

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITA' DI BOLOGNA
SEDE DI CESENA
SECONDA FACOLTA' DI INGEGNERIA CON SEDE A CESENA

CORSO DI LAUREA IN
“INGEGNERIA ELETTRONICA E TELECOMUNICAZIONI”

TITOLO DELL'ELABORATO

I sistemi di diffusione multimediali: Il Digital Video Broadcasting (DVB)

Elaborato in
Telecomunicazioni

Relatore
Prof. Alessandro Vanelli Coralli

Presentata da
Andrea Cavallini

Sessione III
Anno Accademico 2010/2011

1 Sommario

2	Introduzione.....	5
2.1	DVB Project: Storia.....	5
2.2	DVB Project: non solo DVB-T	6
2.3	DVB-Project: la Mission	7
2.4	DVB Project: Struttura e modalità di lavoro	7
2.5	Il passaggio al Digital Broadcasting.....	9
2.6	Sviluppi futuri del DVB-Project.....	10
2.7	La piattaforma MHP.....	10
2.7.1	Storia della piattaforma	11
2.7.2	Versioni della piattaforma	12
2.7.3	Principali vantaggi.....	13
2.7.4	I costi dell'MHP	13
2.7.5	Da MHP a GEM	14
2.8	Il DVB-T in Italia	16
2.8.1	La riallocazione delle frequenze.....	18
2.9	Il DVB-T nel mondo.....	19
3	L'evoluzione del DVB-T: lo standard DVB-T2.....	22
3.1	Principali caratteristiche dello standard DVB-T2.....	24
3.2	Confronto tra DVB-T e DVB-T2	25
3.2.1	Codifiche e bit-rate del segnale televisivo.....	27
3.3	Analisi dello standard DVB-T2.....	31
3.3.1	Input pre-processor(s).....	31
3.3.2	Input Processing	32
3.3.3	Bit Interleaved Coding & Modulation (BICM)	33
3.3.4	Interleaving.....	36
3.3.5	Frame Builder	37
3.3.6	OFDM Generation.....	37
3.3.7	Caratteristiche dello spettro	38
3.3.8	Struttura della trama	40
3.3.9	Il vantaggio offerto dalle Rotated Constellations	41
3.3.10	Tecniche ACE e TR per la riduzione del rapporto picchi segnale/potenza media	43
3.4	Trend dello standard DVB-T2.....	45
4	Indice dei nomi	47
5	Indice delle figure.....	49
6	Bibliografia.....	51

2 Introduzione

2.1 DVB Project: Storia

Il DVB Project (*Digital Video Broadcasting Project*) è un'alleanza di più di 250 soggetti tra aziende, produttori, operatori e sviluppatori di reti, presente in più di 35 paesi nel mondo, con l'intento di fornire *open standards* per la trasmissione globale di contenuti digitali.





Il consorzio nasce nel 1991 come ELG (*European Launching Group*), con l'intento di creare una piattaforma unitaria per lo sviluppo della “*digital terrestrial television*”.

Definendo con chiarezza fini e modalità di lavoro, i membri originari ELG e i maggiori gruppi europei di multimedia (sia pubblici che privati), con la firma di un apposito Memorandum (MoU: *Memorandum of Understanding*)^[1], portano alla nascita nel 1993 del DVB Project nella sua forma attuale.



Il DVB-Project ha sviluppato dalla sua nascita nel corso degli anni importanti standard, tra cui si ricordano:



Figura 1:
DVB-Project logo.^[2]

- (1993) DVB-S^[2] 
- (1994) DVB-C^[2] 
- (1995) DVB-T^[2] 
- (2000) MHP^[2] 

Dal 2001 si apre il progetto “DVB 2.0” per privilegiare l’interoperabilità tra i sistemi broadcast, internet e mobile.

- (2001) DVB-RCS^[2] 
- (2004) DVB-H^[2] 

Al progetto ha preso parte anche l’Italia, attraverso il CRIT (Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica) della RAI.

Il DVB-Project ha sede presso gli uffici centrali della EBU (*European Broadcasting Union*) a Ginevra, Svizzera.^[3]



Figura 2:
EBU logo.^[3]

2.2 DVB Project: non solo DVB-T

Gli standard del progetto DVB non si limitano alla ricerca di metodi di trasmissione del segnale digitale televisivo, ma si occupano di tutti i *layer* del noto modello ISO-OSI. (*International Organization for Standardization - Open System Interconnection*)

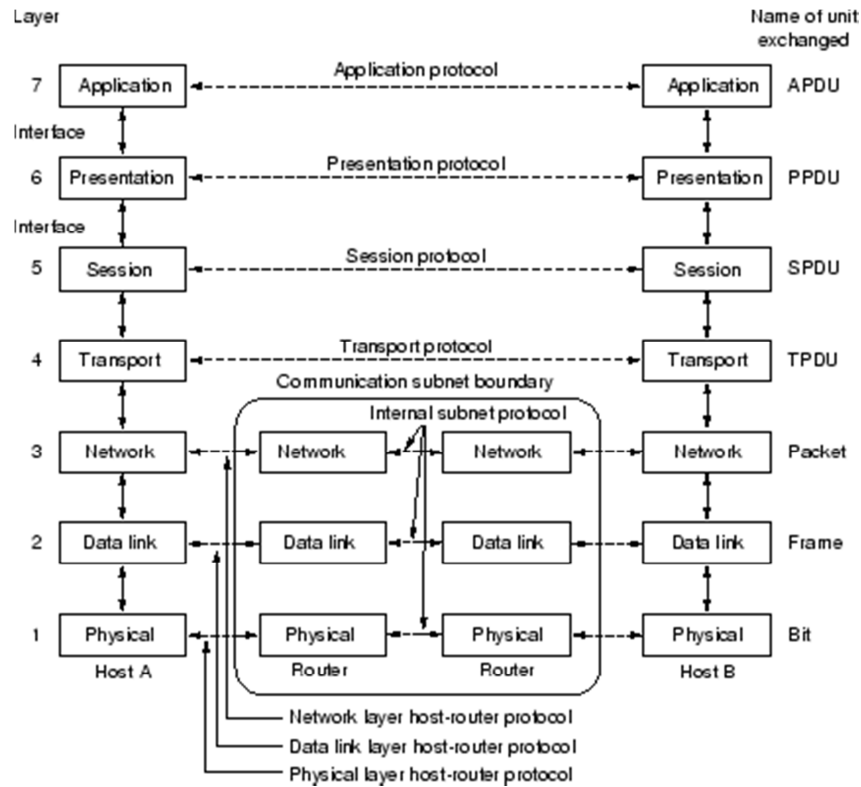


Figura 3: i 7 layer del modello ISO-OSI. ^[4]

Ad esempio, altri standard del DVB-Project, come DVB-S e DVB-C, si occupano di fornire lo strato fisico (1-*physical*) rispettivamente per comunicazioni satellitari e via cavo, garantendo così uniformità tra gli standard per i livelli più alti dello *stack*.

Gli standard DVB-MS (*DVB Multi System*) e DVB-MC (*DVB Multi Channel*) si occupano invece del livello (2-*data link*) dello *stack*.

2.3 DVB-Project: la Mission

Di seguito i principi fondanti su cui si basa il DVB Project:

- Fornitura di una suite completa per comunicazioni digitali via satellite/cavo/terrestre in un ambiente pre-standardizzato,
- Visione del sistema di trasmissione come un contenitore eterogeneo di informazioni, flessibile ed adattabile ai sistemi progettati,
- Studio di uno standard approvato ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), per ogni tipologia di comunicazione nei 4 *layer* inferiori dello *stack*,
- Utilizzo di open standard già esistenti, al fine di limitare costi per utente e produttore¹.

Riassumendo in 3 concetti, il DVB-Project è stato efficacemente descritto dai suoi stessi membri come:

- *Open*,
- *Interoperable*,
- *Market Driven*.^[5]

2.4 DVB Project: Struttura e modalità di lavoro

Lo sviluppo di ogni nuova soluzione tecnologica prende avvio, come suggerisce il principio “*Market driven*”, dal *Commercial Module* (CM), che pone specifici requisiti al *Technical Module* (TM), basati sulle richieste del mercato tecnologico.

La specifica tecnica, una volta ultimata e rivista dal CM, attende l’approvazione dello *Steering Board* (SB), che si occupa della coordinazione e del *managing* tra i progetti. Se approvata dallo SB, viene allora inoltrata la richiesta di standardizzazione direttamente all’ETSI o all’ITU (*International Telecommunication Union*).

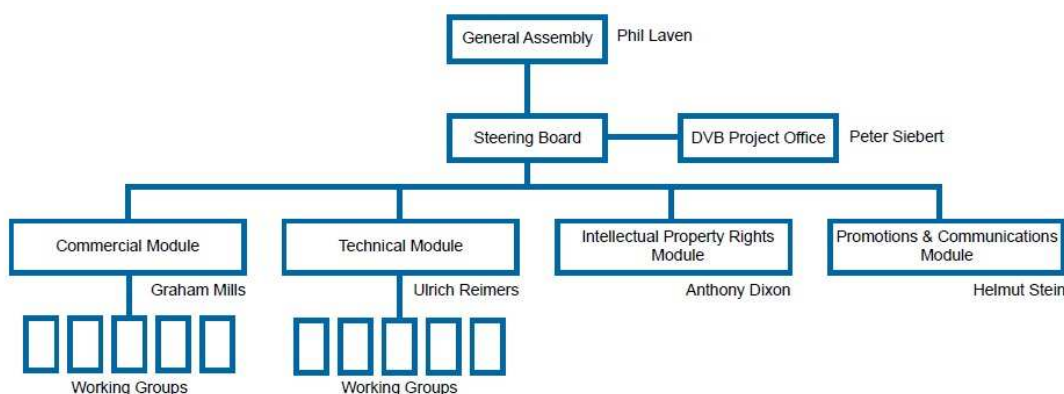


Figura 4: Organizzazione strutturale del DVB-Project. ^[5]

¹ Sono utilizzati, ad esempio, l’MPEG-2 (*Moving Pictures Experts Group*) nel DVB-T, e l’H.264 nel DVB-T2.

Device	Delivery	Technology	ETSI Technical Committee
Mobile TV	3G Radio Network	MBMS	3GPP
	Mobile Broadcast Service	DVB-H, DVB-SH, DVB-T, DMB, Forward Link Only	JTC Broadcast
Fixed line TV	NGN Fixed line service	IPTV DAB adaptation	TISPAN JTC Broadcast
	Cable	DVB-C (C2)	JTC Broadcast
Terrestrial and Satellite TV & radio		DVB-T (T2) DVB-S (S2) DAB (DAB+) DMB DRM (DRM+)	JTC Broadcast

Figura 5: Alcune delle tecnologie del DVB-Project, successivamente approvate dall'ETSI. [6]

Lo standard è così sottoposto a verifiche da tutte le divisioni del DVB-Project: decisionale, commerciale, tecnico, prima che venga proposto come standard all'ETSI.

