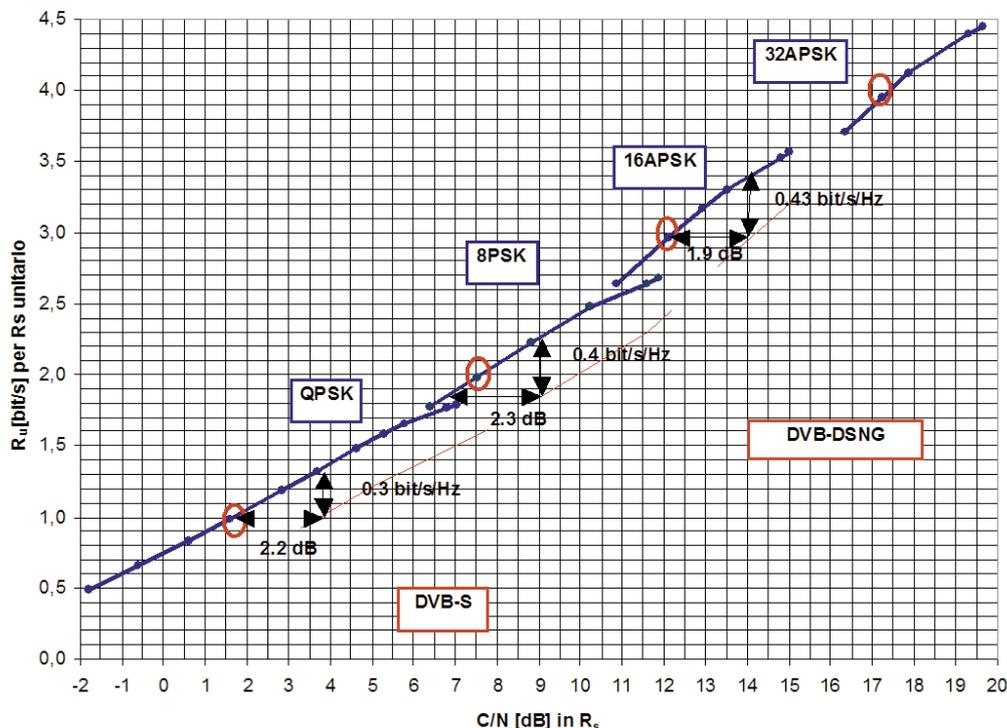


Fig. 7 - Esempi di R_u in funzione del rapporto C/N richiesto da satellite, in configurazione a singola portante per transponder.

ampiezza delle caratteristiche non-lineari del TWTA.

4. Esempi di possibili usi del sistema

Per meglio chiarire le funzionalità e la flessibilità del DVB-S2, nel seguito sono illustrati esempi che vanno dalla trasmis-

sione televisiva basata sulle modalità CCM e VCM fino alle applicazioni TV professionali e ai servizi IP unicast per l'utente consumer.

4.1 Diffusione di televisione a definizione convenzionale SDTV in modalità CCM

La tabella 2 confronta servizi diffusivi di televisione a definizione convenzionale

Tab. 2: Esempi di confronto tra i sistemi DVB-S2 e DVB-S per diffusione Televisiva

EIRP da satellite (dBW)	51		53.7	
Sistema	DVB-S	DVB-S2	DVB-S	DVB-S2
Modulazione & codifica	QPSK 2/3	QPSK 3/4	QPSK 7/8	8PSK 2/3
Velocità di simbolo (Mbaud)	27.5 ($\alpha=0.35$)	30.9 ($\alpha=0.20$)	27.5 ($\alpha=0.35$)	29.7 ($\alpha=0.25$)
C/N (in 27.5 MHz) (dB)	5.1	5.1	7.8	7.8
Bit-rate utile (Mbit/s)	33.8	46 (guadagno=36%)	44.4	58.8 (guadagno=32%)
Numero di programmi SDTV	7 MPEG-2 15 AVC	10 MPEG-2 21 AVC	10 MPEG-2 20 AVC	13 MPEG-2 26 AVC

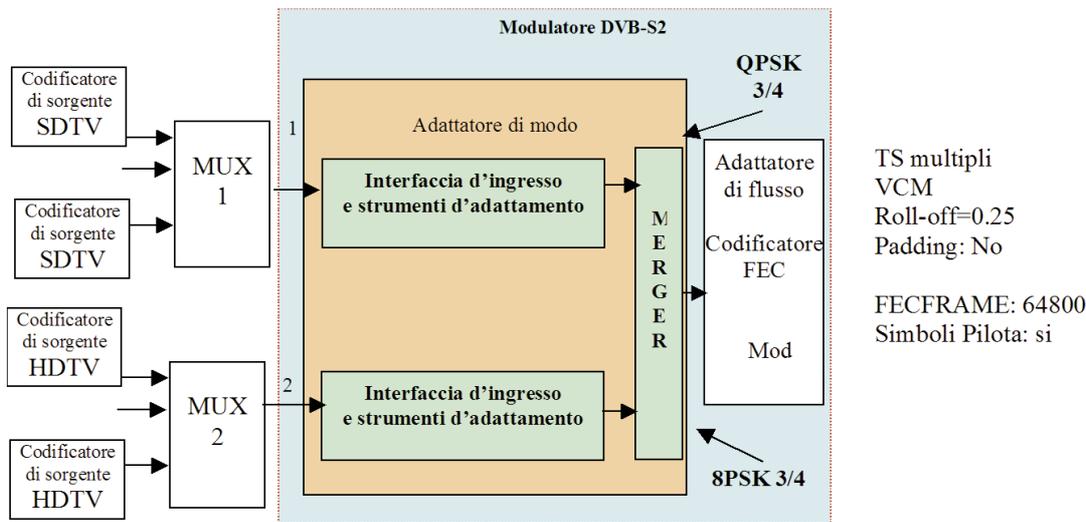


Fig. 8 - Esempio di configurazione DVB-S2 per la trasmissione SDTV e HDTV utilizzando VCM

SDTV secondo gli standard DVB-S2 e DVB-S, diffusi attraverso transponder satellitari Europei con larghezza di banda di 36 MHz, e ricevuti mediante un'antenna con diametro di 60 cm. I bit-rate utili prodotti dai codificatori video sono: 4.4 Mbit/s per una codifica tradizionale MPEG-2 o 2.2 Mbit/s utilizzando sistemi di codifica video avanzati (AVC) che il Progetto DVB sta attualmente definendo per future applicazioni. Il rapporto C/N richiesto dai due sistemi, DVB-S e DVB-S2, è stato equilibrato utilizzando modi di trasmissione diversi e sintonizzando adeguatamente il fattore roll-off e la velocità di simbolo del DVB-S2. I risultati confermano il guadagno in termini di capacità del DVB-S2 rispetto al DVB-S, pari a oltre il 30%.

