

# DVB-S2X:

## l'estensione verso il futuro delle comunicazioni via satellite

Vittoria **Mignone**, Alberto **Morello**, Giovanni **Vitale**  
Rai - Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica

### 1. INTRODUZIONE

Nel 1993 con il DVB-S, e poi di nuovo nel 2003 con il DVB-S2 [1], gli standard satellitari DVB hanno contribuito alla definizione di una famiglia di standard digitali, rispettivamente di prima e seconda generazione, indirizzando le scelte tecnologiche degli standard DVB per la trasmissione sul canale terrestre e via cavo.

Nel Gennaio 2013, a circa dieci anni dalla nascita del sistema DVB-S2, il consorzio DVB ha pubblicato un bando [2] per la definizione di un nuovo sistema di trasmissione satellitare, volto all'evoluzione e al miglioramento delle tecniche trasmissive in ambito satellitare.

Le ragioni che hanno spinto il Modulo Commerciale del DVB a promuovere le nuove attività del Modulo Tecnico sulla trasmissione satellitare sono diverse [3]:

- 1) la necessità di difendere il mercato da sistemi proprietari sempre più aggressivi, introdotti sul mercato negli ultimi anni per soddisfare la domanda degli operatori professionali di sistemi ad altissima efficienza per la contribuzione e distribuzione TV, il DSNG (*Digital Satellite News Gathering*) e la trasmissione dati;
- 2) l'introduzione del sistema di codifica HEVC (*High Efficiency Video Coding*) nel 2013 e il lancio, previsto a partire dal 2015-2016, delle

*Nel gennaio 2014 lo steering board del DVB ha approvato una estensione dello standard DVB-S2, denominata DVB-S2X (S2 eXtensions), che verrà pubblicata come Parte II dello standard EN 302 307. La Parte I, invece, conterrà la specifica del DVB-S2 originale.*

*Il DVB-S2X offre nuove configurazioni e prestazioni migliorate per gli scenari del DVB-S2 (DTH, broadband e interattività, DSNG e applicazioni professionali, contribuzione e distribuzione TV) ed estende i modi di funzionamento per coprire nuovi mercati emergenti come il settore mobile.*

*L'articolo descrive le caratteristiche principali del nuovo sistema che si basa sulle eccellenti tecnologie del DVB-S2 e introduce elementi innovativi sia a livello fisico (nuovi MODCOD per una migliore granularità e un intervallo di rapporti segnale-rumore più esteso, nuove costellazioni ottimizzate per canali lineari e non, roll-off più stretti, nuove sequenze di scrambling per ridurre l'interferenza co-canale) sia ai livelli superiori (channel bonding, protocolli GSE e GSE-lite, introduzione del Super-Frame).*

*Seppure i guadagni in termini di incremento di capacità offerti dal DVB-S2X rispetto al DVB-S2 in ambito DTH siano decisamente meno significativi rispetto a quanto ottenuto nel passaggio da DVB-S a DVB-S2, il DVB-S2X si presenta, comunque, come un sistema decisamente appetibile per operatori e costruttori interessati al lancio di nuovi servizi commerciali che richiederebbero in ogni caso la definizione di nuovi ricevitori. Per le applicazioni professionali, infine, con l'introduzione di nuovi modi a più alta efficienza spettrale (fino a quasi 6 bps/Hz), il DVB-S2X offre la risposta a richieste sempre più stringenti in termini di allocazione delle risorse.*

prime trasmissioni UHDTV (*Ultra High Definition TV*) commerciali, basate in una prima fase su tecnologia 4K e in seguito su 8K;

- 3) l'opportunità di valutare eventuali miglioramenti nelle prestazioni del DVB-S2, in termini di efficienza spettrale, nei segmenti di mercato di riferimento, quali la diffusione televisiva DTH (*Direct To Home*), la contribuzione, le applicazioni VSAT (*Very Small Aperture Terminal*) e DSNG;
- 4) la volontà di espandere il campo di applicazione del DVB-S2 a mercati non strategici ma in forte espansione, quali il settore mobile (aereo, ferroviario e navale) e quello delle applicazioni professionali (VSAT) in regioni caratterizzate da elevate attenuazioni del segnale ricevuto, a causa delle perturbazioni atmosferiche.

## 1.1 EVOLUZIONE O RIVOLUZIONE?

Su richiesta del Modulo Commerciale, nei mesi precedenti la definizione della nuova specifica, il gruppo di lavoro tecnico S2 ha lavorato su due fronti: il primo (EVO) orientato alla definizione di un'evoluzione dello standard S2, ricalcandone la struttura e con un grado di complessità al ricevitore paragonabile a quello degli attuali dispositivi, in modo da favorire l'introduzione dei nuovi ricevitori sul mercato in tempi relativamente rapidi; il secondo (REVO) rivolto allo studio di tecniche innovative ed ambiziose, per uno standard satellitare rivoluzionario e totalmente indipendente, svincolato dai vecchi sistemi, senza limiti stringenti alla complessità del ricevitore ed alle tempistiche di sviluppo. I risultati di questa seconda attività, rinominata *Study Mission on Green Field Technologies*, sono riportati in [4], dove si evidenzia che, nonostante siano molte le nuove tecnologie proposte in letteratura per migliorare le prestazioni dei sistemi satellitari, i tempi non siano ancora maturi per la definizione di uno standard satellitare completamente rinnovato. Sono state considerate, tra l'altro, nuove tecniche di modulazione e codifica, nuove forme d'onda come il SC-OFDM (*Single Carrier – Orthogonal Frequency*

*Division Multiplexing*), il *Faster than Nyquist Signaling* e il *Time-Frequency Packing*, nuovi algoritmi di ricezione per demodulazione, decodifica ed equalizzazione congiunta e nuove tecniche di mitigazione dell'interferenza.

Molte delle tecniche innovative valutate si sono rivelate applicabili anche ad un sistema di tipo "evolutivo". Per questo motivo, nell'estate del 2013, sulla base dei risultati preliminari della *Study Mission*, il DVB ha deciso di realizzare la nuova specifica come estensione del DVB-S2. La specifica del DVB-S2 (EN 302 307) approvata a gennaio 2014 dallo Steering Board del DVB è dunque suddivisa in due parti:

- la *Parte I*, normativa, contenente la specifica del DVB-S2 originale;
- la *Parte II*, opzionale, contenente la specifica del DVB-S2X (*S2 eXtension*), nuova estensione dello standard [7].

I futuri ricevitori DVB-S2X dovranno essere compatibili con le trasmissioni secondo lo standard DVB-S2, dal momento che la *Parte I* dello standard è normativa, mentre i ricevitori DVB-S2 non avranno vincoli di compatibilità con le nuove funzionalità introdotte dal DVB-S2X, essendo la *Parte II* opzionale.

## 2. SCENARI APPLICATIVI DEL DVB-S2X

Lo standard DVB-S2X consente di operare in ambiti di interesse consolidati come la diffusione TV (DTH, *Direct To Home*), le applicazioni interattive a larga banda per l'utenza domestica e professionale tramite l'uso della tecnica ACM (*Adaptive Coding and Modulation*), il DSNG e altre applicazioni professionali, la contribuzione e distribuzione TV, la distribuzione dati e di siti internet (*Internet Trunking*), ma introduce anche nuove configurazioni rivolte a nuove aree di interesse; infatti, il nuovo sistema è in grado di funzionare anche in condizioni di rapporto segnale-rumore non convenzionali, ed in particolare in condizioni di:

- bassissimo rapporto segnale-rumore (VL-SNR,

*Very-Low SNR*): da -3 dB fino a -10 dB, tipico in regioni caratterizzate da elevate attenuazioni del segnale ricevuto a causa delle perturbazioni atmosferiche, come ad esempio le zone tropicali in particolare per la banda **Ka**, e dei servizi verso terminali mobili (aerei, treni veloci, navi, ecc.)<sup>Nota 1</sup>

- altissimo rapporto segnale-rumore (*VH-SNR*, *Very-High SNR*): oltre i 12 dB, per applicazioni professionali ad elevata efficienza spettrale (arrivando ad efficienze spettrali di circa 6 bps/Hz usando una modulazione 256APSK).