E' inoltre il modulo tecnico che si occupa della stesura e pubblicazione dei documenti di informazione sugli standard, come i "DVB Cookbook", manuali di base sui diversi progetti sviluppati.

Il *ChairMan* del TM^[7] ha suddiviso così il lavoro del DVB-Project in 3 fasi distinte:

1. Sviluppo di sistemi e infrastrutture per la realizzazione di *data broadcasting*,
2. Sviluppo di sistemi per l'interattività (si veda paragrafo 2.77),
3. "*Beyond*" *broadcasting*: sviluppare soluzioni per "*horizontal markets*" multimediali.

2.5 Il passaggio al Digital Broadcasting

Con il *Digital Broadcasting* è possibile non solo la trasmissione del semplice segnale, ma anche proporre contenuti multimediali specifici, grazie all'interattività tra utente e fornitore del servizio (con un apposito "Return Channel", come può essere la linea Internet).

L'interazione è fornita dal DVB-Project in due modalità distinte: ^[8]

- Modalità *Network Independent*: estende i soli *data link* e *network layer* del modello ISO-OSI.
- Modalità *Network Dependent*: specifica la rete su cui poggia lo standard (*physical* e *data link layer*).

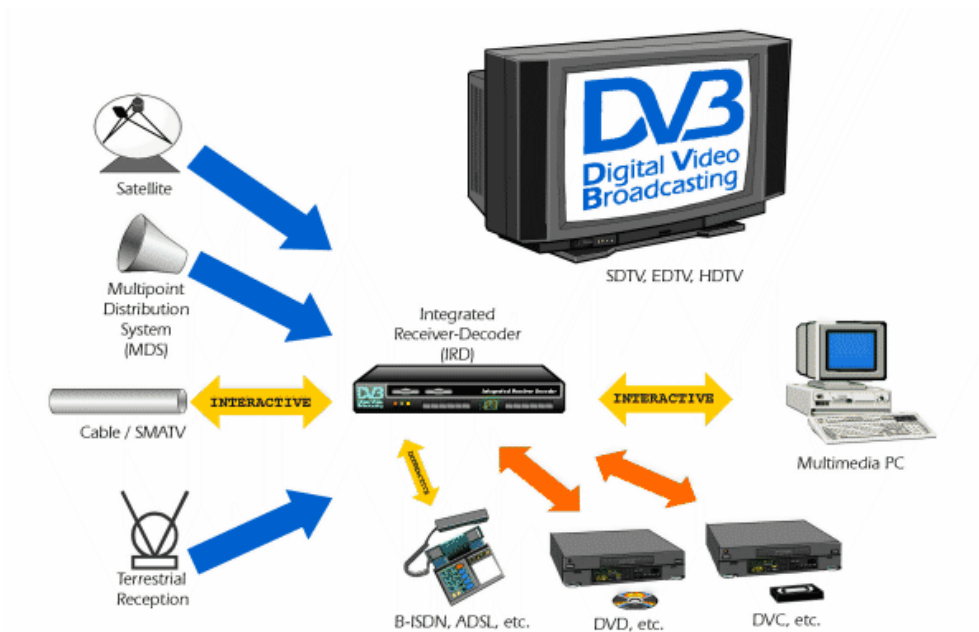


Figura 6: Le possibilità di interattività offerte dal Digital Broadcasting. ^[9]

Un altro vantaggio della digitalizzazione del segnale televisivo: grazie ad un uso più attento delle frequenze a disposizione, si rende possibile la riallocazione dello spazio liberato, con un conseguente ritorno economico (per la situazione italiana, si veda paragrafo 2.8.1).

2.6 Sviluppi futuri del DVB-Project

Negli anni recenti il DVB-Project ha lavorato su standard per il controllo e la criptazione delle informazioni trasmesse, utilizzati per esempio in *pay-tv* (“*Conditional Access*”: standard DVB-CPCM) e per la trasmissione digitale *broadcasting* di servizi per la tecnologia mobile (standard DVB-H e DVB-SH).

Nel 2009 è stato completato il set di standard di 2° generazione: DVB-T2, DVB-C2, DVB-S2^[10]. Gli sforzi del progetto sono poi stati dedicati allo sviluppo di soluzioni IPTV e InternetTV.

Gli ultimi lavori del DVB-Project riguardano lo studio di nuovi standard per la tecnologia mobile e 3DTV.^{[5], [11]}

2.7 La piattaforma MHP

MHP (*Multimedia Home Platform*) è lo standard attuale per la iDTV (*interactive Digital TeleVision*), ed è stato anch’esso sviluppato dal DVB-Project.

Lo standard MHP definisce, con una serie di specifiche sotto forma di API (*Application Programming Interface*) l’interfaccia tra il ricevitore e la rete a cui questo è collegato.

Sviluppato in ambiente Java, questo standard è un *middleware* (programma “intermediario” tra applicazioni differenti e software). Il suo compito è di decodificare le diversi applicazioni rese disponibili dal provider del servizio in istruzioni eseguibili dall’utente *consumer*.^[12]

E’ la piattaforma MHP che cura, ad esempio, le *service information* come sottotitoli (DVB-SUB), le EPG (*Electronic Program Guides*), *games*, o l’accesso ai servizi a pagamento/criptati.

MHP è uno standard aperto e, seguendo i principi del DVB-Project, è utilizzato in diversi standard, non unicamente nel DVB-T. Ad esempio, la piattaforma MHP è presente sulla console PS3 o nei recenti *player* Blu-Ray (in questo settore indicata come BD-J: *Blu ray Disc Java*).



Figura 7:
Logo della piattaforma
MHP.^[47]



Figura 8: piattaforma MHP per il suo utilizzo più noto: contenuti multimediali nel *Digital Video Broadcasting*.^[13]

2.7.1 Storia della piattaforma

Lo sviluppo della piattaforma MHP si ha con la nascita nel 1996 del progetto UNITEL, costola del programma ISIS (*Interactive Satellite Information System*) della Commissione Europea, per fornire una piattaforma comune per l'accesso ai servizi multimediali.

Il progetto fu adottato successivamente dal DVB-Project, che costituì due team di lavoro: il DVB-MHP per lo studio commerciale, e il DVB-TAM (*Technical issues Associated with MHP*) per lo studio tecnico di come interfacciare il sistema con le API. ^[14]

I primi utilizzi veri e propri della piattaforma MHP si hanno con il DVB-S in Corea; successivamente è stata usata su trasmissione DVB-T in Finlandia nel 2002, per poi espandersi nel tempo con la rivoluzione digitale del segnale televisivo su tutto il territorio europeo.

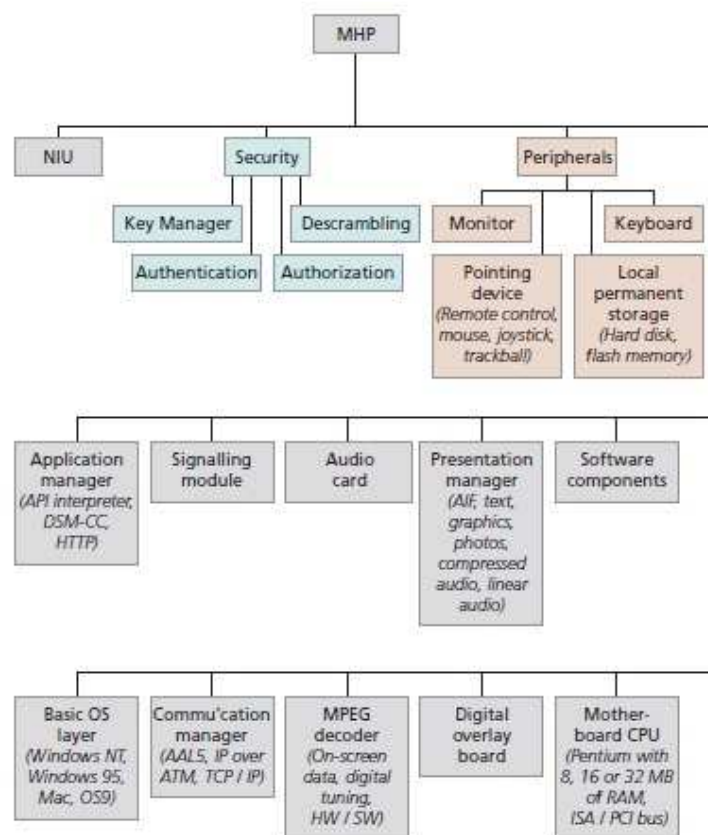


Figure 1
UNITEL: MHP hardware and software resources

Figura 9: Il modello di riferimento per la piattaforma MHP proposto da UNITEL. ^[14]

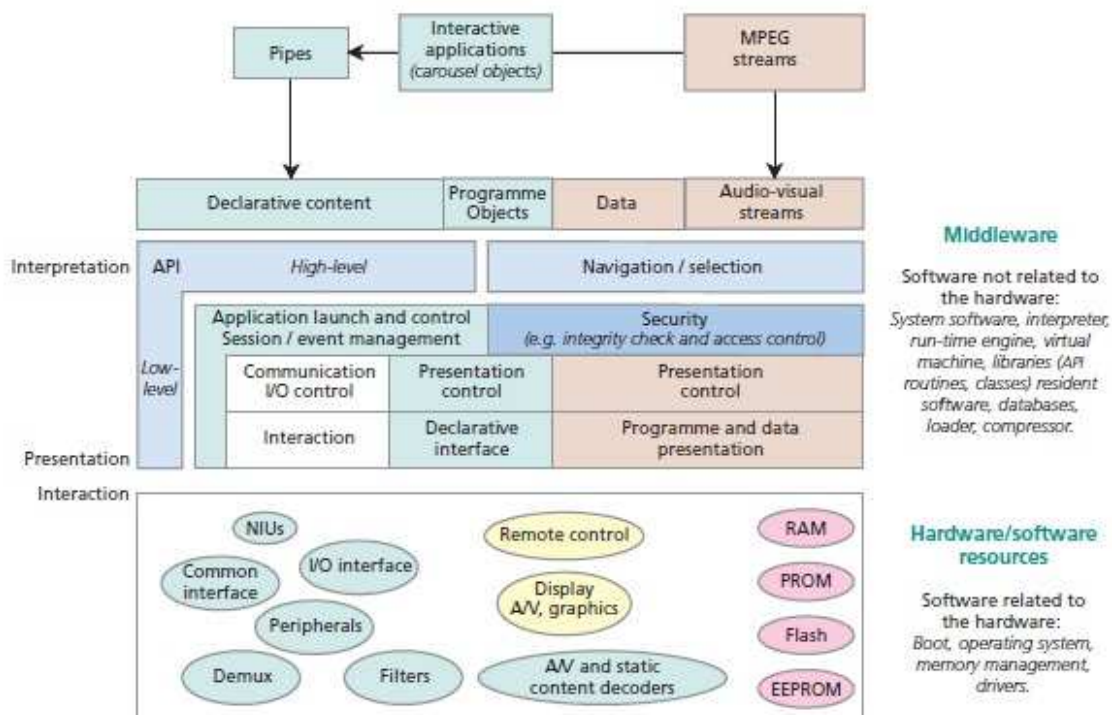


Figure 3
Reference model: a possible API and middleware for pipes and streams.