Va inoltre notato come, dalla combinazione di DVB-S2 e codifica AVC, sia possibile ottenere un consistente numero (da 21 a 26) di canali SDTV per transponder, riducendo drasticamente il costo per canale della capacità trasmissiva del satellite.

4.2 Trasmissione di TV convenzionale SDTV e ad alta definizione HDTV con protezione di canale differenziata

Il sistema DVB-S2 può fornire servizi diffusivi su TS multipli, fornendo una protezione contro gli errori differente per ogni multiplex (in modalità VCM)^{Nota 12}.

Un'applicazione tipica è la trasmissione di un multiplex molto protetto contro gli errori per la televisione SDTV e di un multiplex meno protetto per l'HDTV. La figura 8 mostra un esempio di configurazione del lato trasmittente. Supponendo di trasmettere a 27.5 Mbaud e di utilizzare gli schemi 8PSK 3/4 e QPSK 2/3, si dispone di un bit-rate utile di 40Mbit/s per due programmi HDTV e di 12 Mbit/s per due-tre programmi SDTV. La differenza nel rapporto C/N richiesto è di circa 5 dB.

Nota 12 - Si noti che il sistema DVB-S2 non è in grado di diversificare la protezione contro gli errori all'interno dello stesso TS MUX

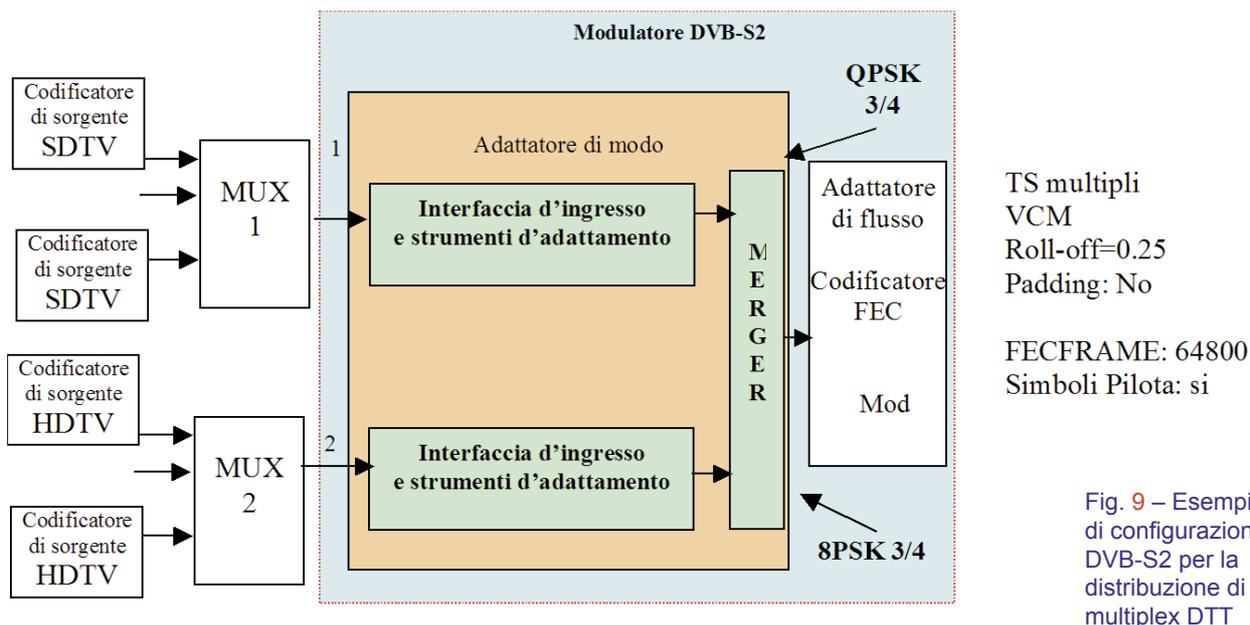


Fig. 9 – Esempio di configurazione DVB-S2 per la distribuzione di multiplex DTT

4.3 Distribuzione del multiplex MPEG multipli a trasmettitori DTT

Molti paesi del mondo stanno introducendo la televisione digitale terrestre (DTT, *Digital Terrestrial Television*) ed il satellite è uno dei mezzi candidati a distribuire i flussi MPEG ai trasmettitori digitali terrestri. I sistemi attualmente operativi si basano sul sistema DVB-S, che però permette la trasmissione di un singolo multiplex MPEG per segnale. Il risultato è che per la distribuzione di n multiplex MPEG, dovrebbero essere trasmesse n portanti per transponder, richiedendo perciò un elevato OBO dell'amplificatore satellitare HPA (o in alternativa l'uso di n transponder). L'adozione del sistema DVB-S2 permette la distribuzione di più multiplex MPEG, usando una configurazione a singola portante per transponder, ottimizzando così l'efficienza in potenza attraverso la saturazione dell'HPA del satellite.

Su un transponder a larghezza di banda $BW = 36\text{MHz}$ può essere trasmessa una

velocità di simbolo di 30 Mbaud usando un roll-off α di 0.20. Così per trasmettere due Multiplex DTT a 24 Mbit/s ciascuno, si richiede un'efficienza spettrale di 1.6 [bit/s/Hz], corrispondente a una modulazione QPSK 5/6. Il rapporto C/N richiesto è di circa 6dB in 30 MHz. La figura 9 mostra un esempio di configurazione del lato trasmittente. Per un collegamento con parametri come da tabella 3, la disponibilità del 99.9 % dell'anno medio può essere ottenuta con un'antenna in trasmissione di 3 m (con EIRP da 64 dBW), un transponder portato quasi in saturazione a cielo chiaro, e antenne riceventi da 1.2 m. Con il modo 8PSK 2/3 del DVB-DSNG e allocando due portanti FDM con velocità di simbolo pari a 13.3 Mbaud in 36 MHz, il rapporto C/N richiesto al ricevitore sarebbe di 9 dB nella banda di ricezione. Per garantire una disponibilità del 99.9% dell'anno medio l'EIRP della stazione trasmittente deve essere di 75 dBW, il transponder del satellite portato a OBO=5.5 dB per portante a cielo chiaro e l'antenna ricevente non può avere diametro minore di 2 m. Quindi il DVB-S2 permetterà l'installazione di

antenne significativamente più piccole in ricezione (diametro quasi dimezzato) e stazioni di trasmissione più piccole^{Nota 13}.