### 3. PRINCIPALI INNOVAZIONI DEL SISTEMA

#### 3.1 IL LIVELLO FISICO

Il nuovo sistema DVB-S2X conserva la stessa architettura generale del DVB-S2 (figura 1), nonché tutte le configurazioni, in modo da garantire la compatibilità con i segnali di tipo S2, oltre che per una veloce e facile immissione sul mercato.

#### 3.1.1 Nuovi MODCOD e roll-off più stretti

Come per il DVB-S2, anche nel DVB-S2X la trasmissione dati è protetta dalla concatenazione di due codici correttori FEC (*Forward Error Correction*), il codice interno LDPC (*Low Density Parity Check*) e il BCH (*Bose Chaudhuri Hocquenghem*) esterno, ed è basata sulle costellazioni APSK (*Amplitude Phase Shift Keying*). Le nuove configurazioni di modulazione e rate di codifica (MODCOD) offerte sono pari a circa il doppio rispetto ai modi presenti nel DVB-S2 per una maggiore granularità nel piano efficienza spettrale/rapporto segnale-rumore. Per quanto riguarda la lunghezza di blocco del codice LDPC, oltre al blocco lungo (64800 bit) e corto (16200 bit), già presenti nel DVB-S2, per i quali vengono definiti nuovi code rate (2/9, 13/45, 9/20, 11/20, 26/45, 28/45, 23/36, 25/36, 13/18, 7/9, 90/180, 96/180, 100/180, 104/180, 116/180, 124/180, 128/180, 132/180, 135/180, 140/180, 154/180, 18/30, 20/30, 22/30 con blocco lungo e 11/45, 4/15, 14/45, 7/15, 8/15, 26/45, 32/45 con blocco corto), sono introdotte alcune configurazioni con blocco medio da 32400 bit (code rate 1/5, 11/45 e 1/3).

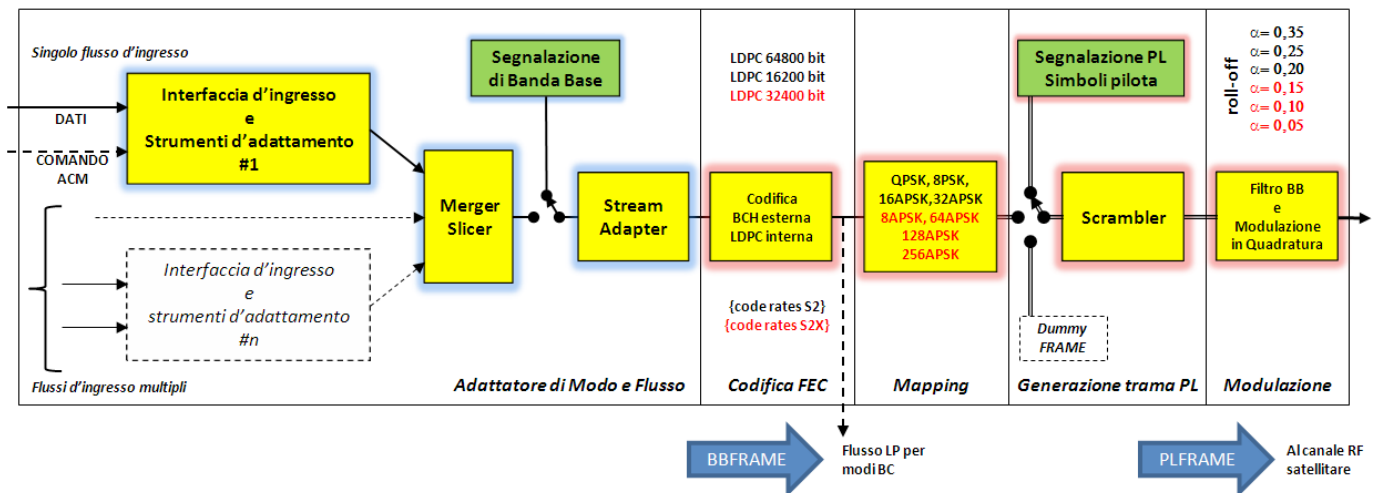


Fig. 1 – Schema a blocchi funzionale del sistema DVB-S2/S2X: sono evidenziate in rosso le estensioni più significative del DVB-S2X

Nota 1 - Si noti la differenza rispetto al DVB-NGH, prevalentemente concentrato su dispositivi di tipo hand-held, mentre il DVB-S2X considera terminali riceventi di tipo set-top-box, dotati di antenne riceventi direttive puntate verso il satellite

Le costellazioni utilizzate vanno dalla BPSK alla 256APSK e, oltre alle costellazioni QPSK, 8PSK, 16APSK e 32APSK del DVB-S2, sono state aggiunte nuove configurazioni 8APSK, 16APSK e 32APSK (figura 2), più le nuove 64APSK (figura 3), 128APSK e 256APSK (figura 4) per le applicazioni broadband e professionali, e la  $\pi/2$ -BPSK, in associazione con uno spreading di un fattore 2 per i rate di codifica più bassi, per i modi VL-SNR. Inoltre, il DVB-S2X

introduce configurazioni specifiche (indicate nello standard dal suffisso “-L” in cascata al loro nome), ottimizzate per il canale lineare (utilizzabili ad esempio per trasmissioni in configurazioni multi portante MCPC, *Multiple Carrier Per Channel*). Il guadagno offerto da questi MODCOD rispetto ai corrispettivi per il canale non-lineare può arrivare anche fino a 1 dB, per la stessa efficienza spettrale.

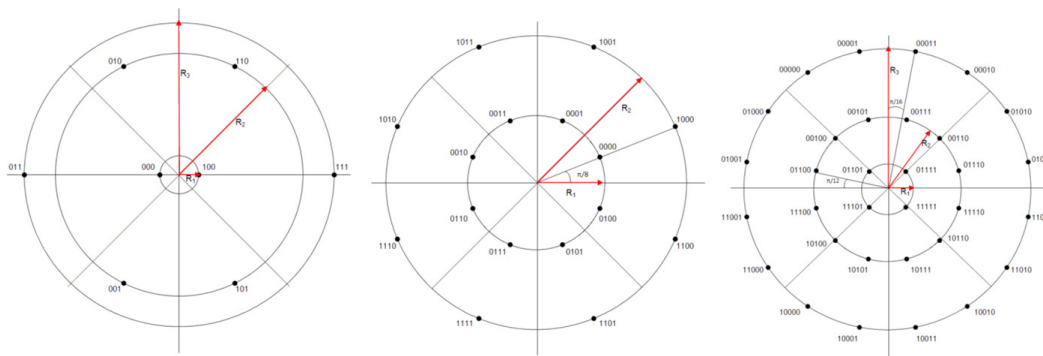


Fig. 2 – Esempi di costellazione 8APSK, 16APSK e 32APSK del DVB-S2X



Fig. 3 – Differenti realizzazioni della costellazione 64APSK del DVB-S2X

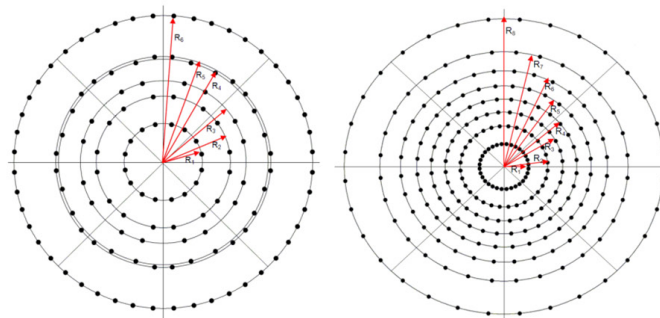


Fig. 4 – Esempi di costellazione 128APSK e 256APSK del DVB-S2X

Tra le altre caratteristiche generali del nuovo sistema, merita una menzione particolare l'introduzione di valori di roll-off più piccoli (15%, 10% e 5%) per ridurre l'occupazione in frequenza del segnale, consentendo di ottimizzare la configurazione del sistema a seconda delle esigenze operative (si veda l'appendice A). Il DVB-S2X rende anche normativa la modalità VCM (*Variable Coding and Modulation*) per tutti gli scenari applicativi: nel DVB-S2, per il DTH la modalità normativa era la CCM (*Constant Coding and Modulation*), mentre la VCM era opzionale. In questo modo, variando la configurazione del sistema, e quindi la protezione sul segnale, frame per frame, è possibile utilizzare il giusto compromesso fra robustezza del segnale ed efficienza spettrale, sulla base degli specifici requisiti dei servizi trasmessi.