Figura 10: La realizzazione da parte del DVB-TAM del modello UNITEL. ^[14]

Con la realizzazione del DVB-TAM (Figura 10) è evidente come lo sviluppo di API e applicazioni possa avvenire indipendentemente dalla infrastruttura del sistema MHP: la *middleware* è infatti separata dalle risorse hardware/software. Questa particolarità influisce chiaramente in modo positivo su portabilità, retroattività interoperabilità (*horizontal market*) e compatibilità del sistema. Utenti, *provider* dei contenuti, produttori non sono infatti più limitati o vincolati da sistemi proprietari.

2.7.2 Versioni della piattaforma

La piattaforma MHP è attualmente alla sua versione 1.3, che rappresenta l'evoluzione ultima dalla prima versione 1.0.

MHP 1.0 è stata sviluppata inizialmente come piattaforma "*one way material*", cioè per interattività monodirezionale (solo dal fornitore del servizio verso l'utente, e non viceversa). La spedizione di materiale "*one way*" avviene in una modalità definita dal Project come "*carousel*": l'informazione viene ripetutamente spedita (*in loop*), e il ricevitore la raccoglie "al volo". Si avrà quindi un tempo massimo di attesa in ricezione, in base a quanto si è stati "fortunati" nell'aggancio del ciclo di informazioni. ^[10]

Le versioni successive alla 1.0 supportano invece la bi-direzionalità, quindi un maggior scambio informativo: ciò comporta un maggior utilizzo di banda, e la necessità di un apposito "*return channel*".

MHP 1.1 (2001) supporta, tramite la bi-direzionalità, l'utilizzo delle *smart card* (per acquisti, salute, *tele-voting*,...). ^[15]

MHP è stata rivista e migliorata con la versione 1.2, dopo un'analisi del suo funzionamento sul mercato.

A marzo 2011 è stata rilasciata l'ultima versione MHP (1.3), con supporto OTT (*Over The Top*).

2.7.3 Principali vantaggi

I principali vantaggi della piattaforma MHP sono i seguenti:

- È una piattaforma aperta utilizzabile su più standard differenti, quindi con maggiore impatto sul mercato,
- Supporto PVR (Personal Video Recorder), VOD (Video-on-Demand), e Internet-TV,
- Si è rivelata flessibile all'evoluzione delle tecnologie su cui lavora e versatile per l'uso su sistemi molto differenti tra loro,
- Da MHP 1.1 la piattaforma supporta l'HDTV. (High Definition Television).

2.7.4 I costi dell'MHP

Di seguito si riportano i costi per la piattaforma MHP, in termini di necessità hardware, relativamente allo standard DVB-T:

Solution	Processor	RAM	FLASH/ROM
Basic Zapper	30MHz+	1-2M	1-2M
MHEG-5	50MHz+	4M	2M
Open TV	50MHz+	4-8M	4M
MediaHighway	50MHz+	4-8M	4M
MHP Enhanced Broadcast profile*	80-130MHz+	8-16M	8M
MHP Interactive Broadcast Profile*	80-130MHz+	8-16M	8M
MHP Internet Access Profile*	150-200MHz+	16-32M	16M

Figura 11: Requisiti hardware per diverse soluzioni *middleware* per lo standard DVB-T. (Studio congiunto Philips, Sony, Panasonic, Nokia) ^[16]

I costi di realizzazione per la piattaforma chiaramente crescono con la sua complessità, come visibile in (Figura 11), ma nel tempo questi si riducono sostanzialmente fino a raggiungere un *range* comparabile tra le diverse soluzioni:

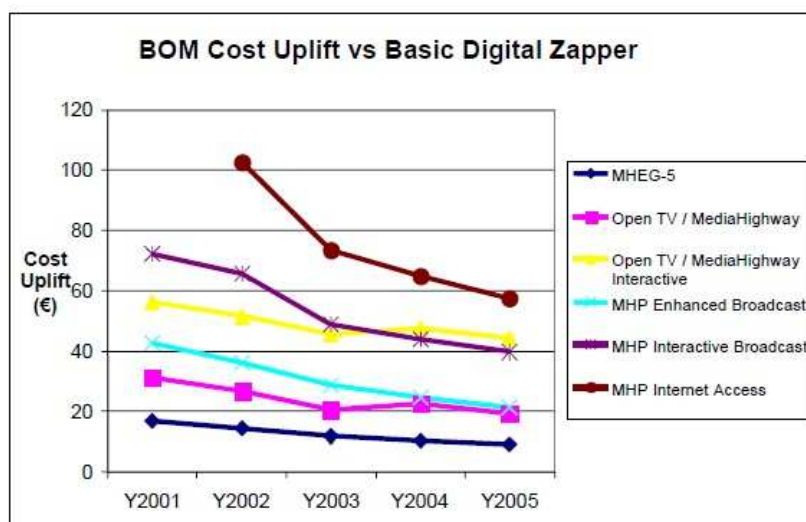


Figura 12: Variazione dei costi nel tempo per differenti soluzioni interattive. (Studio congiunto Philips, Sony, Panasonic, Nokia) ^[16]

Infatti, come visibile in (Figura 12) nel lungo periodo i costi di una soluzione blu (semplice *zapper receiver*) o rossa (*top receiver* bi-direzionale con accesso ad Internet) tendono ad avvicinarsi nel tempo.

Il tempo ha verificato queste previsioni, portando le soluzioni MHP a primeggiare (grazie alla progressiva diminuzione dei costi per processori e memorie) sui *competitors* pre-esistenti. ²

2.7.5 Da MHP a GEM

Dal 2009, MHP è inglobata nella più generica piattaforma GEM (*Globally Executable MHP*), per evidenziare la versatilità della piattaforma sviluppata dal DVB-Project. Originariamente infatti la piattaforma MHP non poteva essere impiegata in mercati dove non fossero utilizzate specifiche DVB, come ad esempio il mercato *CableCard* in USA, o quello ARIB (*Association of Radio Industries and Businesses*) in Giappone.

Con lo sviluppo di GEM si supera questo problema e si giunge alla completa compatibilità di interfacciamento tra i sistemi.

Lo sviluppo GEM è oggi suddiviso in 3 target:

- “*Broadcast*”: per servizi di broadcast televisivo via terrestre/cavo/satellite,
- “*IP-TV*” per servizi via internet,
- “*Packaged media*”: per servizi su disco.

² (cit.): “Compared to existing solutions, MHP is a second generation system with a significant step forward in functionality, enabling a much greater variety of interactive applications and services.

This advantage on its own – and there are many more – far outweighs the short term cost difference with existing APIs.” ^[16]

La classificazione è ben evidenziata in (Figura 13):

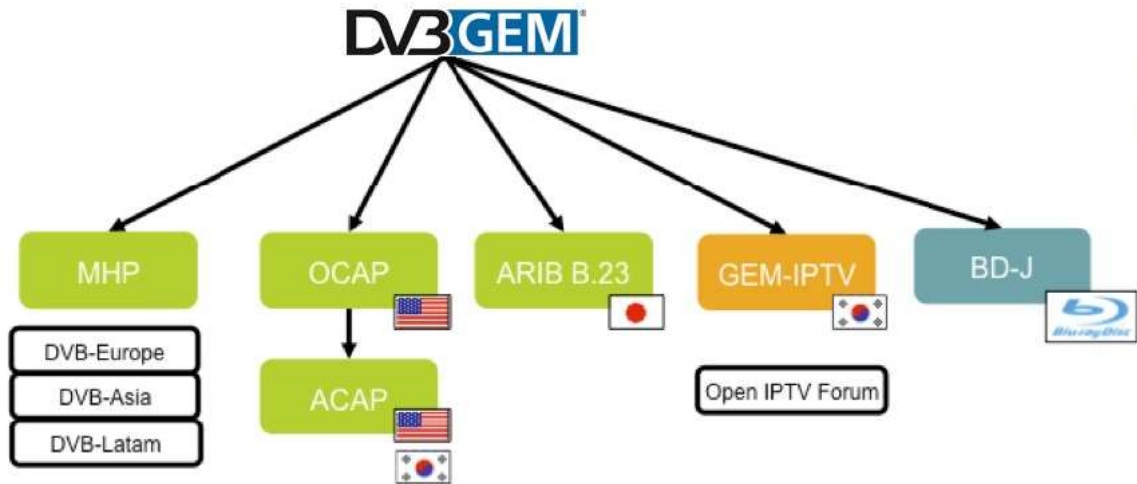


Figura 13: Interazione tra il Core GEM, e i possibili target. ^[17] ³

GEM è stata creata in modo indipendente dalle specifiche della rete, così da fornire agli sviluppatori uno strumento astratto:

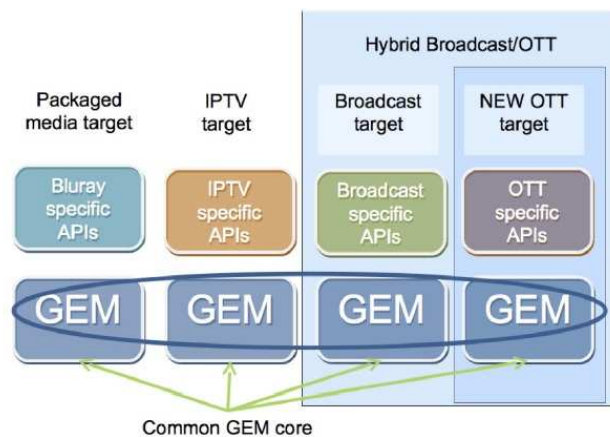


Figure 2: Hybrid Broadcast/OTT target

Figura 14: Core comune GEM per diverse applicazioni. ^[17]

A novembre 2011 sono già stati venduti complessivamente più di 100 milioni di dispositivi GEM-compatibili, di cui 52 milioni implementati su PS3, il restante diviso tra Blu-Ray *players* e contenuti multimediali per sistemi televisivi. ^[18]

Per quanto riguarda la piattaforma GEM, si stanno ora studiando nuove soluzioni per il supporto dei nuovi standard video, come il 3D e applicazioni 3D *interactive*.