4.4 ACM per servizi one-to-one

Quando viene usato per applicazioni interattive punto-punto come l'IP unicast, i vantaggi del DVB-S2 sono ancora più evidenti. L'ACM infatti permette di recuperare da 4 a 8 dB di potenza (il cosiddetto "margine da cielo chiaro"), tipicamente sprecati^{Nota 13} nei collegamenti satellitari convenzionali impieganti schemi CCM, raddoppiando o addirittura triplicando la capacità media del satellite e riducendo drasticamente il costo del servizio [7]. Inoltre il guadagno dell'ACM rispetto al CCM aumenta in condizioni critiche di propagazione: quindi l'ACM è fondamentale per le bande di frequenza più alte (come ad es. la banda Ka) e per le zone climatiche tropicali.

La figura 10 [7] mostra lo schema di un collegamento da satellite ACM, composto dal Gateway (GW) ACM, dal modulatore ACM DVB-S2, dalla stazione di up-link, dal satellite, dalla stazione satellitare ricevente (ST), collegata al gateway ACM attraverso un canale di ritorno.

Il modulatore DVB-S2 ACM opera ad una velocità di simbolo costante, poiché si assume costante la larghezza di banda del transponder. L'ACM è implementato dal modulatore DVB-S2 attraverso la trasmissione di una sequenza in multiplexazione a divisione di tempo (TDM, Time Division Multiplexing) di sequenze di PLFRAME, dove il formato di codifica e modulazione possono cambiare ad ogni nuovo PLFRAME.

Quindi la continuità di servizio è ottenuta, durante i periodi con forti attenuazioni da pioggia, riducendo il bit-rate d'utente, e contemporaneamente aumentando la ridondanza FEC e/o la robustezza della modulazione.

L'adattività del livello fisico è ottenuta in questo modo:

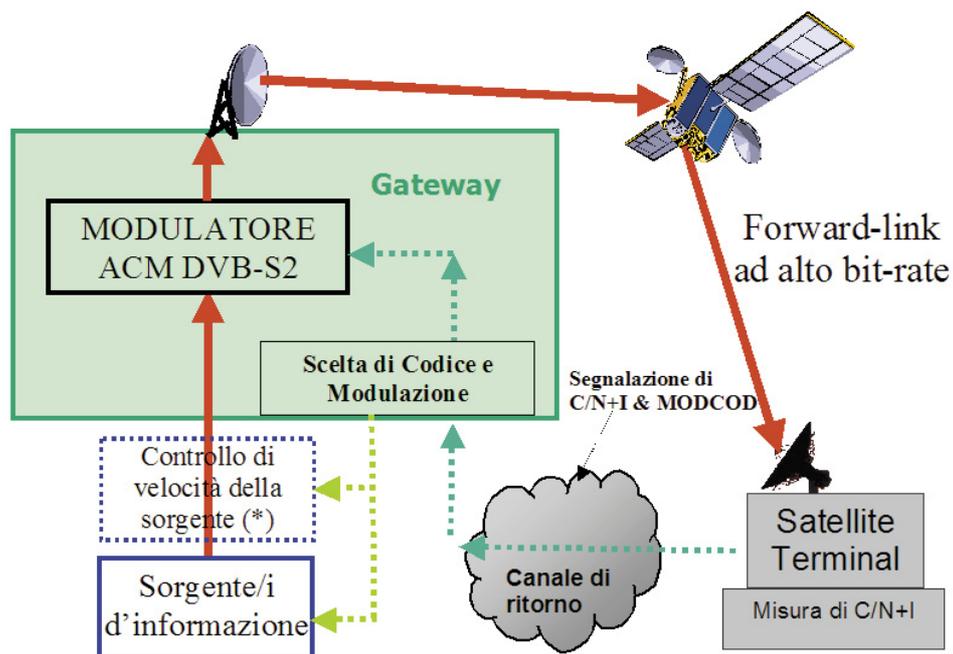
- (i) ciascun terminale satellitare d'utente (ST) misura la condizione del canale

Nota 13 - La valutazione si basa sul metodo di analisi semplificato descritto in [11]. I rapporti C/N richiesti sono ricavati dalla figura 5; ad essi sono stati aggiunti margini d'implementazione derivati da [1] e [10] per le diverse configurazioni.

Tab. 3 - Esempio di parametri di collegamento satellitare

Tratta in salita	Zona climatica ITU	L
	Frequenza	14.29 GHz
	Perdite atmosferiche e attenuazione da pioggia per il 99.9% dell'anno medio	0.2 +5.6 dB
Satellite	G/T(dB/°K)	4.3
	EIRP trasmesso alla saturazione: 46.5 dBW	
Tratta in discesa	Zona climatica ITU	K
	Frequenza	10.99 GHz
	efficienza d'antenna	60%
	perdite d'accoppiamento	0.5 dB
	perdite di puntamento	0.5 dB
	cifra di rumore LNB	1.1 dB
	Perdite atmosferiche e attenuazione da pioggia per il 99.9% dell'anno medio	0.1+2.4 dB

Fig. 10 - Diagramma a blocchi di un collegamento DVB-S2 in modalità ACM



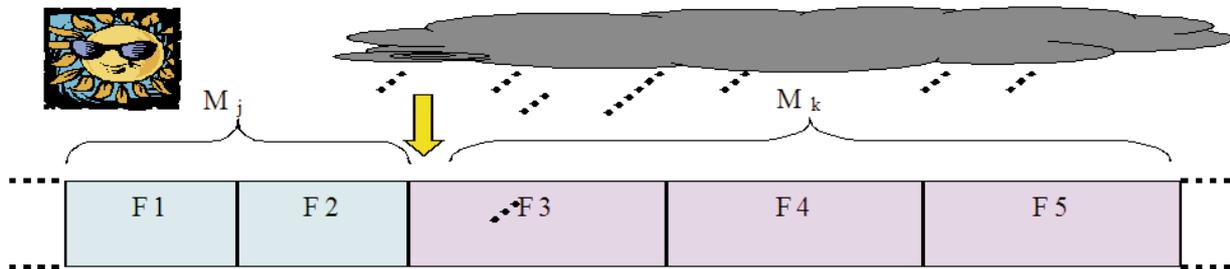
(*) Il controllo della velocità di sorgente può essere direttamente applicato alla/e sorgente/i o localmente all'ingresso del Gateway o tramite il controllo del traffico di rete

- (C/N + I disponibile) e lo riporta attraverso il canale di ritorno al gateway ACM;
- (ii) le misure del terminale ST sono prese in considerazione dal Gateway per scegliere il livello di protezione assegnato per i pacchetti di dati indirizzati al terminale ST;
 - (iii) per evitare eccesso e perdita di informazione durante le perturbazioni, viene implementato un meccanismo di controllo del bit-rate utile, adattando il traffico offerto alla capacità di canale disponibile. Questa funzionalità può essere implementata in vari modi, in accordo con i requisiti specifici del servizio e con l'architettura della rete, come spiegato in [7].