### 3.1.2 Il PLHEADER

Come per il DVB-S2, il *Frame di livello fisico* (PL-FRAME) è preceduto da un *Physical Layer Header* (PLHEADER), la cui funzione è quella di trasportare i bit necessari alla sincronizzazione dei dispositivi riceventi con il segnale trasmesso. Il PLHEADER trasporta anche informazioni aggiuntive come la lunghezza del frame dati, la presenza di simboli pilota per facilitare la sincronizzazione del ricevitore e lo schema di modulazione e codifica utilizzato; dal momento che lo standard DVB-S2X introduce nuovi MODCOD rispetto al DVB-S2, è stato incrementato il numero di bit del PLHEADER da 7 (S2) a 8. L'ottavo bit per la segnalazione dei nuovi MODCOD viene segnalato introducendo un salto di fase di  $\pi/2$  dopo la sequenza che segnala l'inizio di un nuovo

frame (SOF, *Start Of Frame*). Per ricevitori operanti nell'intervallo di valori di SNR tradizionale del DVB-S2 (SNR > -3 dB), si procederà prima alla decodifica di ciascun PLHEADER e alla valutazione della lunghezza dei frame, che potrà essere costante nel caso di trasmissione in modalità CCM o variabile per trasmissioni in modalità VCM o ACM.

Sebbene il PLHEADER garantisca una ricezione affidabile del segnale per valori di SNR poco inferiori a -2,5 dB, tale soglia non è comunque sufficiente alla ricezione dei nuovi MODCOD VL-SNR, capaci di operare a valori di rapporto segnale-rumore intorno ai -10 dB. Per ovviare al problema senza variare la struttura dei frame tradizionali e permettere l'inserzione dei frame VL-SNR all'interno di trame di segnale "regolari", in associazione ai MODCOD VL-SNR è prevista la trasmissione, in coda al PLHEADER, di un header speciale (VL-SNR Header) basato sulle sequenze di Walsh-Hadamard, in grado di garantire la sincronizzazione su terminali mobili operanti in VL-SNR, oltre che l'identificazione del MODCOD utilizzato (figura 5).

Affinché venga garantito anche il funzionamento con i tradizionali ricevitori DVB-S2 in modalità VCM, la lunghezza dei codici LDPC, nel caso di MODCOD per VL-SNR, è stata modificata (mediante punturazione e accorciamento) in modo che la lunghezza totale del frame (inclusi i 900 simboli per la sincronizzazione e l'uso di pilota) sia pari a quella dei frame QPSK o 16APSK: il ricevitore DVB-S2, pur non essendo in grado di decodificare i frame VL-SNR, ne può riconoscere la presenza e la lunghezza e saltarli.

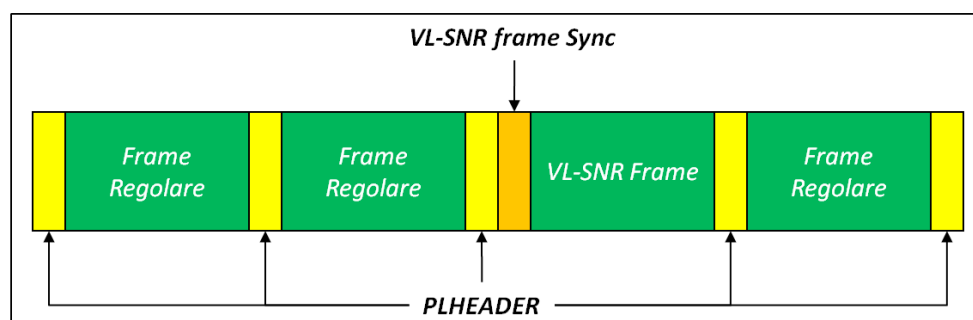


Fig. 5 – Sequenza di frame DVB-S2X regolari e VL-SNR



### 3.1.3 Le sequenze di scrambling

Per mitigare l'interferenza co-canale il DVB-S2X affianca sei nuove sequenze di scrambling alla sequenza del DVB-S2 nelle applicazioni DTH. In alcuni casi specifici, infatti, già oggi si verificano situazioni di elevata interferenza co-canale (CCI, *Co-Channel Interference*), e si prevede che possa diventare sempre più frequente in futuro nelle configurazioni satellitari multi-spot (specialmente in banda **Ka**). Per evitare il degradamento delle prestazioni sulla stima di canale basata su dati pilota, il DVB-S2X propone un meccanismo per mitigare l'interferenza co-canale tra segnali S2/S2X, mediante l'uso di un insieme definito di sequenze di scrambling: alla sequenza definita nel DVB-S2 (0) sono aggiunti altri sei codici con buone proprietà di rigetto dell'interferenza. Un ricevitore DVB-S2X cercherà di decodificare utilizzando la sequenza di codice 0, e poi passerà alle altre, se necessario.

## 3.2 I NUOVI ELEMENTI DEI LIVELLI SUPERIORI PER UNO STANDARD AL PASSO COI TEMPI

Anche ai livelli protocollari superiori, il DVB-S2X introduce nuove funzionalità, che consentono di aumentarne la flessibilità e le prestazioni. In particolare, si introduce il concetto di *channel bonding* per suddividere un grande flusso trasmissivo su più transponder satellitari e l'uso di nuovi protocolli di

trasmissione per IP: il *GSE (Generic Stream Encapsulator)* e il *GSE-lite*.

Infine, il nuovo standard definisce una struttura opzionale di *Super-Frame*, per permettere in futuro trasmissioni multi-formato capaci di garantire forti guadagni in termini di capacità e flessibilità del sistema e favorire lo sviluppo di tecniche avanzate (mitigazione dell'interferenza, beam-hopping) per migliorare in modo significativo le prestazioni su reti per servizi interattivi a banda larga.

### 3.2.1 Channel bonding

Nel 2003 una delle applicazioni più all'avanguardia per servizi DTH era costituita dalla trasmissione della HDTV multi-programma tramite AVC (H264) e su un transponder da 36 MHz, avendo a disposizione un bit-rate di circa 60 Mbit/s, si potevano trasportare sei programmi HDTV: sfruttando il guadagno del 20% in capacità offerto dalla Multiplicazione Statistica (figura 6), i canali HDTV trasmessi diventavano sette. A dieci anni di distanza, il primato della HDTV pare messo in discussione dalla UHD TV, la TV ad altissima definizione che, grazie alle nuove tecniche di codifica video HEVC, sembra ormai pronta a fare capolino sul mercato.

L'UHD TV richiede circa il doppio del bit-rate per trasmettere un singolo programma, e dunque su

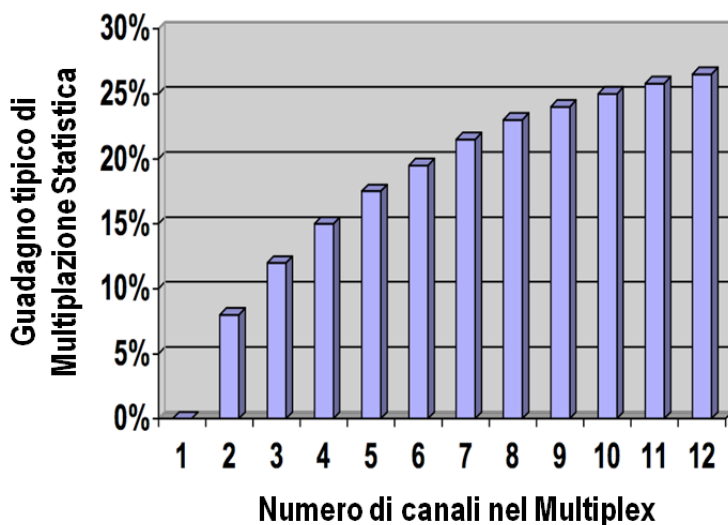


Fig. 6 – Guadagno di Multiplicazione Statistica per la codifica H264 [8]

singolo transponder si potrebbero trasportare solo tre programmi rispetto ai sei dell'HDTV: tenendo conto che in questo caso la Multiplicazione Statistica fornisce un guadagno del 12%, la trasmissione di un canale aggiuntivo diventa impossibile. Per superare a questa limitazione, il DVB-S2X prevede la possibilità di ripartire grossi flussi di informazione su più transponder (Channel Bonding): in questa maniera, un grosso multiplex da sei programmi UHDTV può essere ripartito fra 2 o 3 transponder e la capacità residua sui singoli transponder può essere accumulata e utilizzata per accomodare un canale UHDTV aggiuntivo. In ricezione, per poter ricevere flussi provenienti da canali differenti, sarà necessario dotarsi di dispositivi multi-tuner; questi ultimi tra l'altro sono dispositivi sempre più richiesti dal mercato, poiché consentono all'utente di registrare un programma differente da quello che sta guardando, di visualizzare sullo schermo programmi multipli e, ancora, tutta una serie di nuove funzionalità.