³ In giallo chiaro sono indicati i target di tipo "Broadcast", in arancione gli "IP-TV", in azzurro i servizi "Packaged Media". In evidenza anche i settori di mercato di utilizzo della piattaforma GEM.

2.8 Il DVB-T in Italia

Il primo uso commerciale dello standard DVB-T risale al 1999, ad opera di Tele+^[19]. Dal 2008 parte invece l'adozione dello standard DVB-T su tutto il territorio nazionale (suddiviso in più fasi temporali distinte). Il passaggio completo in Italia alla televisione digitale è previsto nel 1° semestre del 2012, con lo *switch-off* finale di Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia.



Figura 15: Suddivisione dello *switch off* analogico sul territorio italiano.^[20]

Il DVB-Project, con la sua piattaforma MHP, è stata scelta anche in Italia, essendo utilizzata da RAI, Mediaset, Sky e Tivùsat. Tivùsat è in realtà una soluzione televisiva con base satellitare, utilizzata dove non c'è buona copertura del segnale DTT. E' così possibile ricevere il segnale televisivo via satellite con l'installazione di un'apposita parabola (ad oggi conta 1 milione di utenti circa).^[18]

In Italia, gli standard televisivi nel 2011 sono così ripartiti:

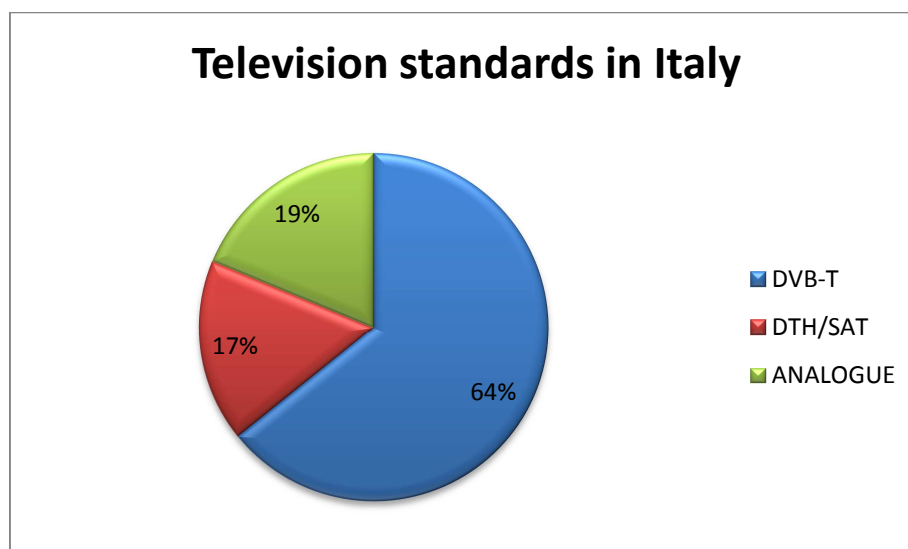


Figura 16: Partizione degli standard televisivi in Italia.
(Dati: Studio Frasi su dati Nielsen TAM,2011)^[21]

Da febbraio 2004 (mese di lancio del DTT in Italia) sono oggi 52.5 milioni ricevitori DTT venduti, di cui:

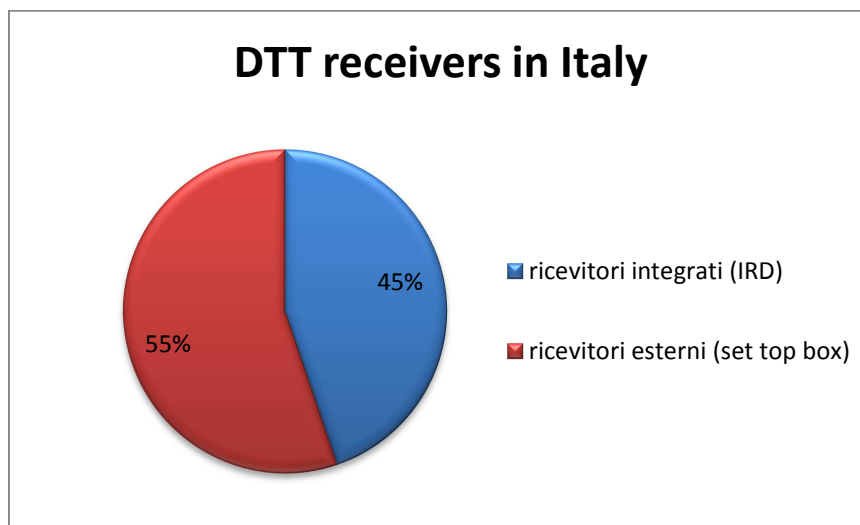


Figura 17: Tipologie di ricevitori DTT in Italia, su un totale di 52.5 milioni. (Dati: Studio Frasi su dati Nielsen TAM,2011) ^[21]

Studio Frasi (2011) prevede, nonostante l'attuale crisi economica, una crescita annua del 27% della TV su piattaforma digitale per il mercato italiano. ^[21]

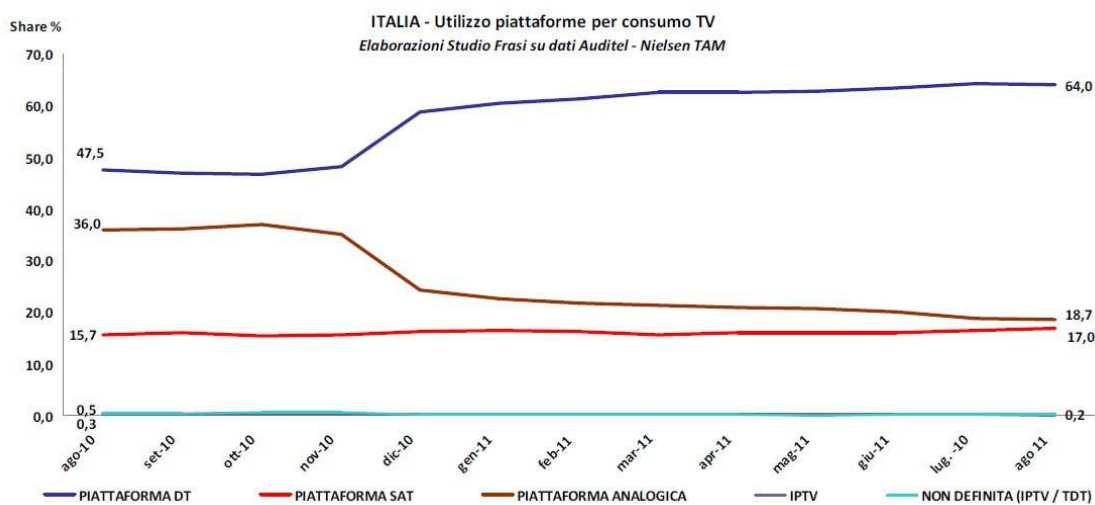


Figura 18: Utilizzo piattaforme per consumo TV. ^[22]

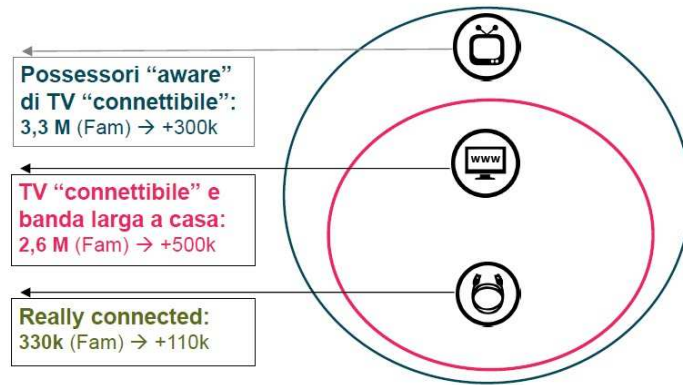


Figura 19: Utenti "Connected TV". [23]

2.8.1 La riallocazione delle frequenze

A seguito del passaggio alla trasmissione di tipo digitale, è stato possibile liberare frequenze nel relativo spettro di trasmissione. Infatti, con l'adozione del DVB-T ora un canale digitale occupa, in termini di banda, circa $\frac{1}{5}$ rispetto ad un precedente canale analogico. Questo è possibile grazie alla trasmissione in isofrequenza (SFN: *Single Frequency Network*), che permette l'invio del segnale su una stessa frequenza da più stazioni trasmettenti, a patto che siano opportunamente sincronizzate (*Multiplex*). In questo modo, per aree di copertura parzialmente sovrapposte, non è necessario cambiare frequenza per trasmettere il medesimo segnale, aumentando così il coefficiente di riuso delle frequenze.

In Italia, con il passaggio al digitale, si libera nella banda V - UHF (*Ultra High Frequency*) uno spettro di frequenze, da riallocare, nella fascia degli 800 MHz. Queste frequenze in parte sono state riassegnate nella prima parte del 2011 per la telefonia mobile (4G: *4th Generation*), attraverso un sistema d'asta ("asta LTE: *Long Term Evolution* per la banda larga mobile"), che ha fruttato al Ministero dello Sviluppo Economico (che comprende l'ex Ministero delle Comunicazioni) circa 3.9 miliardi di euro [24], per la totalità dei blocchi 800MHz/1800MHz/2600MHz.

Per il mercato televisivo sono in gioco 6 *multiplex* (denominati anche "super-frequenze"), i quali possono ospitare ognuno una pluralità di canali, con un numero dipendente dalla qualità audio-video desiderata per il canale (si veda paragrafo 3.2.1). Moltiplicando questa stima per 8 MHz a canale, per 6 segnali in ogni *multiplex* (facendo un'ipotesi di standard-TV), si raggiunge il valore stimato delle frequenze ancora da riallocare di circa 2.4 miliardi di euro.

L'ex Ministro dello Sviluppo Economico Paolo Romani aveva proposto l'assegnazione di queste frequenze con la formula cosiddetta del "beauty contest", dove cioè la ripartizione avviene a favore di coloro che appaiano più meritevoli, in base a criteri tecnici, agli occhi di un'apposita giuria. L'attuale ministro Corrado Passera ha invece espresso l'intenzione di utilizzare un sistema d'asta al rialzo per l'assegnazione delle frequenze.