Sono due i metodi [7] in cui il gateway può imporre il livello di protezione contro gli errori da applicare a una limitata porzione di dati utili:

1. attraverso il comando ACM (vedere il diagramma del sistema a blocchi in Figura 3);
2. attraverso la suddivisione dei dati di utente di più flussi (uno per ogni livello di protezione richiesto), e inserendo ognuno di questi in un differente ingresso del modulatore DVB-S2. Il modulatore applicherà un livello di protezione costante e idoneo a ciascun flusso in ingresso.

Un punto cruciale nella definizione della funzionalità ACM è il ritardo dell'anello adattativo del livello fisico, poiché è strettamente connesso alla capacità del sistema di adattarsi alle variazioni del canale di trasmissione. Se il ciclo di adattamento è veloce, la continuità del servizio può essere garantita anche durante improvvise variazioni delle attenuazioni da pioggia.



già, allo stesso tempo minimizzando il margine sul rapporto segnale/rumore C/N per massimizzare la capacità complessiva del sistema. Il ritardo del ciclo di controllo deve essere mantenuto il più basso possibile: esso tipicamente include alcune decine di millisecondi per la valutazione del C/N +I nell'ST, alcune centinaia di millisecondi per il transito dell'informazione sul collegamento di ritorno, alcune centinaia di millisecondi nel gateway ACM e nel modulatore, circa 250 millisecondi nel collegamento diretto via satellite. Poiché le massime velocità di variazione del rapporto C/N+I in banda Ka sono di circa 0.5 dB/secondo in presenza di forti perturbazioni [9], e poiché la distanza in termini di C/N tra due livelli di protezione adiacenti per il sistema DVB-S2 è di circa 1 dB, ritardi sull'anello di controllo inferiori al secondo dovrebbero permettere di minimizzare la perdita di efficienza trasmittiva e massimizzare la capacità del sistema.

4.5 Servizi DSNG attraverso l'impiego dell'ACM

Nei collegamenti punto-punto, dove un singolo TS è inviato ad un'unica stazione ricevente (es. DSNG, Digital Satellite News Gathering), l'ACM permette di proteggere i pacchetti di dati seguendo

le variazioni C/N+I sul canale satellitare verso la postazione ricevente.

Quando le condizioni di propagazione cambiano (istante indicato dalla freccia gialla in Figura 11), i PLFRAME F_i comutano dalla modalità con protezione M_j a M_k , per garantire la continuità del servizio. Grazie a strumenti di adattamento previsti nel DVB-S2 e descritti in dettaglio in [7], si riescono a garantire bit-rate del flusso TS e ritardo end-to-end costanti, come richiesto dall'MPEG.

Il sistema DVB-S2 può operare come segue (vedere figura 10):

1. L'unità di controllo del bit-rate mantiene il bit-rate del codificatore al livello massimo compatibile con le condizioni di canale C/N+I attuali. In parallelo, può impostare la modalità di trasmissione del modulatore DVB-S2 attraverso la porta di ingresso "ACM command" (col comando ACM).
2. Il codificatore di sorgente a bit-rate variabile (VBR, *Variable Bit Rate*) estrae un flusso TS a bit-rate costante, dove le variazioni del bit-rate utile sono compensati dall'inserzione di pacchetti MPEG nulli (*Null Packets*). Il blocco "Adattatore di Modo" (si veda figura 3) cancella i pacchetti nulli, cosicché l'attuale bit-rate sul canale corrisponde al bit-rate della sorgente[7].

Fig. 11 - Variazione della protezione dagli errori dei PL FRAMES in presenza di fading da pioggia

3. Il ricevitore reinserisce i pacchetti nulli esattamente nella posizione originale, ed il segnale di temporizzazione (CLOCK) del TS è rigenerato usando l'informazione di segnalazione trasmessa dal DVB-S2 [7].

A proposito del punto 1, si deve notare che, se il ritardo nell'adattamento della velocità nel decodificatore video è maggiore del ritardo dell'adattamento di velocità nel modulatore ACM, è necessario predisporre tra questi elementi una memoria (*buffer*) convenientemente dimensionata, per evitare perdite di dati (*underflow/overflow*).

Nel seguito sono illustrati diversi esempi di utilizzo del DVB-S2 per applicazioni di contribuzione e DSNG, e confrontati con i sistemi di prima generazione DVB-S e DVB-DSNG.

Come primo esempio si consideri un servizio di contribuzione TV utilizzando grandi stazioni trasmettenti e riceventi per accedere ad un transponder da 36 MHz con 4 segnali in multiplexione di frequenza FDMA (*Frequency Division Multiple Acces*). Con il modo 16QAM 3/4 dello standard DVB-DSNG si possono allocare nella banda del transponder 4 segnali di contributo TV a 18.5 Mbit/s garantendo la disponibilità del servizio al 99.9% dell'anno medio con i seguenti parametri di collegamento: potenza EIRP della stazione di terra 76 dBW, IBO (*Input Back Off*) totale del satellite 14.3 dB, antenne in trasmissione e ricezione da 7 m di diametro. Mediante la configurazione DVB-S2 16 APSK 5/6 e roll-off 0.2, la velocità di informazione di ognuno dei segnali può essere aumentata fino a 24.75 Mbit/s, confermando perciò un guadagno in termini di capacità del DVB-S2 rispetto al DVB-DSNG maggiore del 30%. In alternativa, volendo mantenere la velocità di trasmissione pari a quella della configurazione DVB-DSNG, il guadagno del

DVB-S2 può essere utilizzato per ridurre la dimensione delle antenne in trasmissione e ricezione a 4.5 m, con il modo 8PSK 5/6, 74 dBW di EIRP in trasmissione e 13 dB di IBO totale. Mantenendo le stesse antenne, e applicando la funzionalità ACM del DVB-S2, si può poi nuovamente portare la velocità di trasmissione a 24.75 Mbit/s in condizioni di cielo chiaro.