### 3.2.2 GSE e GSE-lite

La maggiore flessibilità del sistema è garantita anche dal supporto dei sistemi di incapsulamento dati GSE e GSE-lite, che consentono di non limitare il trasporto dei dati in classici flussi Transport Stream, ma aprono alla possibilità di trasportare l'informazione audio/video (ed eventuali servizi dati) su formato full-IP, consentendo ad esempio l'instradamento del segnale su reti domestiche insieme con altri servizi interattivi a banda larga (x-DSL o fibra ottica).

Il supporto del GSE e GSE-Lite riduce anche significativamente l'overhead di incapsulamento di Livello 2, permettendo ulteriori efficienze di capacità.

### 3.2.3 Il Super-Frame

Il DVB-S2X introduce anche una struttura di Super-Frame opzionale, flessibile e multiformato, caratterizzata da lunghezza fissa pari a 612540 simboli, indipendente dal formato del Super-Frame, di cui i primi 720 simboli costituiscono il SOSF (*Start Of SuperFrame*), che segnala l'inizio di un nuovo Super-Frame, e il SFFI (*Super-Frame Format Indicator*), che indica il formato del Super-Frame (figura 7).

La definizione di una struttura regolare potrà permettere:

- maggiore resistenza all'interferenza co-canale causata dagli altri beam, grazie all'applicazione dello scrambling all'intero Super-Frame e all'inserimento di simboli pilota regolari (e ortogonali) che possono essere allineati nel tempo sui differenti beam;
- sincronizzazione (di trama, tempo e portante) agevolata dall'inserimento di campi dati di riferimento, che consentono di migliorare le prestazioni del sistema nel caso di condizioni di ricezione critiche (ad esempio: VL-SNR, interruzione del collegamento, ecc.);
- possibilità di definizione in futuro di nuove strutture di frame e relativa segnalazione del formato di trama del Super-Frame, per applicazioni quali:
  - › tecniche di mitigazione dell'interferenza;
  - › operazioni di beam hopping;
  - › trasmissione a formato singolo o multiplo per singola portante;
  - › introduzione di profili differenti tra cui i ricevitori possano chiaramente individuare quali siano quelli supportati.

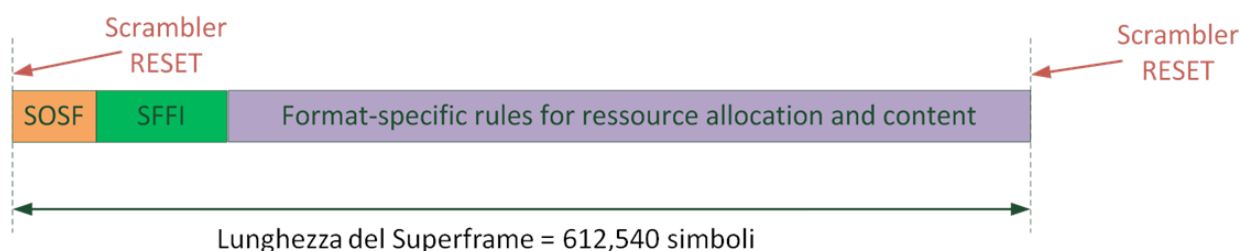


Fig. 7 – Struttura del Super-Frame

Attualmente lo standard definisce i seguenti cinque formati (i rimanenti undici profili sono riservati per usi futuri, RFU *Reserved for Future Use*):

0. formato DVB-S2X, con un frame VL-SNR modificato, con più dati pilota;
1. formato DVB-S2;
2. formato con n-uple di PL-FRAME (payload da 64800 bit) utilizzanti la stessa costellazione a n punti: i bundled PLframe così costituiti hanno dimensione costante e locazione fissa nel Super-Frame, indipendente dalla costellazione;
3. formato con n-uple di PL-FRAME (payload da 16200 bit) di dimensione costante e locazione fissa;
4. formato flessibile con tracking del PL-Header dei modi VL-SNR e differenti livelli di protezione per il PL-Header.

La struttura di superframe corrispondente al primo profilo introduce un aumento dell'overhead pari a solo lo 0.12% rispetto ad una comune trasmissione DVB-S2X.

In merito ad applicazioni future, la struttura del Super-Frame supporta l'impiego di sequenze ortogonali di *Start of Super-Frame* (SOSF) e dati pilota, ottenute mediante l'uso di sequenze di Walsh-Hadamard. Un set di sequenze ortogonali può essere

assegnato alle portanti co-canale all'interno di una rete multi-spot beam. I formati 2 e 3 consentono di avere Bundled PLFRAME di dimensione costante e allineati nel tempo (sulle differenti portanti co-canale). In questo modo si rende possibile sia l'uso di tecniche per la mitigazione dell'interferenza sui terminali riceventi (*multi-user detection*, MUD) che tecniche di pre-coding sul gateway (figura 8). Entrambe le tecniche, associate ad efficaci schemi di riuso della frequenza (*full-frequency re-use* e *two colours scheme*), possono offrire guadagni in termini di capacità tra il 20% e il 100%.

Inoltre, la nuova struttura di Super-Frame consente l'implementazione della tecnica del *beam hopping*, attualmente utilizzata in alcune reti a banda larga con lo scopo di aumentare la flessibilità di allocazione delle risorse sulla copertura e/o nel tempo. Il *beam hopping* consiste nell'illuminare i vari beam di una rete in slot temporali differenti, in modo che solo un set limitato di beam sia illuminato simultaneamente. Le simulazioni mostrano che il *beam hopping* consente di rispondere meglio alle richieste (tempo-varianti) dell'utente, rispetto all'utilizzo di altre tecniche (es. flexible HPA). L'utilizzo del super-framing è fondamentale per l'implementazione di questa tecnica, dal momento che i ricevitori devono lavorare in modalità *burst mode* e ricevere la portante desiderata solo per alcune frazioni di tempo all'interno della finestra temporale di *beam hopping*.