Al momento, il termine per la re-distribuzione di queste frequenze sembra essere dicembre 2012, secondo il decreto Omnibus del 2011. [25]

2.9 Il DVB-T nel mondo

Nonostante l'idea e lo sviluppo siano europei, le tecnologie sviluppate dal DVB-Project si sono già diffuse oltre le cerchia del vecchio Continente.

Già a tre anni dal rilascio, nel 2001, i ricevitori DTT nel mondo erano 4 milioni. Oggi, nel 2011, hanno superato la soglia di 364 milioni, di cui l'85% di questi presenti nei paesi più sviluppati.

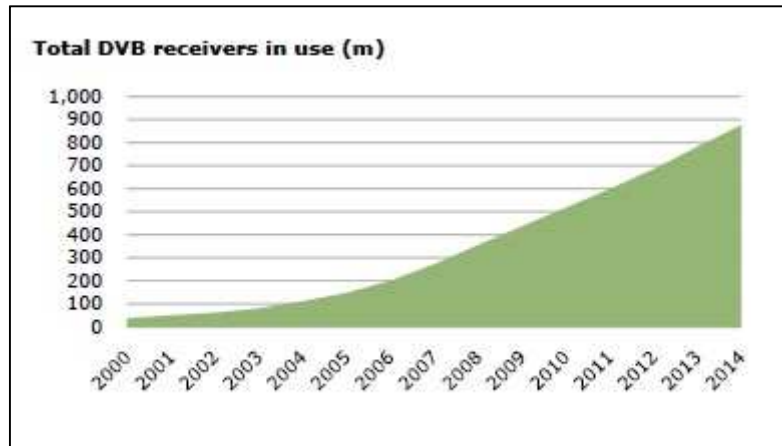


Figura 20: Ricevitori DVB nel mondo (stime in milioni di pezzi).
(Studio Screen Digest) ^[26]

Chi ha scelto la tecnologia DVB nel mondo?

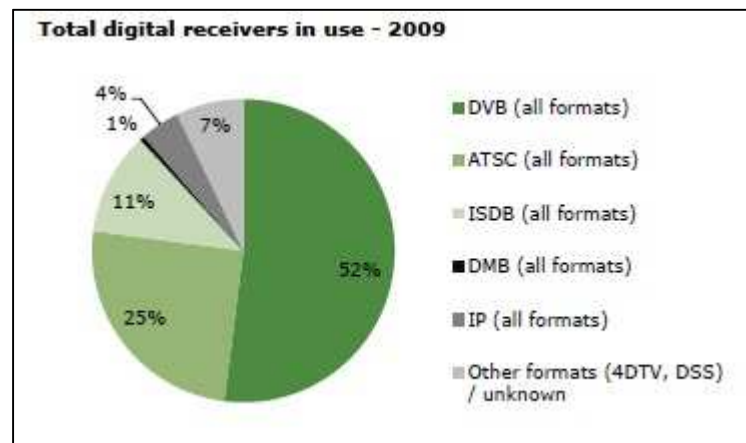


Figura 21: Totalità dei ricevitori digitali nel mondo (2009).
(Studio Screen Digest) ^[26]

Il trend è quello di portare questo standard di tecnologia anche negli altri paesi per diminuire il gap tecnologico:

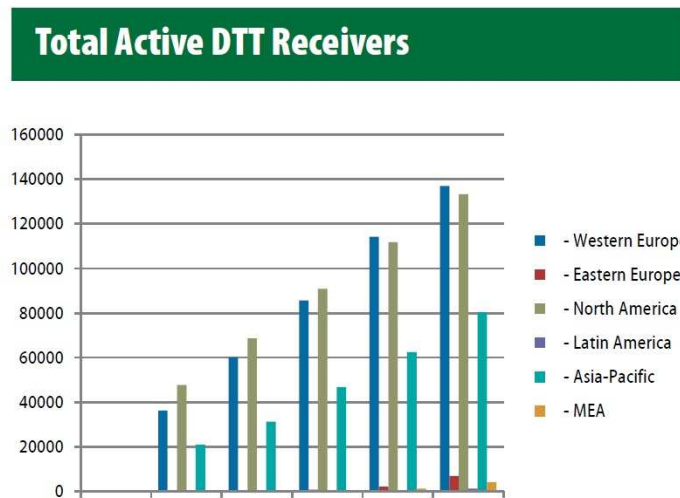


Figura 22: Ascesa dei ricevitori DTT nel tempo.
(Studio Screen Digest) ^[26]

Per il 2015 è infatti previsto l'adeguamento della maggior parte dei paesi del Sud-Est asiatico e dell'Europa orientale agli standard DVB-T. ^[27]

Le stime riportanti l'ingresso della Cina nel mercato DTT potrà questa nazione a dominare il mercato con il 43% di carico sul mondo dei *receiver*.



Nel 2011, in piena recessione, il mercato dei ricevitori DTT vale l'importante cifra di 2.8 miliardi di euro. Le previsioni stimano fino al 2014 una crescita media del 17% annuo in questo settore.

E' previsto che l'evoluzione dei sistemi e lo sviluppo di ricevitori integrati nei televisori di ultima generazione (IRD: *Integreated Receiver Decoder*), porterà ad un incremento dei fatturati di questo ultimo mercato.

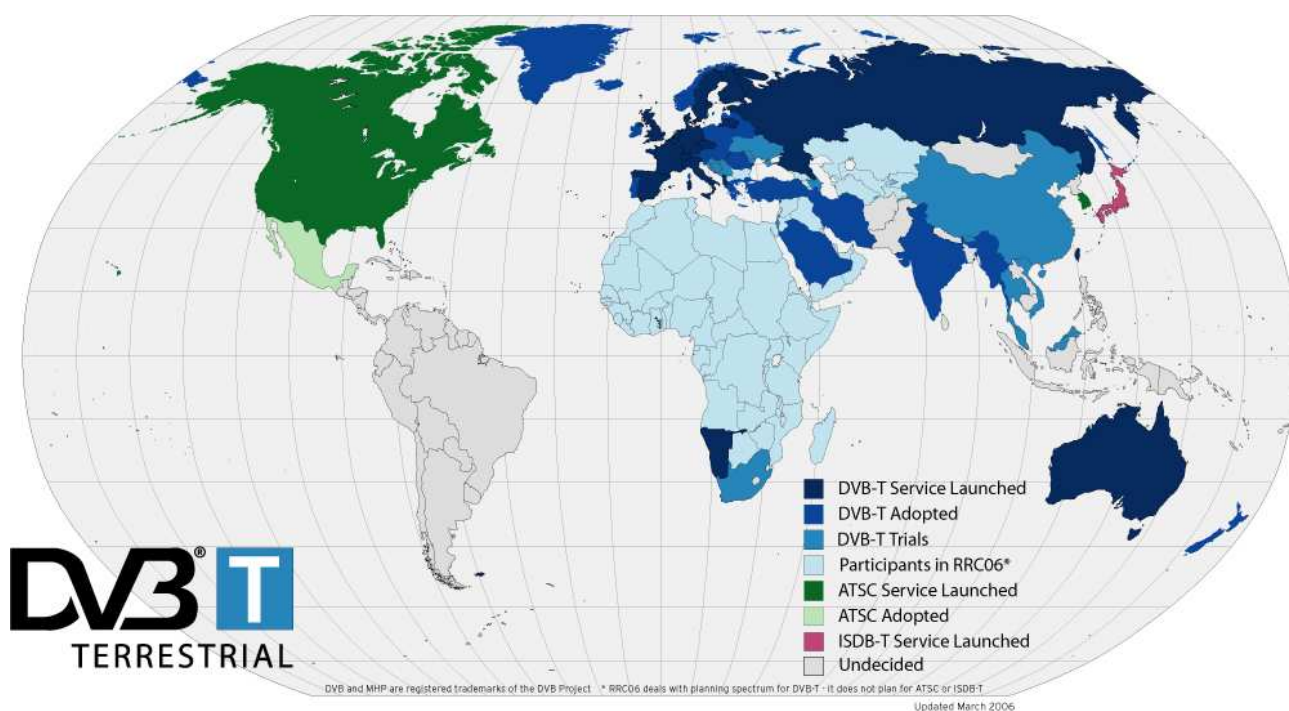


Figura 23: Adozione dello standard DVB-T nel mondo. ^[5]

Il Regno Unito ha recentemente annunciato che lo *switch-off* terminerà ad ottobre 2012, ma per la *Greater London* sarà anticipato ad Aprile 2012, in tempo per permettere la fruizione di “London 2012” in digitale. ^[28]

3 L'evoluzione del DVB-T: lo standard DVB-T2

Dopo l'introduzione nel 1997 dello standard DVB-T, è stato necessario sviluppare standard che fossero aggiornati e più efficienti in termini spettrali. Questi obiettivi vengono in primo luogo realizzati con la presentazione nel 2005 dello standard DVB-S2 per il mercato satellite.

Successivamente nel 2006 nasce l'apposito gruppo di lavoro (TM-T2) per lo standard DVB-T2, coordinato da N. Wells della BBC Research. ^{[29], [30]}

Come sempre per il DVB-Project, anche lo standard DVB-T2 nasce “*market driven*”, rispondendo alle richieste di mercato di:

- Aumento della capacità di canale,
- Miglior robustezza dello standard,
- Compatibilità con le antenne di ricezione già esistenti⁴. ^[31]

Nel giugno del 2007 sono raccolte diverse proposte (tra cui quella del CRIT della RAI) e nel luglio dello stesso anno sono create le aree tecniche:

- *System* (supervisione F. Herrmann, Panasonic)
- *MUX & Interleaving* (supervisione A. Morello, RAI)
- *Signalling, Synchronizaton e Sounding* (supervisione A. Filippi, Philips)
- *Modulation* (supervisione P. J. Bouvet, NXP)
- *PAPR* (supervisione R. Rajagopal, AMD)

Nel giugno del 2008, con un team di circa 70 esperti provenienti da più di 40 diverse aziende, è rilasciato ufficialmente lo standard DVB-T2⁵. DVB-T2 diventerà infine uno standard ETSI nel settembre 2009. ^[32]

⁴ Per un'analisi italiana, si veda ^[30].