I vantaggi del DVB-S2 e dell'ACM sono anche evidenti per i servizi di tipo DSNG. Per esempio, in una porzione di banda satellitare di 9 MHz, un veicolo attrezzato per DSNG con un'antenna da 1.2 di diametro (e 61 dBW di potenza EIRP) può trasmettere 19.8 Mbit/s a cielo chiaro (16APSK 2/3, e roll-off 0.2) e commutare a 14.85 Mbit/s in presenza di forti attenuazioni da pioggia (8PSK 2/3). Come paragone si consideri che il DVB-DSNG con QPSK 7/8 permetterebbe di trasmettere solamente 10.7 Mbit/s.

Come ultimo esempio, si consideri una stazione DSNG portatile (*fly-away*), con un'antenna da 90 cm e 12 W di potenza HPA. Il DVB-S2 con l'ACM permette di trasmettere 9.9 Mbit/s a cielo chiaro (QPSK 2/3 e roll-off 0.2), 8.9 Mbit/s (QPSK 3/5) in condizione di propagazione tipiche e 3.68 Mbit/s (QPSK 1/4) in condizioni critiche di collegamento (per il 99.9 % dell'anno medio, potenza in salita EIRP 49 dBW, 12 dB di IBO totale, antenna ricevente da 4m, quattro segnali per transponder). Ciò garantisce di avere una buona qualità dell'immagine usando la codifica MPEG-2 ed una qualità eccellente con i nuovi codificatori AVC. Con il DVB-S (in modalità QPSK 1/2) sarebbe necessaria una stazione trasmittente con 5 dB in più di potenza, e la velocità d'informazione sarebbe costante a 6,1 Mbit/s.

4.6 Servizi Unicast IP

I collegamenti IP Unicast con la modalità ACM sono impostabili in modo analogo al caso DSNG appena illustrato, con la differenza che la configurazione di protezione dagli errori deve essere scelta per ognuno degli utenti del servizio, tenendo conto che il numero di utenti può essere molto ampio (ad es. centinaia di migliaia).

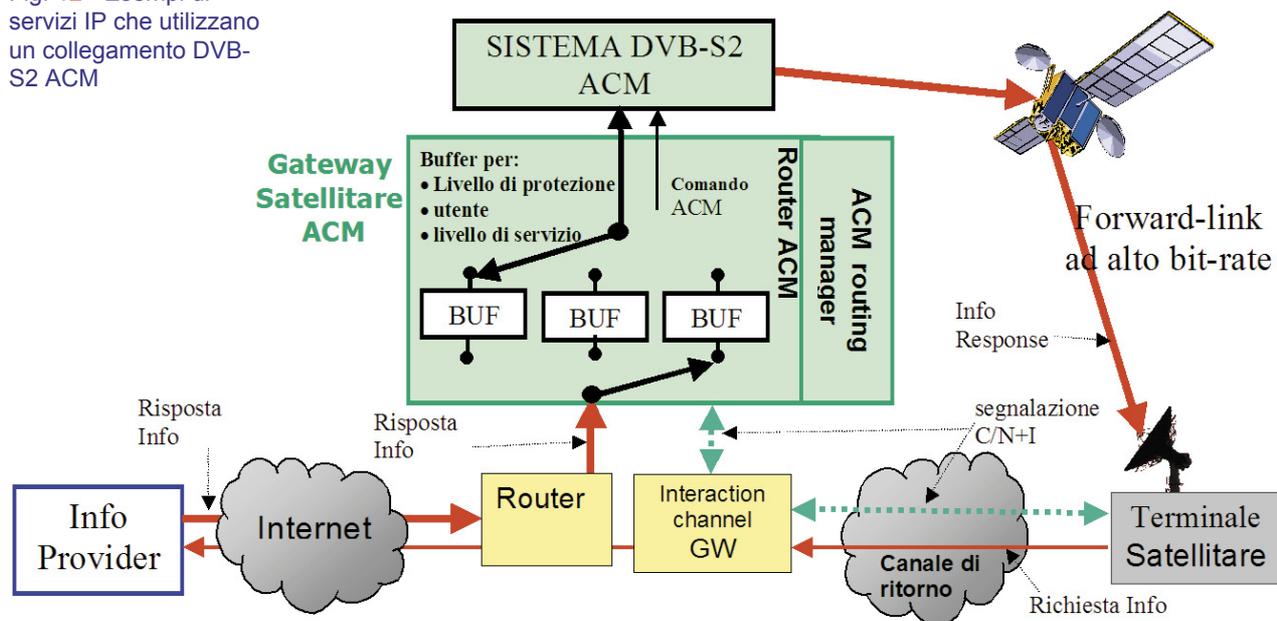
La figura 12 (derivata dalla figura 10), mostra un possibile scambio di informazioni (richiesta e risposta) tra l'utente, il modulo di adattamento Satellitare e uno dei Fornitori (Providers) di Informazione durante una sessione di navigazione in Internet via satellite (collegamento diretto verso l'utente ad elevata capacità) [7].

I servizi dati interattivi possono trarre vantaggio dall'uso del DVB-S2 grazie alla possibilità di avere una protezione dagli errori non uniforme mediante l'ACM e livelli di servizio differenziati, come priorità nelle code di consegna, bit-rate minimo garantito, ...

A seconda delle regole di negoziazione tra il terminale da Satellite e il gestore dell'instradamento (*routing manager*) ACM, il router ACM può in linea di principio separare i pacchetti IP per utente, in funzione della protezione richiesta dagli errori e del livello del servizio richiesto.

Il traffico complessivo di ingresso su vari livelli di protezione non dovrà però sovraccaricare il canale: ciò vale per il traffico medio in ingresso, mentre il picco del traffico potrà occasionalmente oltrepassare la capacità, compatibilmente con le dimensioni del buffer di ingresso e dei livelli massimi di ritardo richiesti dal servizio. Sono state implementate varie strategie per superare questa limitazione, quando il traffico totale offerto diventa maggiore della capacità del canale: per esempio i pacchetti IP a più bassa priorità di livello di protezione dagli errori possono essere differiti (o anche cancellati) in favore di pacchetti a più alta priorità, oppure il bit-rate fornito agli utenti può essere ridotto in condizioni di cattiva ricezione.