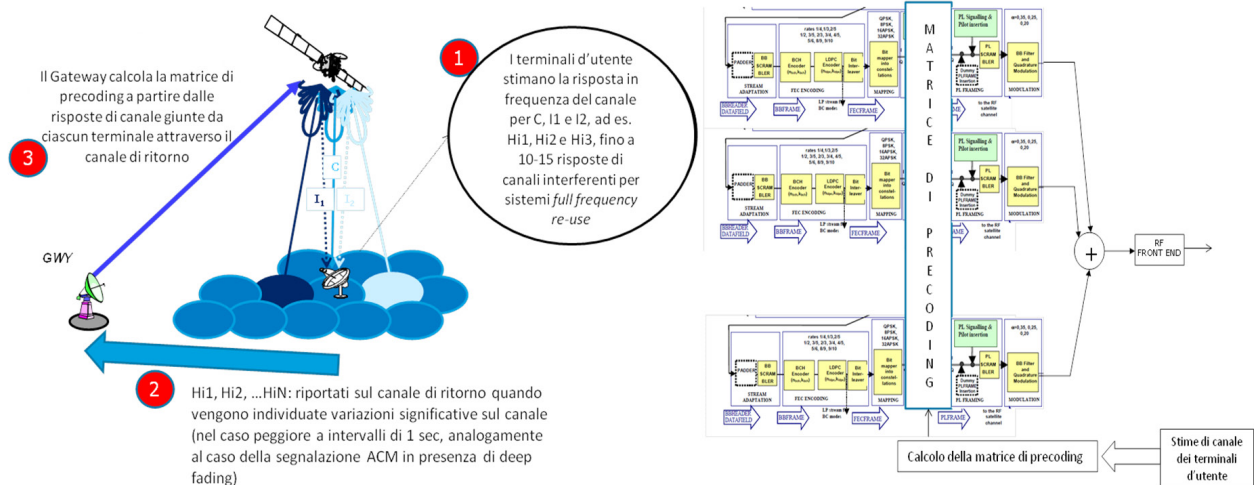


Fig. 8 – Descrizione funzionale delle tecniche di GW-based Pre-coding



Intervallo SNR	SNR (dB)	Guadagno di efficienza medio % Canale Lineare	Guadagno di efficienza medio % Canale Non-Lineare (HL)
VL-SNR	-10 ÷ -3	∞ (10,0) *	∞ (26,8) *
L-SNR	-3 ÷ +5	6,1	11,5
DTH	+5 ÷ +12	12,2	9,5
Professionale	+12 ÷ +24	29,7	17,2
Intero intervallo	-10 ÷ +24	16,5	16,3

\* guadagno rispetto all'S2 non definibile, dal momento che l'S2 non opera nell'intervallo di valori VL-SNR. Tra parentesi è indicato il guadagno che si ottiene applicando uno spreading al segnale in trasmissione.

Tab. 1 – Guadagni medi del DVB-S2X rispetto al DVB-S2, per i diversi scenari applicativi e canali di riferimento

#### 4. PRESTAZIONI NEI DIVERSI SCENARI APPLICATIVI

Molte delle novità del DVB-S2X introducono da sole piccoli miglioramenti sullo standard; globalmente però il miglioramento rispetto al DVB-S2 può diventare significativo, come illustrato nel seguito, nello specifico dei vari scenari applicativi di riferimento e riassunto in tabella 1.

##### 4.1 DTH

La figura 9 mostra le prestazioni del sistema DVB-S2X simulate sul cosiddetto *Canale A*, caratterizzato da un amplificatore di bordo del satellite ideale di tipo *Hard Limiter* (HL), operante al punto di lavoro ottimo per ogni singolo MODCOD, con  $SNR = C_{sat}/N$ , dove  $C_{sat}$  è la potenza in saturazione e il rumore  $N$  e l'efficienza spettrale sono misurate nella banda

$B_u = R_u(1+roll-off)=36MHz$  (l'interferenza da canale adiacente è considerata trascurabile). Osservando la figura 9, limitata all'intervallo di SNR 5-12 dB, tipico dell'applicazione DTH, si nota come il DVB-S2X, includendo e integrando con nuove configurazioni i MODCOD del DVB-S2, presenti variazioni di efficienza spettrale meno nette nel passaggio da un MODCOD all'altro, avvicinandosi molto di più alle prestazioni teoriche (curva tratteggiata) rispetto allo standard DVB-S2. In particolare, sono stati introdotti nuovi MODCOD per la modulazione 8PSK nell'intervallo 6-8,5 dB e nuovi MODCOD 16APSK nella regione 9-12 dB, in alternativa ai MODCOD 8PSK del DVB-S2, meno efficaci. Si noti inoltre che nel DVB-S2 la modulazione 16APSK è opzionale nello scenario DTH: l'inclusione della modulazione 16APSK in modo normativo consente al DVB-S2X un guadagno di efficienza pari al 5% rispetto al DVB-S2.

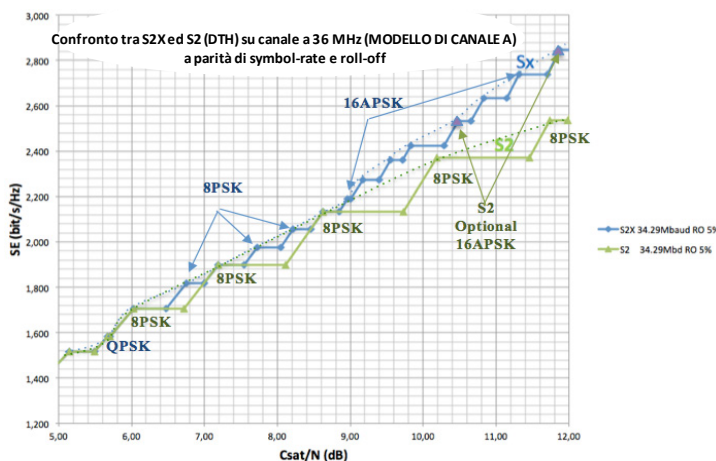


Fig. 9 – DVB-S2 e DVB-S2X, efficienza spettrale a confronto nell'intervallo di valori di rapporto segnale rumore tipici dei servizi diffusivi. Si noti che è stato selezionato un roll-off del 5% sia per il DVB-S2 che per il DVB-S2X (anche se il DVB-S2 prevede roll-off minimo del 20%)

Per ottenere risultati completi e rappresentativi, si è anche considerato un modello di canale più completo, il cosiddetto *Canale B* (figura 10), che include il modello di simulazione di tutti gli elementi della catena di trasmissione, i filtri IMUX (figura 11) e OMUX (figura 12), con larghezza di banda a -3 dB di 38 MHz, e spaziatura tra i canali di 40 MHz, un modello più realistico dell'amplificatore TWTA (*Travelling Wave Tube Amplifier*) (figura 13), gli interferenti da canale adiacente sia in up-link che in down-link. Come per il *Canale A*, anche in questo caso il punto di lavoro del TWTA è stato ottimizzato per ogni configurazione MODCOD. La banda utile  $B_u = R_s(1 + \text{roll-off})$  può essere ottimizzata per massimizzare le prestazioni o può essere fissata dall'operatore. Le simulazioni sul *Canale B* sono state effettuate utilizzando un ricevitore avanzato (*Enhanced Receiver, ER*) (appendice B)

dotato di equalizzatore lineare in grado di ridurre gli effetti distortenti del satellite nel caso in cui la banda del segnale trasmesso abbia un'ampiezza prossima alla larghezza di banda dell'OMUX.

I risultati ottenuti sono simili a quelli di figura 9, con la differenza che il guadagno di efficienza spettrale dipende dalla banda utile  $B_u$  allocata: quando il symbol-rate tende alla larghezza di banda dello OMUX, il guadagno si riduce al 3%, a causa dell'effetto dell'equalizzatore. Riassumendo, per specifici valori di rapporto SNR, il guadagno del DVB-S2X rispetto al DVB-S2 va da 0% (quando il modo S2X è un modo S2) al 10% se la banda del segnale trasmesso è molto più stretta del filtro ( $R_s \ll BW$ ); tale guadagno si riduce al 3% nel caso in cui la banda del segnale sia paragonabile a quella dell'OMUX.