⁵ Inizialmente come “BlueBook A122”, ora come standard ETSI. ^[32]

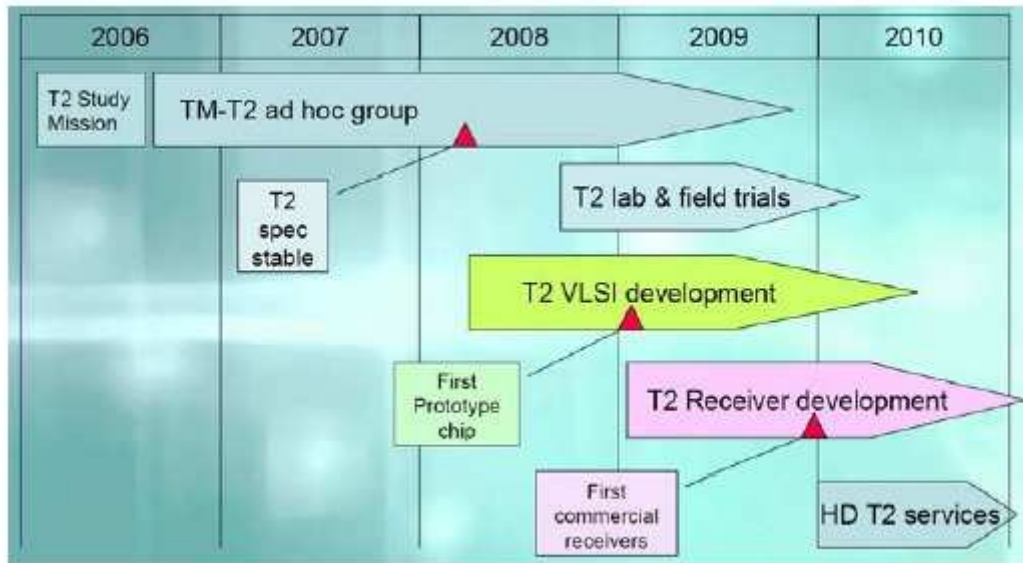


Figura 24: Sviluppo del lavoro sullo standard DVB-T2. ^[29]

Recentemente (luglio 2011) è stato rilasciato un *subset* per il DVB-T2, appositamente progettato per il mercato mobile/*portable*, denominato DVB-T2 Lite. ^[33]

3.1 Principali caratteristiche dello standard DVB-T2

1. Multiple PLP: (si veda Figura 34)

Con l'introduzione di questa modalità ogni segnale è trattato separatamente dai restanti, per garantire sempre la massima efficienza.

Con PLP (*Physical Layer Pipe*) si indica il flusso logico di dati (sullo stesso livello fisico del modello ISO-OSI), ognuno con dati di FEC (*Forward Error Correction*), *Interleaving* e modulazione indipendenti.

Con PLP multiple la trasmissione può quindi essere ottimizzata "su misura" per ogni flusso, in base alle condizioni di canale o di ricezione, o di *power saving.*, settando per ogni PLP i parametri più indicati.

Lo standard risulta così efficace anche in condizioni e scenari molto diversi tra loro.

2. Alamouti Coding^[34]:

Con questa codifica si migliora la copertura in ambienti SFN di piccole dimensioni, attraverso la trasmissione del segnale su antenne multiple.

3. Rotated Constellations: (si veda paragrafo 3.3.9)

Con questo accorgimento sulla costruzione della costellazione si ha una migliore robustezza del segnale.

Questa tecnica risulta particolarmente utile in condizioni di canale con *fading* molto elevato.

4. Extended Interleaving: (si veda paragrafo 3.3.4)

Sono presenti quattro diversi livelli di *interleaving*: Bit, Cella, Tempo e Frequenza.

5. Tecniche di PAPR Reduction: (si veda paragrafo 3.3.10)

Con opportune tecniche è possibile ridurre il rapporto tra picchi del segnale e potenza media.

6. Future Extension Frames (FEF):

Predisposizione di *frame* che permettano la compatibilità dello standard anche nel futuro. I *receiver* sono appositamente istruiti ad ignorare questi *frames* se vuoti.

Grazie all'introduzione di queste caratteristiche, il nuovo standard DVB-T2 offre un sostanziale guadagno in termini di:

- **Efficienza spettrale:** *bit-rate* più elevata (e quindi più canali a parità di banda oppure, a parità di canali, di qualità più elevata).
- **Efficienza energetica:** maggiore copertura del territorio a parità di siti trasmettenti e della loro potenza; oppure diminuzione della potenza a parità di copertura del territorio.

3.2 Confronto tra DVB-T e DVB-T2

Le caratteristiche evidenziate in (Figura 25) mostrano un netto miglioramento con l'introduzione di DVB-T2 in termini di *data-rate* e *C/N ratio* (*Carrier to Noise Power Ratio*).

Inoltre, rispetto al predecessore, con DVB-T2 è stato esteso il numero delle portanti, con l'introduzione delle opzioni 16K e 32K, le quali migliorano le prestazioni in ambiti SFN. Aumentando il numero delle portanti (cioè la dimensione della FFT: *Fast Fourier Transform*) si ottengono infatti:

- Minore spaziatura tra le portanti \Rightarrow maggior durata del periodo di simbolo,
- Maggiore robustezza contro il rumore impulsivo,
- Diminuzione della densità spettrale di potenza fuori banda.

E' stata inoltre introdotta l'opzione 1K per fornire maggiore robustezza alla trasmissione in condizioni di forte criticità.

	DVB-T	DVB-T2 (new / improved options in red)
FEC	Convolutional Coding+Reed Solomon 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	LDPC + BCH 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Modes	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Guard Interval	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/128, 1/8, 19/256, 1/16, 1/32, 1/128
FFT Size	2k, 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k
Scattered Pilots	8% of total	1%, 2%, 4%, 8% of total
Continual Pilots	2.6% of total	0.35% of total
Typical data rate (UK)	24 Mbit/s	40 Mbit/s
Max. data rate (@20 dB C/N)	29 Mbit/s	47.8 Mbit/s
Required C/N ratio (@22 Mbit/s)	16.7 dB	8.9 dB

Figura 25: Confronto caratteristiche DVB-T e DVB-T2. ^[33]

Confrontato con il DVB-T, il DVB-T2 migliora l'efficienza nell'uso dello spettro del 30-50%. ^[35]

E' possibile notare i miglioramenti introdotti con il DVB-T2 anche per via grafica in (Figura 26, Figura 27) valutando alternativamente i guadagni in termini di *bit-rate* o *C/N ratio*.

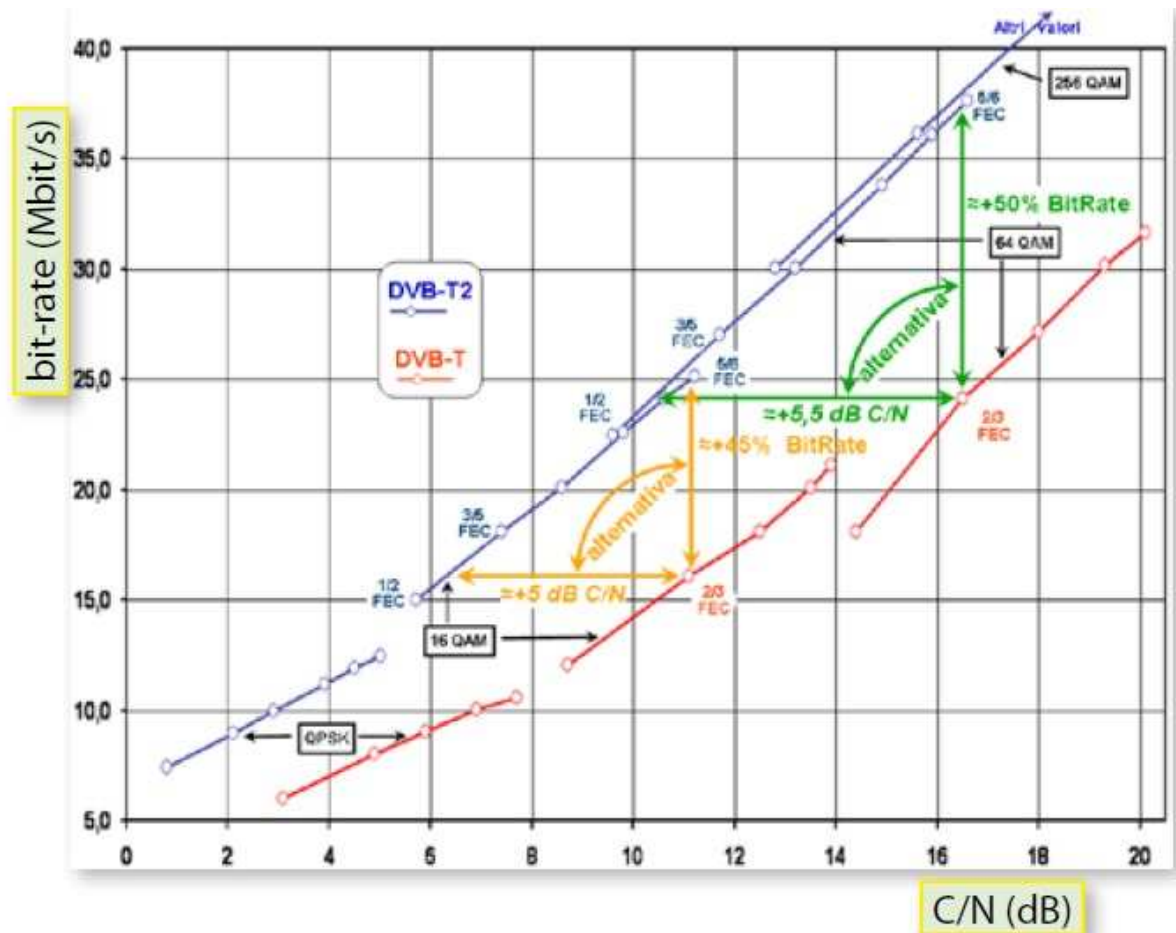


Figura 26: Un confronto alternativo tra DVB-T e DVB-T2. ^[29]