Fig. 12 - Esempi di servizi IP che utilizzano un collegamento DVB-S2 ACM



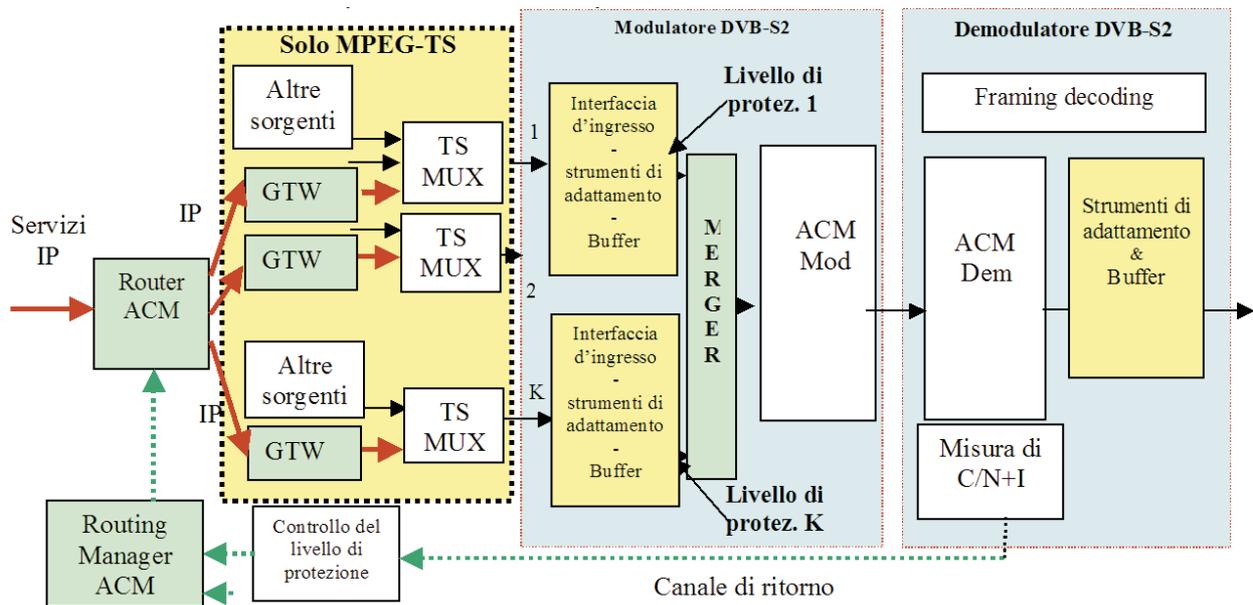


Fig. 13 – IP Unicast e ACM: Flussi di Ingresso Multipli
 – protezione uniforme per flusso (per flussi d’ingresso di tipo generico GS non sono richiesti GTW e moltiplicatori di TS).

Se i ritardi dell’anello di controllo (compresi il routing manager ed il router ACM) sono troppo grandi per consentire una ricezione priva di errori, in presenza di un peggioramento delle condizioni atmosferiche del canale, i servizi real-time (in tempo reale) (come ad esempio lo streaming di segnali audio/video) possono essere permanentemente collocati in un ramo molto protetto mentre i servizi a priorità più bassa (come per esempio i servizi “best effort”), possono sfruttare i rami a efficienza maggiore (e quindi a costi più bassi) forniti dall’ACM.

Nel router ACM, la strategia di “polling” dei buffer di ingresso, può essere caratterizzata statisticamente o dinamicamente in accordo con le statistiche di traffico, le caratteristiche di propagazione e la politica di identificazione delle priorità di traffico dell’operatore di servizio.

Il router ACM si può interfacciare con il modulatore DVB-S2 [2]:

- attraverso un ingresso per un singolo flusso generico GS e un ingresso di comando ACM. In questo caso il router ACM è indipendente dal modulatore DVB-S2, e può implementare qualsiasi politica di instradamento. Il modulatore DVB-S2 trasmette immediatamente i dati utente in accordo con il comando ACM, quindi i ritardi di ciclo possono essere minimizzati.
- attraverso ingressi di flusso multiplo (di tipo Transport o Generic), uno per ogni livello di protezione attiva (l’interfaccia del comando l’ACM non deve essere attiva). In questo caso il blocco Merger/Slicer del modulatore DVB-S2 copre parzialmente la funzionalità del router ACM.

Quest’ultimo caso è rappresentato più in dettaglio in figura 13. Il router ACM divide i pacchetti utente per livello di servizio (priorità) e per livello di protezione richiesta e li invia alle interfacce di

ingresso multiple del modulatore DVB-S2, essendo ciascun flusso associato ad un dato livello di protezione. Quindi, ciascun flusso di ingresso trasporta il traffico di tutti gli utenti che hanno bisogno di un livello di protezione specifico ed il suo bit-rate utile può (lentamente) cambiare in relazione alle caratteristiche del traffico.

Il Merger in figura 13 interroga ciclicamente i buffer di ingresso e convoglia al modulatore ACM un blocco di dati utente pronto per riempire (almeno parzialmente) un frame.

Per evitare lunghi ritardi in ogni buffer Merger/Slicer si può definire un tempo massimo (time-out) di stazionamento dei dati. Durante i picchi di traffico che sovraccaricano il canale fisico, una strategia semplice di tipo "round-robin" può non essere sufficiente per soddisfare l'esigenza di distribuire adeguatamente la capacità disponibile tra gli utenti. Quindi si devono adottare strategie alternative per caratterizzare questo tipo di priorità.

Il blocco tratteggiato in figura 13 si riferisce al caso specifico di servizi IP incapsulati nel flusso di Trasporto TS (Multi-Protocol Encapsulation, MPE) in accordo con la norma EN 301 192. In questo caso, K Gateway MPE GTW sono associati a K moltiplicatori di TS, per alimentare K flussi di ingresso DVB-S2 (uno per livello di protezione attivato).

4.7 Modi compatibili con i sistemi di prima generazione

I modi del DVB-S2 compatibili con i sistemi satellitari di prima generazione possono essere impiegati per aumentare i servizi forniti da un transponder da satellite, senza interferire coi ricevitori DVB-S [8]. Con riferimento ai modi gerarchici del DVB-S2 descritti nella figura 4, di seguito

sono analizzate le prestazioni del TS ad Alta Priorità (compatibili anche col sistema dei ricevitori DVB-S) e di quello a Bassa Priorità (ricevibile soltanto dai nuovi ricevitori DVB-S2).

Nella figura 14, è rappresentato il rapporto segnale rumore C/N richiesto dai flussi HP (compatibile) ed LP (non-compatibile) per raggiungere l'obiettivo QEF (Quasi Error Free)^{Nota 14} in funzione dell'angolo θ che caratterizza la costellazione 8PSK non uniforme. Con l'incremento dell'angolo θ , il rapporto C/N del flusso HP aumenta, mentre il C/N del flusso LP (Bassa Priorità) diminuisce. E' anche indicata la capacità in bits/Hz per tutte le configurazioni dei flussi HP e LP previste dallo standard.