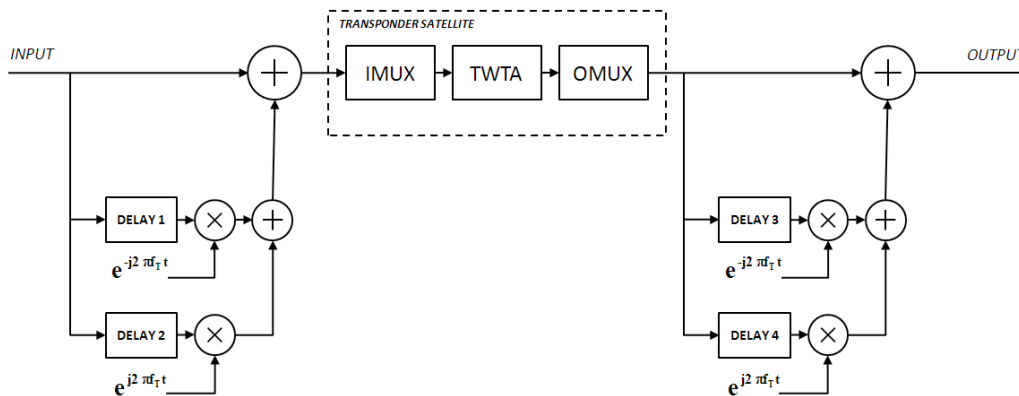


Fig. 10 – Schema a blocchi del modello di Canale B

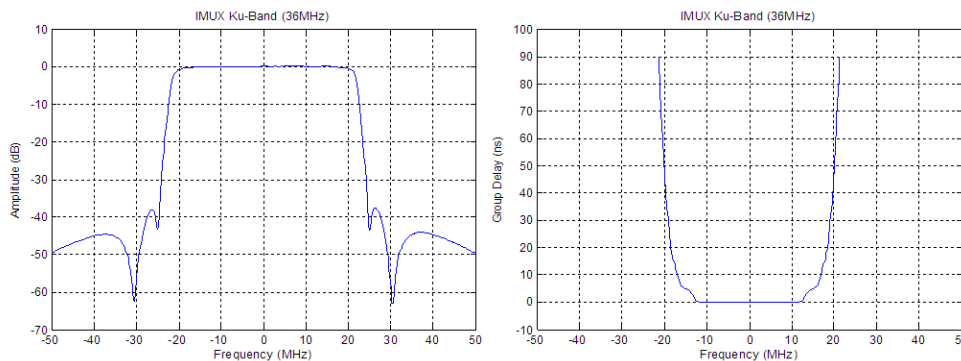


Fig. 11 – Ampiezza e ritardo di gruppo del filtro IMUX

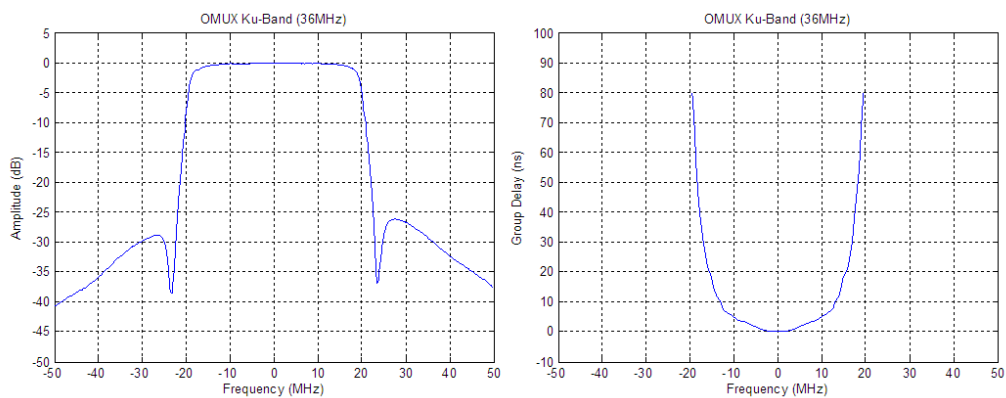


Fig. 12 – Ampiezza e ritardo di gruppo del filtro OMUX

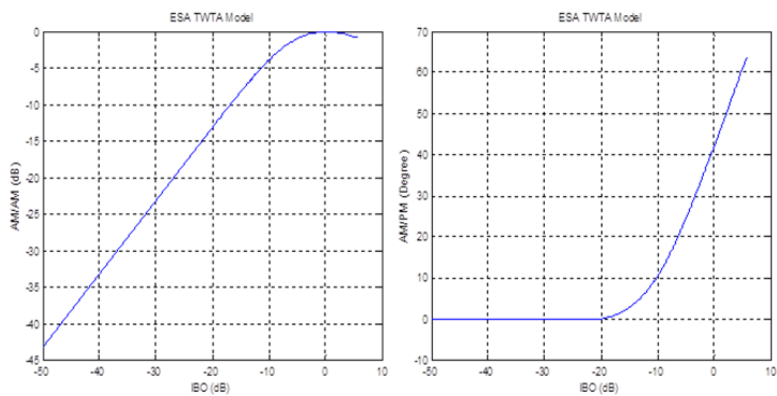


Fig. 13 – Curve AM/AM and AM/PM dell'amplificatore di bordo TWTA

### 4.2 IL BROADBAND E L'INTERATTIVITÀ

Per le applicazioni interattive a larga banda, tenendo conto che in futuro è previsto un sempre maggiore utilizzo delle configurazioni MCPC, in modo particolare per i satelliti multi-spot (*High Throughput Satellites*, HTS), in cui i transponder, trasmettendo più beam in parallelo, devono lavorare più vicino alla regione di linearità, il DVB-S2X introduce MODCOD specifici, ottimizzati per il canale lineare in presenza di rumore di fase.<sup>Nota 2</sup>

In figura 14 è possibile apprezzare un confronto fra la curva di efficienza spettrale offerta dai MODCOD S2 e quella prodotta dai modi S2X su canale lineare. Il roll-off utilizzato è pari al 20% per il DVB-S2 e al 5% per il DVB-S2X. Rispetto al DVB-S2, per le applicazioni broadband e per il DSNG, il sistema DVB-S2X è in grado di guadagnare fino al 10% in termini di efficienza spettrale, grazie alla maggiore granularità che riduce la distanza fra i MODCOD da 1-1,5 dB del DVB-S2 a 0,4-0,5 del DVB-S2X, permettendo così di ridurre i margini sul link budget nei sistemi ACM, e all'introduzione normativa delle modulazioni ad alta efficienza fino alla 64APSK, contro la 32APSK

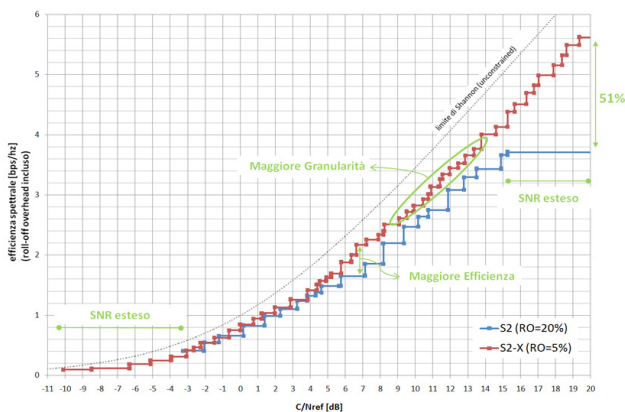


Fig. 14 – Efficienza spettrale vs  $C/N_{ref}$  (canale lineare)

Nota 2 - Come specificato in Tabella H.3 nell'Annex H.8 di [7].

del DVB-S2, opzionale. Opzionalmente, è anche previsto l'impiego delle modulazioni 128APSK e 256APSK. Inoltre, sono anche opzionalmente previsti MODCOD per bassissimo rapporto SNR, nel caso in cui si lavori con terminali mobili oppure in condizioni atmosferiche avverse (ad es. fading in banda Q/V), tipico delle zone tropicali o sub-tropicali.

### 4.3 LE APPLICAZIONI PROFESSIONALI

Come già il DVB-S2, il DVB-S2X trova impiego anche nell'ambito delle applicazioni professionali, quali la contribuzione e distribuzione TV, il trasporto di dati IP e altre, in modalità SCPC (in banda **C** e **Ku**) e MCPC (in banda **C**, **Ku** e **Ka**), grazie all'ampia gamma di MODCOD disponibili nella regione denominata *very-high SNR*. Per questo tipo di servizi, il DVB-S2X prevede l'impiego normativo delle modulazioni fino alla 256APSK (si ricorda che lo standard DVB-S2 ammette fino alla modulazione 32APSK). In termini di efficienza spettrale, è possibile raggiungere guadagni variabili tra il 21% e il 51%, a seconda della specifica area di operatività all'interno della *very-high SNR region*. In figura 15 troviamo un confronto fra DVB-S2 e DVB-S2X, limitato a questa regione.