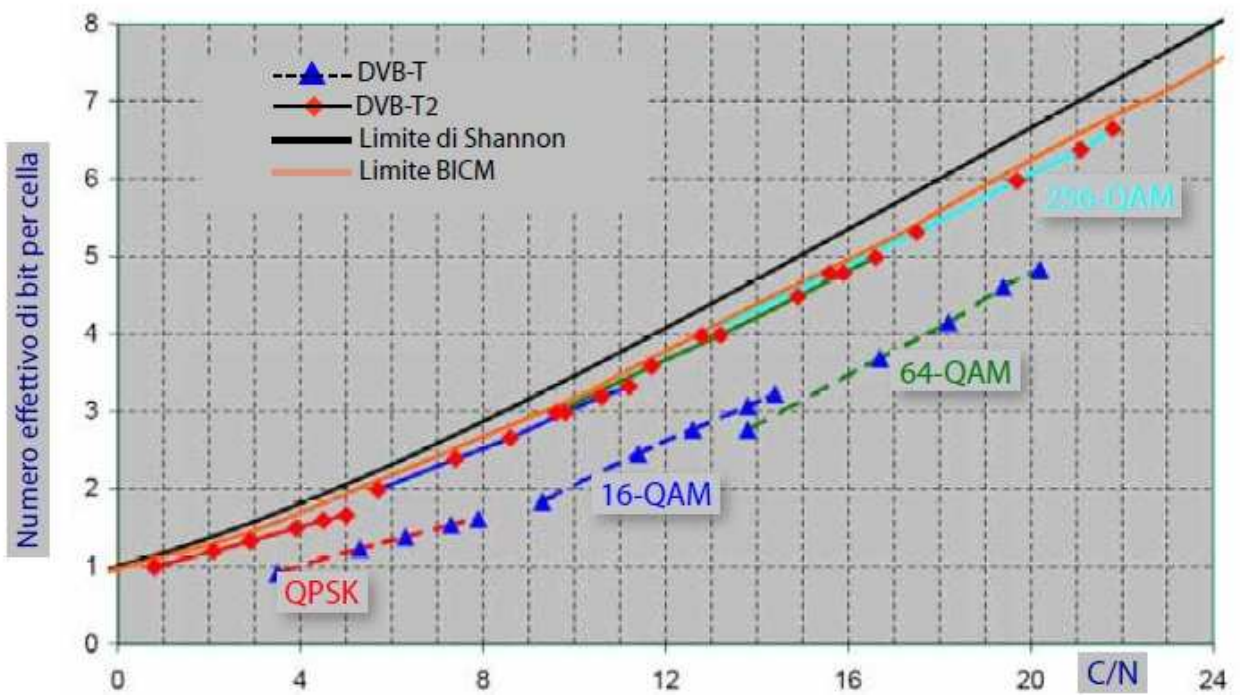


Figura 27: Avvicinamento al limite di efficienza di Shannon con il DVB-T2, rispetto a DVB-T. ^[36]

3.2.1 Codifiche e bit-rate del segnale televisivo

Una trasmissione completa del segnale televisivo digitale, secondo la raccomandazione ITU ^[37], richiederebbe una *bit-rate* di 166 Mbit/s, condizione inaccettabile vista la capacità di canale ^[38]. Sono allora necessarie tecniche di codifica di sorgente per comprimere l'informazione, riducendo così la banda occupata dal segnale televisivo.

Lo standard DVB-T utilizza la codifica MPEG-2. La qualità di un segnale codificato MPEG-2 è definito da due parametri: *profile* e *level*. Per il segnale televisivo in codifica MPEG-2 la *bit-rate* varia da 4 a 8 Mbit/s, in base al contenuto (immagini statiche o dinamiche) e alla qualità impostata dal *provider* di servizi.

In base al tipo di modulazione, la capacità totale utile di un canale RF(in ipotesi di 8 MHz) varia da un minimo di 6Mbit/s ad un massimo di 32 Mbit/s. Considerando però anche i necessari tempi di guardia (*guard interval*) e un'adeguata spaziatura tra le portanti del segnale, il *range* è limitato dai 12 ai 24 Mbit/s. Su questo *range* è possibile quindi fare diverse scelte, in base alle diverse *bit-rate* di qualità audio-video del segnale.

- DVB-T SDTV (25/30 Hz) MPEG-2 *main profile* *main level*
 ⇒(2 ÷ 4) programmi (ipotesi fino a 6 Mbit/s per programma x 4 = 24Mbit/s)
- DVB-T HDTV MPEG-2 *main profile* *high level*
 ⇒1 solo programma (occupante tutto il canale, con una *bit-rate* di 24Mbit/s)

Appare quindi la compatibilità del DVB-T anche con l'Alta Definizione, anche se una migliore supportabilità sarà ottenuta con il DVB-T2.

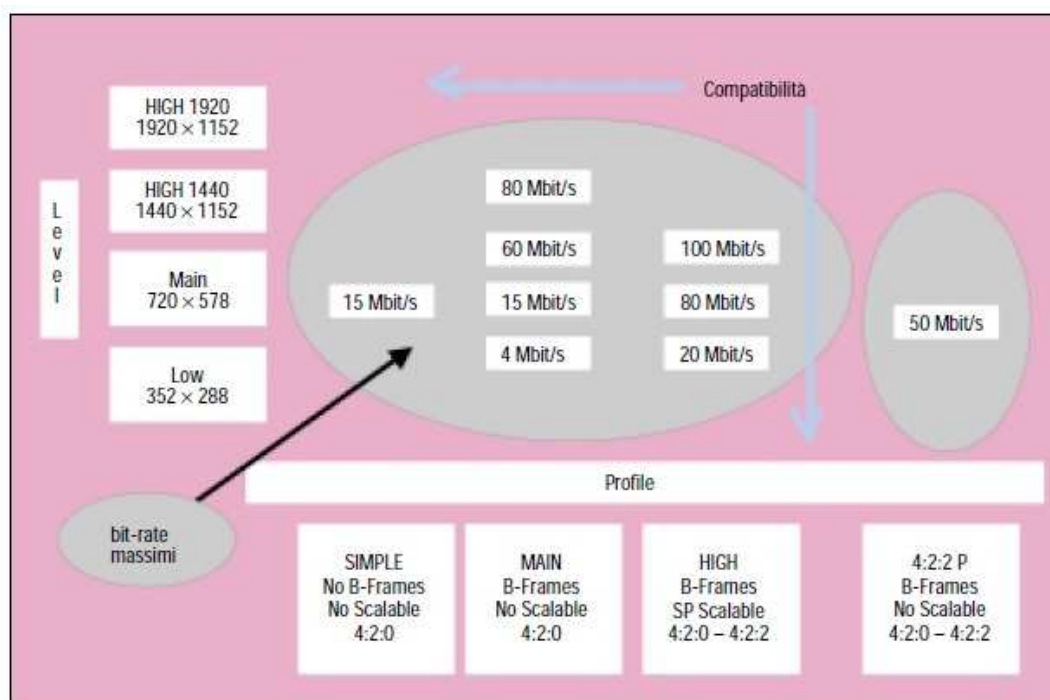


Figura 28: Profili e livelli della codifica MPEG-2. ^[38]

Modulazione	Codice	C/N richiesto per BER = 2×10^{-4} dopo Viterbi QEF dopo Reed-Solomon			Flusso binario utile (Mbit/s)			
		Canale			$\Delta = T_g/T_u$			
		Gaussiano	Rice (F)	Rayleigh (P)	1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	3,1	3,6	5,4	4,98	5,53	5,85	6,03
QPSK	2/3	4,9	5,7	8,4	6,64	7,37	7,81	8,04
QPSK	3/4	5,9	6,8	10,7	7,46	8,29	8,78	9,05
QPSK	5/6	6,9	8,0	13,1	8,29	9,22	9,76	10,05
QPSK	7/8	7,7	8,7	16,3	8,71	9,68	10,25	10,56
16QAM	1/2	8,8	9,6	11,2	9,95	11,06	11,71	12,06
16QAM	2/3	11,1	11,6	14,2	13,27	14,75	15,61	16,09
16QAM	3/4	12,5	13,0	16,7	14,93	16,59	17,56	18,10
16QAM	5/6	13,5	14,4	19,3	16,59	18,43	19,52	20,11
16QAM	7/8	13,9	15,0	22,8	17,42	19,35	20,49	21,11
64QAM	1/2	14,4	14,7	16,0	14,93	16,59	17,56	18,10
64QAM	2/3	16,5	17,1	19,3	19,91	22,12	23,42	24,13
64QAM	3/4	18,0	18,6	21,7	22,39	24,88	26,35	27,14
64QAM	5/6	19,3	20,0	25,3	24,88	27,65	29,27	30,16
64QAM	7/8	20,1	21,0	27,9	26,13	29,03	30,74	31,67

Figura 29: Nella seconda colonna i valori di *bit-rate* per il DVB-T, in base alle differenti modulazioni e *guard interval* indicati a sinistra. ^[39]

Lo standard DVB-T2 supporta entrambe le codifiche MPEG-2 e H.264/AVC (MPEG-4 *part 2*) ^[40], codifica nata per ottenere un ulteriore risparmio di *bit-rate* sul canale.

Con codifica MPEG-2, la *bit-rate* massima per DVB-T2 resta chiaramente uguale a quella del DVB-T, dato che la codifica è la stessa.

Con l'introduzione dell'H.264 invece, si hanno diverse possibilità, in base alla qualità della trasmissione e alla frequenza utilizzata. ^{[40], [41]}

Analogamente, il DVB-Project ha definito diverse qualità per la trasmissioni in DVB-T2:

- DVB-T2 SDTV (25 Hz) H.264 *main profile level 3* *bit-rate: 2.5 Mbit/s*
- DVB-T2 HDTV (30 Hz) H.264 *high profile level 4* *bit-rate: 8.5 Mbit/s*

E' evidente quindi una notevole riduzione della *bit-rate* con l'adozione della codifica H.264 in DVB-T2.

A parità quindi di qualità audio-video, l'adozione di (DVB-T2 + H.264) porta alla coesistenza di un maggior numero di segnali televisivi sullo stesso canale, rispetto a (DVB-T + MPEG-2).

Oppure, alternativamente, DVB-T2 permette la coesistenza dello stesso numero di canali di DVB-T, ma ad una qualità audio-video più elevata.