Il primo scenario applicativo analizzato rappresenta il caso in cui si voglia garantire la stessa disponibilità di servizio (per esempio rispetto all'attenuazione da pioggia) per i due livelli di priorità, come può accadere nel caso in cui sia l'HP che l'LP trasportino applicazioni video. La figura 15 illustra, in aggiunta alla curva del solo sistema DVB-S, la capacità complessiva del sistema DVB-S2 gerarchica (HP+LP) per larghezza di banda unitaria, in funzione del rapporto C/N disponibile^{Nota 15}. Si può notare come si possa ottenere capacità addizionale attraverso le modulazioni gerarchiche soltanto per rapporti C/N superiori a 7 dB, mentre per rapporti C/N inferiori è preferibile l'uso del solo DVB-S (sia in termini di capacità, sia in termini di totale compatibilità). In partico-

Nota 14 Per essere coerenti con la norma EN 300 421 [1] i dati del rapporto C/N per l'HP e l'LP corrispondono al livello QEF obiettivo del DVB-S (più rigoroso del QEF obiettivo del DVB-S2 [2]). E' incluso anche un margine di implementazione di 0.8 dB in entrambi i rami.

Nota 15 - La figura 15 deriva dalla figura 13, prendendo l'intersezione delle curve HP e LP (con angoli θ corrispondenti al C/N bilanciato). Su ogni curva sono tracciati i cinque possibili rapporti di codifica del DVB-S, da destra a sinistra partendo da 7/8 a 5/6, 3/4, 2/3 e 1/2; la sequenza si interrompe sulla parte sinistra, quando l'angolo θ supera i 18°.

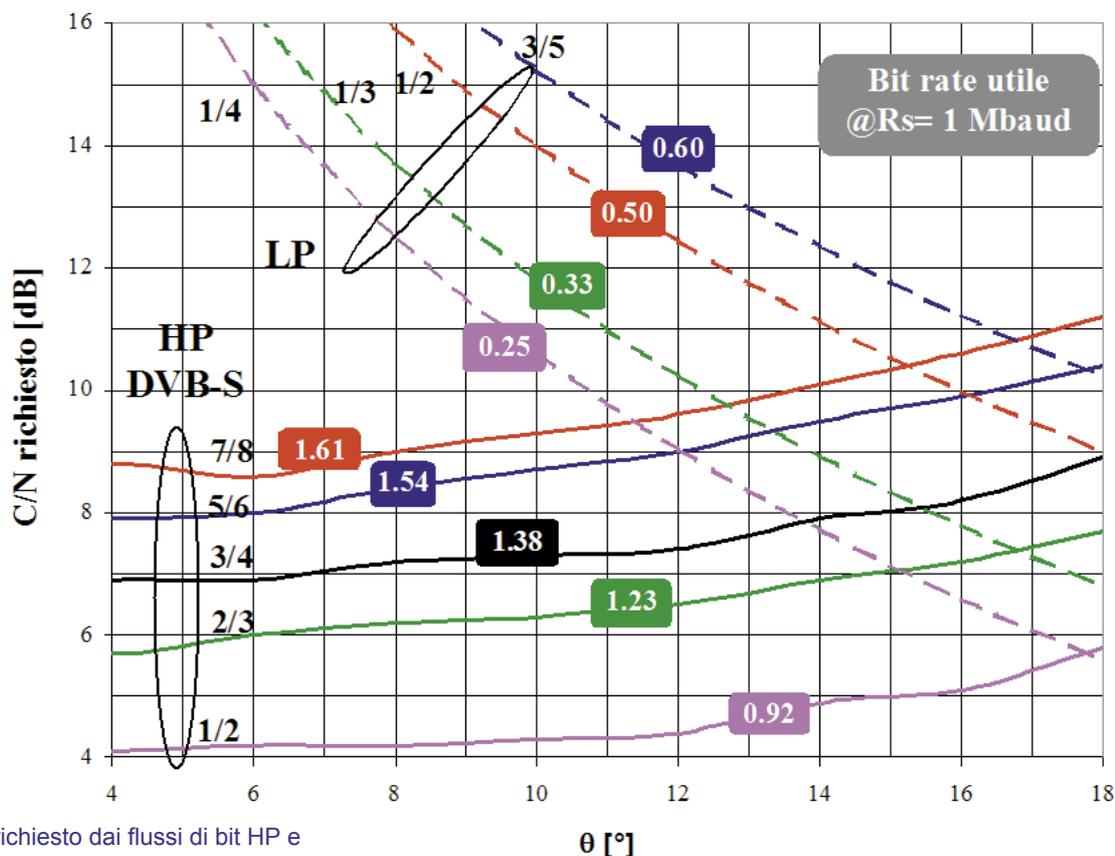


Fig. 14 - C/N richiesto dai flussi di bit HP e LP rispetto all'angolo θ della costellazione non uniforme 8PSK, sul canale AWGN per i modi previsto dallo standard

lare, le modulazioni gerarchiche si rivelano utili quando il rapporto C/N disponibile è maggiore di quello richiesto dal DVB-S con rapporto di codifica 7/8.

Per esempio, se il link budget assicura un C/N di 10.8 dB per la disponibilità obiettivo (per esempio 99,9 % dell'anno medio), per una velocità di simbolo uguale a 27.5 MHz l'impiego del DVB-S con rapporto di codifica 7/8 offrirebbe soltanto 44 Mbit/s, mentre introducendo una modulazione gerarchica (LP con rapporto di codifica 3/5) si disporrebbe di un incremento di capacità trasmissiva di 16 Mbit/s per gli utenti del DVB-S2, allo stesso tempo garantendo una disponibilità di servizio del 99,9 % dell'anno medio per tutti gli utenti.

Se si riduce al 99 % dell'anno medio la disponibilità obiettivo per il flusso a Bassa Priorità (questo potrebbe rappresentare la situazione in cui il flusso LP non contiene programmi TV, ma servizi dati addizionali), il ramo a Bassa Priorità beneficerebbe di un incremento del rapporto C/N da 2 a 4 dB – a seconda delle zone climatiche - che potrebbe essere impiegato per incrementare i rapporti di codifica del codice e la capacità trasmissiva. Facendo riferimento alla figura 14 e assumendo un C/N disponibile di 7dB per HP al 99,9 % dell'anno medio e di 10,5 dB per LP al 99 % dell'anno medio, si potrebbe pensare di impiegare un rapporto di codifica 2/3 per l'HP ed 1/2 per l'LP (con l'angolo θ a 15°). Per una velocità di simbolo di 27.5