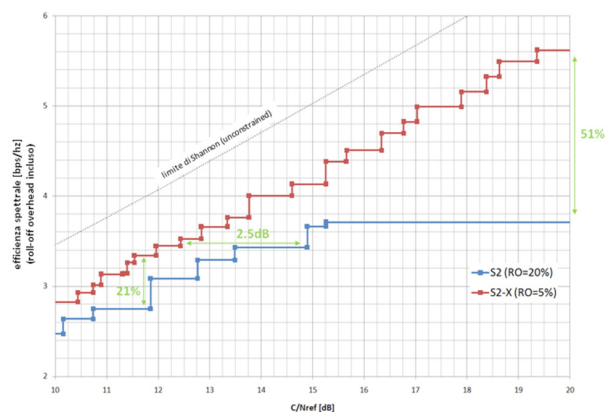


Fig. 15 – Guadagno del DVB-S2X rispetto al DVB-S2, area professionale

## 5. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Rispetto al passaggio dal DVB-S al DVB-S2, che ha prodotto un aumento della capacità del sistema pari a circa il 30%, quello da S2 a S2X rappresenta un salto meno "epocale" in termini di capacità, dal momento che le prestazioni dello standard S2 si collocano già a pochi decimi di dB dal limite teorico di Shannon. In ambito DTH, dunque, non è possibile apprezzare miglioramenti significativi rispetto allo standard precedente.

Tuttavia, il raffinamento di alcuni aspetti del DVB-S2 (granularità dei MODCOD, regione di SNR estesa) e la sua maggiore flessibilità (roll-off, VCM, impiego di ricevitori avanzati, trasporto tramite GSE/GSE-lite), rendono il sistema DVB-S2X appetibile per gli operatori interessati al lancio dei nuovi servizi UHDTV (anche denominati 4k). In particolare, la tecnica del channel bonding dà i massimi benefici proprio con segnali UHDTV. Pertanto si andrà a creare una nuova famiglia di ricevitori satellitari di alta fascia, basata su S2X, UHDTV e HEVC.

Infine, ci si aspetta un grosso miglioramento delle prestazioni rispetto al DVB-S2 sulle nuove reti di trasmissione multi spot (in banda Ka), fino al 100% della capacità del sistema, grazie all'impiego delle nuove tecniche di mitigazione dell'interferenza e riuso della frequenza, possibili grazie all'introduzione della nuova struttura di Super-Frame.

A pochi mesi dalla definizione dello standard, a dimostrare l'interesse per il nuovo sistema, sono già disponibili i risultati dei primi test sull'impiego del DVB-S2X per la trasmissione di servizi UHDTV e al NAB<sup>Nota 3</sup> 2014, presso gli stand del DVB è stata allestita una dimostrazione (a cura di Intelsat, BT, Ericsson, Sony e Newtec) di UHDTV trasmessa via satellite in modalità DVB-S2X.

---

Nota 3 - Il NAB Show di Las Vegas è la più importante esposizione mondiale di media elettronici dedicata al settore del broadcasting e allo sviluppo, gestione e distribuzione di contenuti attraverso tutti i tipi di supporti.

## RICONOSCIMENTI

L'attività, coordinata da Rai-CRIT, ha coinvolto più di trenta enti operanti nel mondo delle trasmissioni satellitari, tra cui broadcaster, operatori satellitari, università ed enti di ricerca, e aziende produttrici di apparati professionali e consumer. In particolare le nuove configurazioni di modulazione e codifica sono state proposte da Hughes Network Systems, Newtec CY e Sony, ESA con il Politecnico di Torino e l'Università di Parma ha realizzato le simulazioni per il calcolo delle prestazioni del sistema, Rai ha definito la tecnica di channel bonding, ESA con Fraunhofer FhG e DLR la struttura di Superframe e le tecniche di mitigazione dell'interferenza.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Morello, V. Mignone, *Il sistema DVB-S2 di seconda generazione per la trasmissione via satellite e Unicast*, in "Elettronica e Telecomunicazioni", Anno LII, Numero 3, Dicembre 2003, pp 5-28
- [2] DVB Technical Module, *Call for technologies (CFT) for Evolutionary subsystems of the S2 system*, Gennaio 2013
- [3] DVB, *Enhancement of the DVB-S2 Standard – Commercial Requirements*, Ottobre 2012
- [4] DVB, *White Paper of the TM-S2 Study Mission on Green Field Technologies for Satellite Transmissions*, Marzo 2014 (documento interno DVB)
- [5] A. Morello, *DVB-Sx: The evolution of the (satellite systems) species*, 31st AIAA International Communications Satellite Systems Conference, Firenze, 16-18 Ottobre 2013



- [6] DVB Fact Sheet - May 2014, [DVB-S2X - S2 Extensions Second Generation Satellite Extensions](#), Maggio 2014
- [7] DVB BlueBook A83-2, [Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications - Part II](#), Marzo 2014
- [8] Ken Mc Cann, [Review of DTT HD Capacity Issues - An Independent Report from ZetaCast Ltd Commissioned by Ofcom](#), Ottobre 2007

## APPENDICE A - SCELTA DEL ROLL-OFF

Il guadagno ottenibile mediante l'uso di roll-off più stretti dipende molto dalla flessibilità dell'operatore satellitare nel poter modificare i vincoli su symbol-rate e maschere di emissione.

Se non ci sono vincoli sul symbol-rate utilizzabile, il beneficio offerto dai roll-off più stretti per ottimizzare l'efficienza spettrale di un tipico schema di trasmissione per servizi DTH è minimo. La figura 16 illustra i risultati ottenuti per il *Canale B* utilizzando un ricevitore di tipo ER: nonostante i roll-off più stretti del DVB-S2X offrano la possibilità di aumentare il symbol-rate (37 Mbaud), l'aumento di capacità rispetto al caso di roll-off 20% e symbol-rate da 34 Mbaud è minore del 2%.

Ciononostante, l'utilizzo dei roll-off più stretti può essere utile per il controllo dell'interferenza sui canali adiacenti dovuto all'aumento del symbol-rate. In particolare, l'utilizzo dei roll-off più stretti può essere essenziale quando l'operatore satellitare limita la banda utilizzabile, ad esempio invocando la cosiddetta regola dell'"1+roll-off", tale per cui il massimo symbol-rate utilizzabile diventa pari a  $R_s = B_u / (1 + \text{roll-off})$ . In questi casi, assumendo che i filtri della catena satellitare non introducano distorsioni significative (si considera pertanto come riferimento il *Canale A*), le simulazioni hanno dimostrato che il symbol-rate cresce linearmente al diminuire del roll-off. Confrontando, ad esempio, un sistema DVB-S2 con roll-off pari al 20% con un sistema DVB-S2X con roll-off pari al 5%, il guadagno di symbol-rate è pari al 14%, la potenza di rumore al ricevitore aumenta di 0,6 dB, portando ad un guadagno netto in termini di efficienza spettrale pari a circa il 7%. Per

verificare i risultati ottenuti sul modello di *Canale B*, e paragonare la capacità disponibile con quella di figura 16 (*free symbol-rate optimization*) sono state paragonate le efficienze spettrali con roll-off pari al 5%, 10% e 20% utilizzando la regola dell'"1+roll-off" per una banda  $B_u = 36$  MHz: per roll-off pari al 5% il guadagno misurato rispetto al roll-off pari al 20% è di circa il 6,5%, leggermente inferiore rispetto al guadagno del più semplice *Canale A*, senza limitazioni in banda.

Se si paragona la curva con roll-off 20% in figura 16 con quella con roll-off 5% in figura 17, si può vedere come la regola dell'"1+roll-off" con limitazione in banda  $B_u = 36$  MHz produca un degradamento impercettibile delle prestazioni. Quando la banda  $B_u$  cresce (ad esempio dalla banda a -1 dB del transponder fino alla spaziatura dei canali), il guadagno di roll-off diminuisce gradualmente fino al valore ottimo ottenuto quando non si impongono limitazioni sul symbol-rate. Per paragonare i risultati di figura 17 e figura 9 (entrambe con roll-off 5%), i valori di SNR di figura 9 devono essere ridotti di un fattore  $10 \cdot \text{Log}(38/36) = 0.2$  dB, e l'efficienza spettrale *SE* divisa per  $38/36 = 1.0555$ . Avendo introdotto queste correzioni, si deduce ad esempio che l'8PSK 5/6 sul *Canale A* ha prestazioni migliori che sul *Canale B* di 0.7 dB.