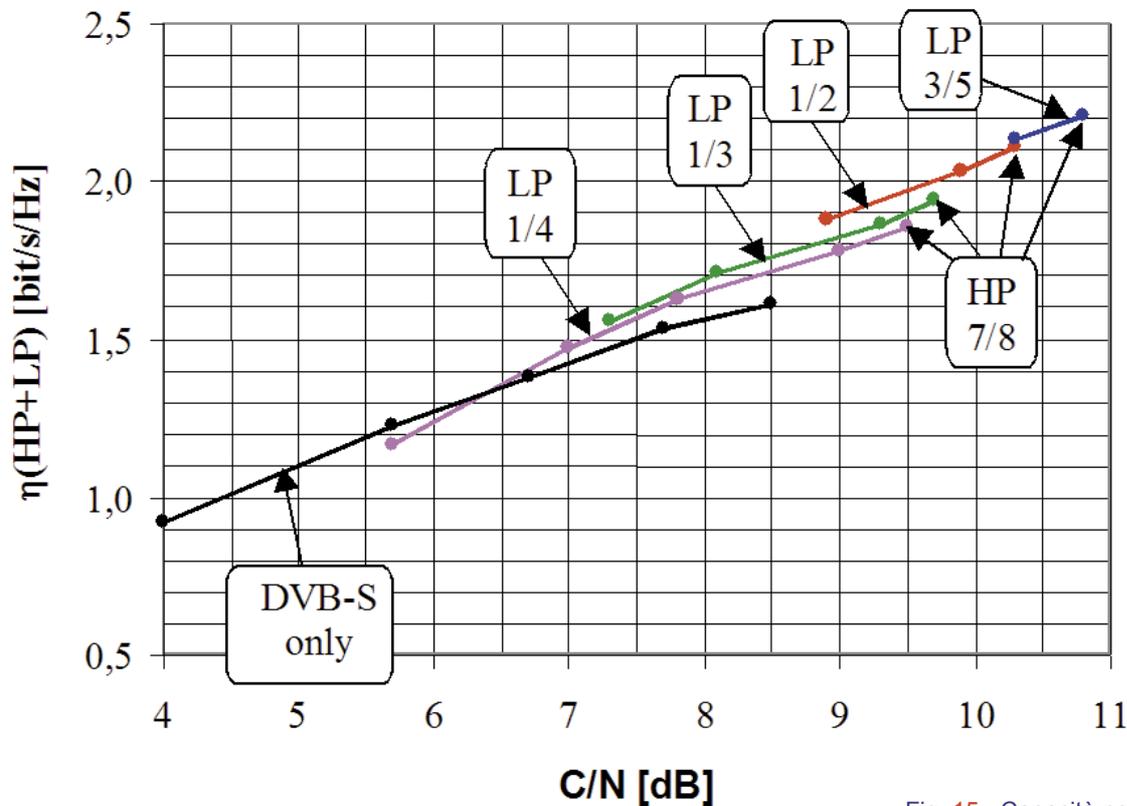


Fig. 15 - Capacità normalizzata dei dati d'utente in funzione del rapporto C/N (prestazioni HP e LP bilanciate)

MBaud, la capacità addizionale sull'HP sarebbe di circa 13.8 Mbit/s (da paragonarsi con la capacità addizionale di 4.1 Mbit/s ottenibile usando il DVB-S da solo ad una velocità di codice di 3/4 invece di 2/3 con disponibilità del servizio del 99,9%).

5. Conclusioni

Il consorzio DVB non prevede una sostituzione a breve termine del DVB-S con il DVB-S2: nel mondo operano milioni di decodificatori DVB-S, contribuendo al successo del business digitale. Bisogna però tenere conto che stanno per essere lanciate nel mercato consumer della TV satellitare nuove applicazioni come la TV

ad alta definizione ed i nuovi servizi basati su protocollo IP.

Due esempi possono mettere in risalto la rivoluzione che sta di fronte a noi. Combinando il DVB-S2 e i nuovi schemi di codifica audio e video che verranno introdotti a breve come specifiche DVB, si potranno trasmettere su un transponder convenzionale a 36 MHz da 20 a 25 programmi in SDTV o 5 o 6 programmi HDTV.

Nel settore delle connessioni veloci ad Internet via satellite, combinando la tecnologia ACM con il DVB-S2, i satelliti multi-spot in banda Ka ed il sistema per canale di ritorno satellitare DVB-RCS [12], gli attuali costi della capacità satellitare possono essere ridotti di un fattore 10.

Questo può riaprire la competizione con le infrastrutture terrestri, come le linee ADSL e i modem via cavo, almeno per quanto riguarda le aree rurali.

In questi settori di applicazione il DVB-S2 realizzerà ciò che il DVB-S non avrebbe mai potuto fare.

Ringraziamenti

Si ringrazia Gemma Bonino per la collaborazione linguistica per traduzioni e stesura dell'articolo.

Bibliografia

1. ETSI: EN 300 421 V1.1.2 (1997-08) "Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services"
2. ETSI: Draft EN 302 307 "Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2)"
3. R. Gallager: "Low Density Parity Check Codes", IRE Trans. on Info. Theory, January 1962
4. M. Eroz, F.-W. Sun and L.-N. Lee, "DVB-S2 Low Density Parity Check Codes with near Shannon Limit Performance" proposto per la pubblicazione su International Journal of Satellite Communications Networks
5. E. Casini, R. De Gaudenzi, A. Ginesi, "DVB-S2 modem algorithms design and performance over typical satellite channels", proposto per la pubblicazione su International Journal of Satellite Communications Networks
6. F.-W. Sun Y. Jiang and L.-N. Lee, "Frame synchronization and pilot structure for DVB-S2" proposto per la pubblicazione su International Journal of Satellite Communications Networks
7. R. Rinaldo, M. Vazquez-Castro, A. Morello, "DVB-S2 ACM modes for IP and MPEG unicast applications" proposto per la pubblicazione su International Journal of Satellite Communications Networks
8. E. Chen, J. L. Koslov, V. Mignone, J. Santoru, "DVB-S2 Backward-compatible modes: a Bridge Between the Present and the Future" proposto per la pubblicazione su International Journal of Satellite Communications Networks
9. R. Rinaldo, R. De Gaudenzi, "Adaptive Coding and Modulation for the Forward Link of Broadband Multimedia Systems", proposto per la pubblicazione su International Journal of Satellite Communications Networks
10. ETSI: EN 301 210: "DVB: Framing structure, channel coding and modulation for DSNG and other contribution applications by satellite"
11. A. Morello, V. Mignone, "The new DVB standard for digital satellite News Gathering and other contribution applications by satellite", EBU Technical Review – Autumn 1998
12. U. Reimers (ed.), "Digital Video Broadcasting - The DVB Family of Standards for Digital Television", 2nd ed., 2004, Springer Publishers, New York, ISBN 3-540-43545-X