Anche nel caso di servizi a banda larga e applicazioni professionali, il guadagno legato all'uso di roll-off più stretti è fortemente legato alla configurazione della rete (single o multi carrier per transponder) e al suo grado di flessibilità.

Nella modalità multi-portante, si applica generalmente la regola dell'"1+roll-off"<sup>Nota 4</sup> in quanto le prestazioni migliori si ottengono quando le portanti sul trasponder risultano separate in frequenza. In modalità singola-portante, quando la rete è condivisa da diversi operatori utilizzando stazioni di uplink differenti, l'operatore satellitare può imporre limiti alla banda occupata, e quindi si applica ancora la regola dell'"1+roll-off".

In questi casi, assumendo che le limitazioni in banda del trasponder non introducano distorsioni significative, l'uso di roll-off più stretti consente un aumento proporzionale del symbol-rate trasmesso. In questo caso il guadagno di efficienza spettrale dipende dalla regione di SNR in cui lavoriamo.

Ad esempio, paragonando il DVB-S2 con roll-off pari al 20% con il DVB-S2X con roll-off pari al 5%, il symbol-rate aumenta del 14%, la potenza di rumore al ricevitore cresce di 0,6 dB, e il guadagno di rete nella regione di SNR professionale varia tra l'8% (SNR=10 dB) e l'11% (SNR=20dB).

Invece, nei "sistemi chiusi", in cui la rete è totalmente utilizzata da un solo operatore, e il payload satellitare è trasportato in modalità single-carrier per HPA, l'operatore può autonomamente decidere come ottimizzare l'interferenza inter-transponder in modo da ottimizzare la capacità complessiva del sistema. Anche in questo caso si ottengono gli stessi risultati ottenuti per il caso DTH.

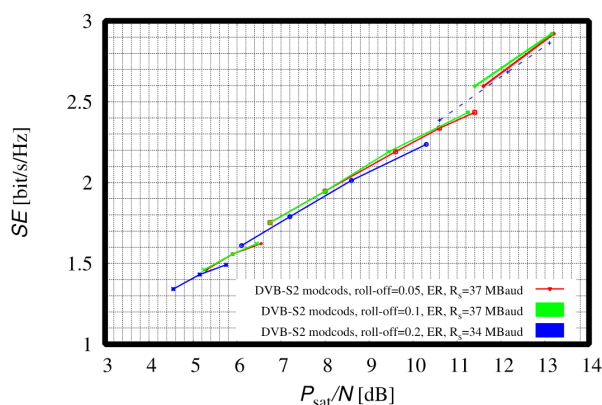


Fig. 16 – Effetto della variazione del roll-off sul Canale B, in assenza di vincoli sul symbol-rate utilizzato: DVB-S2X (linee verdi e rosse) paragonato con il DVB-S2 con roll-off 20%

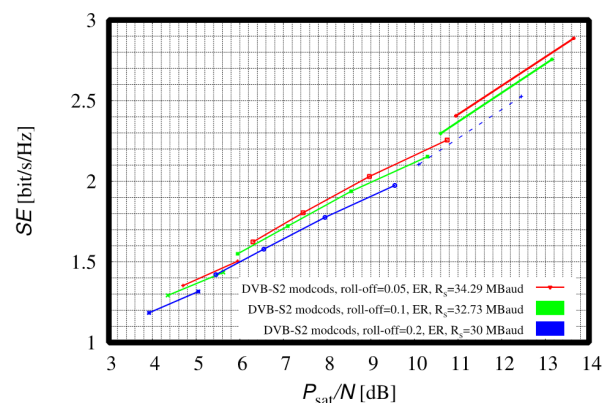


Fig. 17 – Effetto della variazione del roll-off sul Canale B, secondo la regola dell'"1+roll-off": DVB-S2X (linee verdi e rosse) paragonato con il DVB-S2 con roll-off 20%

Nota 4 - Il symbol-rate  $R_s$  trasmesso deve essere inferiore a  $BW/(1+roll-off)$ , dove  $BW$  è la banda utile.

**APPENDICE B - I NUOVI RICEVITORI**

La flessibilità sul symbol-rate in trasmissione influenza fortemente le prestazioni dei ricevitori; in fase di definizione del sistema, si è verificato tramite simulazione su *Canale B* che, dato un certo valore di roll-off, all'aumentare del symbol-rate (e dunque al crescere della banda del segnale trasmesso), l'uso di un equalizzatore adattativo in ricezione (ER, *Enhanced Receiver*) consente di ridurre l'effetto della distorsione dovuta ai filtri sul transponder, aumentando il valore della capacità massima trasportabile dal sistema. Del resto, esistono già numerosi ricevitori DVB-S2 dotati di equalizzatore interno: gli standard DVB, infatti, fissano le regole per la trasmissione del segnale, lasciando alle aziende costruttrici la facoltà di realizzare ricevitori secondo soluzioni "proprietarie".

Simulazioni su *Canale B*, in cui si è ottimizzato il symbol-rate tramite equalizzazione adattativa (ER), hanno mostrato guadagni in termini di efficienza spettrale tra il 7% e il 9% rispetto ai ricevitori convenzionali (CR), come mostrato in figura 18.

Tuttavia il massimo symbol-rate raggiungibile dipende dal tipo di ricevitore progettato, dalle distorsioni introdotte dal canale e dalle regole operative fissate dall'operatore satellitare. Ciò significa che, sebbene il concetto di equalizzazione avanzata introduca certamente dei vantaggi per il sistema, è compito dei costruttori progettare dei sistemi ad hoc in grado di trarne il massimo beneficio. Indubbiamente, l'equalizzazione è meno critica quando la maschera di emissione del sistema rientra ampiamente al di sotto della banda di separazione tra i transponder.

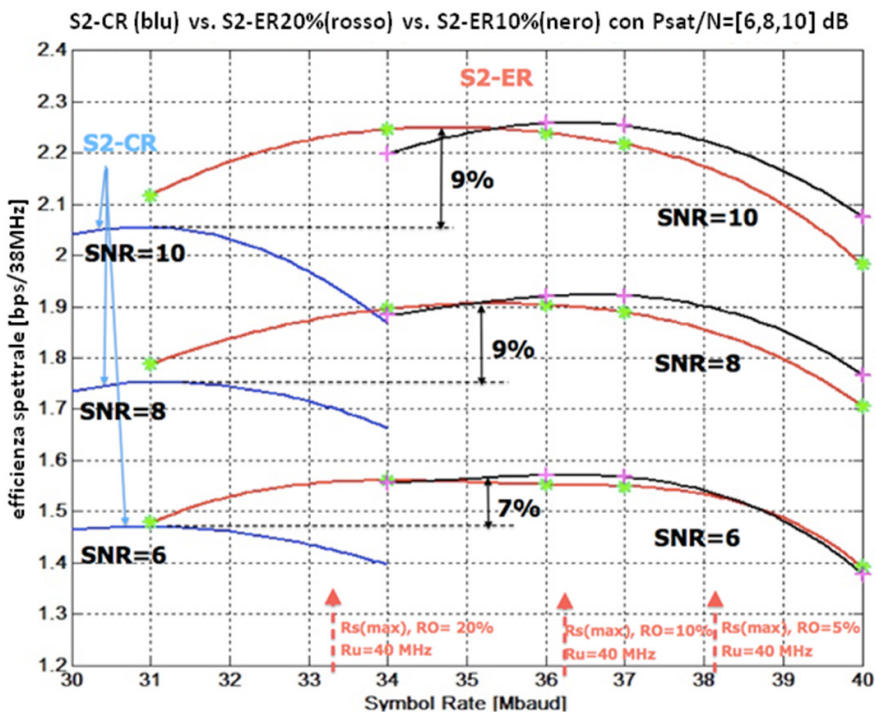


Fig. 18 – Efficienza spettrale senza (CR) e con (ER) equalizzatore lineare in funzione del symbol-rate