Per un'analisi comparata tra i due standard, si vedano le seguenti (Figura 30, Figura 31, Figura 32):

	Modalità corrente DVB-T nei MUX nazionali MFN	Esempio DVB-T2
Canale RF	8 MHz	8 MHz
Modulazione	64 QAM	256 QAM
Dimensione FFT	8K	32K
Intervallo di guardia (CP)	1/32	1/128
FEC	2/3 CC + RS	3/5 LDPC + BCH (0,3%)
Config. Scattered Pilots	—	PP7
% overhead per Scattered Pilots	8 %	1 %
% overhead per Continual Pilots	3 %	0,53 %
% overhead per P1 / P2	0 %	0,7 %
Occupazione banda	normale	estesa
SNR in ricezione	17 dB	17 dB
Capacità netta	24,1 Mbit/s	36,1 Mbit/s
Guadagno in capacità		49,6 %
n. Programmi SDTV	≈ 5 MPEG-2	≈ 16 MPEG-4 AVC
n. Programmi HDTV		≈ 4 MPEG-4 AVC

Figura 30 : Confronto della capacità di canale tra DVB-T e DVB-T2 in Italia (ambiente MFN).^[42]

	Modalità corrente DVB-T nei MUX nazionali SFN	Esempio DVB-T2
Canale RF	8 MHz	8 MHz
Modulazione	64 QAM	256 QAM
Dimensione FFT	8K	32K
Intervallo di guardia (CP)	1/4	1/16
FEC	2/3 CC + RS (8%)	3/5 LDPC + BCH (0,3%)
Config. Scattered Pilots	—	PP7
% overhead per Scattered Pilots	8 %	1 %
% overhead per Continual Pilots	3 %	0,53 %
% overhead per P1 / P2	0 %	0,7 %
Occupazione banda	normale	estesa
SNR in ricezione	17 dB	17 dB
Capacità netta	19,9 Mbit/s	34,2 Mbit/s
Guadagno in capacità		72 %
n. Programmi SDTV	≈ 4 MPEG-2	≈ 15 MPEG-4 AVC
n. Programmi HDTV		≈ 4 MPEG-4 AVC

Figura 31: Confronto della capacità di canale tra DVB-T e DVB-T2 in Italia (ambiente SFN).^[42]

Example of MFN mode in the United Kingdom

	Current UK DVB-T mode	Selected UK DVB-T2 mode
Modulation	64 QAM	256 QAM
FFT size	2k	32k
Guard Interval	1/32	1/128
FEC	2/3CC + RS	2/3 LDPC + BCH
Carrier mode	Standard	Extended
Capacity	24.1 Mbit/s	40.2 Mbit/s

Source: OFCOM

Figura 32: Confronto della capacità di canale in United Kingdom (ambiente MFN).^[43]

3.3 Analisi dello standard DVB-T2

Come il suo predecessore, anche lo standard DVB-T2 usa la modulazione OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*); rispetto al DVB-T però, dove erano presenti solo codici convoluzionali e di Reed-Solomon, qui sono introdotti codici LDPC (*Low Density Parity Check*), in combinazione con codici BCH (*Bose-Chaudhuri-Hocquengham*).^{[33], [44]}

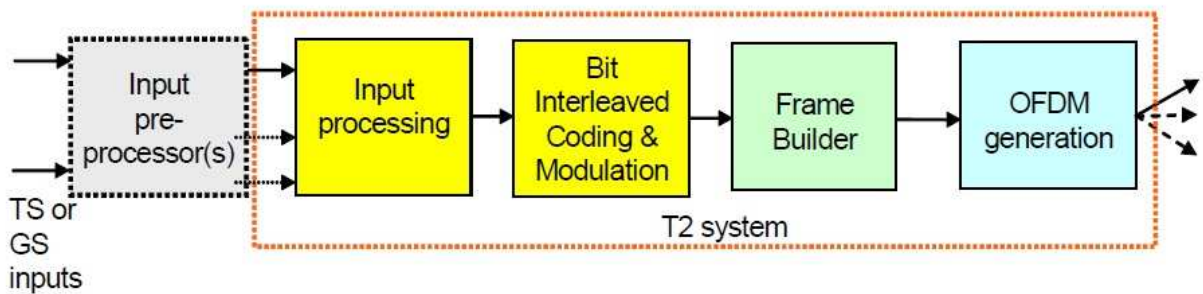


Figura 33: Schema a blocchi (*high level*) dello standard DVB-T2.^[32]

In uscita dallo schema a blocchi di (Figura 33), il segnale è solitamente unico, pronto per essere trasmesso su canale RF. E' presente comunque la possibilità di generare un secondo output di segnali (opzione MIMO: *Multiple Input Multiple Output*).

3.3.1 Input pre-processor(s)

In ingresso, il primo blocco (*Input pre-processor*, esterno al DVB-T2) divide gli input in ingresso (denominati *streams*), suddividendoli in diverse PLP.

Le specifiche indicano che il sistema tollera in ingresso *data-rate* fino 72Mbit/s, mentre in uscita offrirà pacchetti a 50Mbit/s o più (sempre su ipotesi di canale RF a 8MHz).^[32]

I blocchi successivi a quello di input variano in base alle caratteristiche dell'ingresso, cioè se è presente una singola PLP oppure PLP multiple.

Se i differenti TS (*Transport Stream*) condividono pacchetti comuni tra loro, questi possono allora essere raggruppati in un apposito *common PLP*; il *receiver* si occuperà di riconoscerlo e di smistare opportunamente i pacchetti.

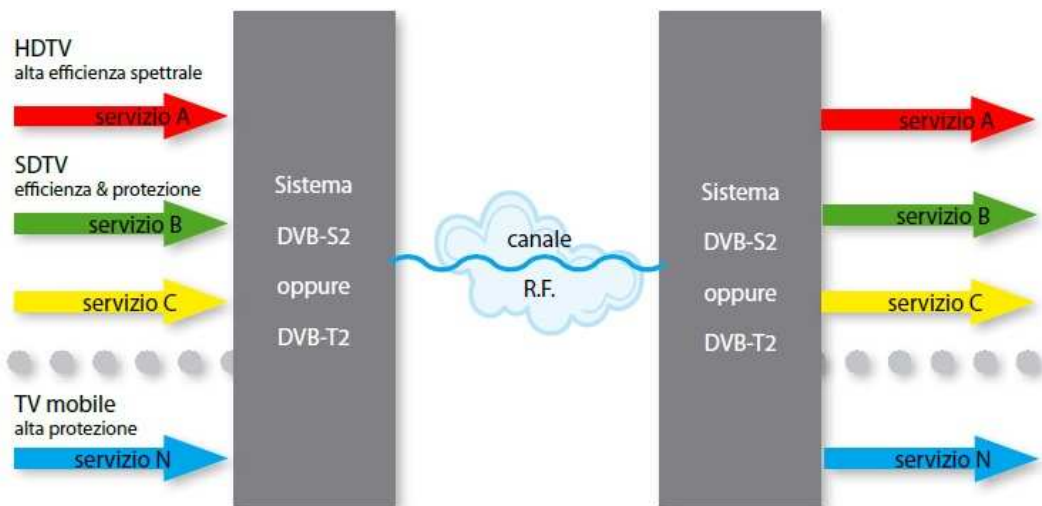


Figura 34: Con PLP multiple stream diversi possono coesistere in uno stesso sistema fisico DVB-T2. ^[29]

3.3.2 Input Processing

L'Input Processing, il 2° blocco di (Figura 33), il quale tratta ogni PLP in ingresso, è sviluppato come:

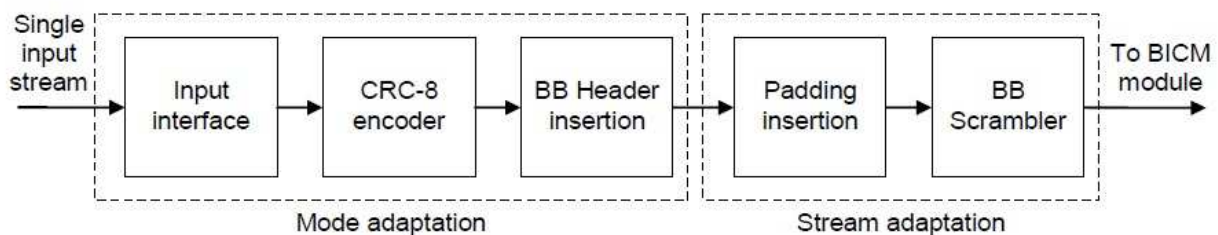


Figura 35: Blocco di Input Processing per singola PLP. ^[32]

Sono accettati come *single input stream* i seguenti formati:

- TS (*Transport Stream*), sono i “tradizionali” flussi MPEG,
- GSE (*Generic Encapsulated Stream*),
- GCS (*Generic Continuous Stream*), per pacchetti di lunghezza sconosciuta,
- GFPS (*Generic Fixed-length Packetized Stream*), formato che garantisce compatibilità con DVB-S2.

Lo standard risulta quindi versatile in ingresso e adatto sia alla trasmissione di pacchetti, che a flussi continui di informazioni.

L'*input Interface* mappa il segnale in ingresso in sequenze logiche di bit, a partire dall'*MSB (Most Significant Bit)*.

L'*Encoding CRC-8* è applicato solo a PLP di tipo TS e GFPS: si tratta di una codifica per *error detection*.

Il *Data Field* sarà preceduto da un apposito *header (BBHeader)*, in modo da formare il cosiddetto *BBFRAME* (trama di banda base).

In caso di PLP multiple, può essere usato un apposito *Synchronizer* per garantire una *bit-rate* costante (CBR: *Constant Bit Rate*).

La sezione di *Stream Adaptation* comprende poi lo *Scheduling* (solo per PLP multiple: ha la funzione di riordinare le celle di informazione con le rispettive PLP), *Padding* (riempimento del *frame* per avere sempre una lunghezza fissa) e *Scrambling*. Con lo *Scrambling* si opera una re-distribuzione dei simboli binari all'interno del BBFRAME, in modo da evitare sequenze che possano risultare critiche per la successiva codifica FEC.

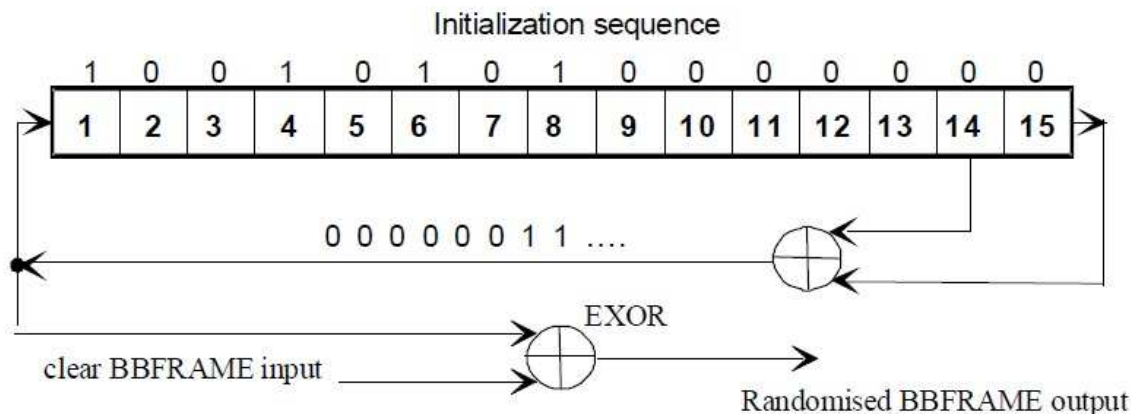


Figure 11: Possible implementation of the PRBS encoder

Figura 36: Encoder PRBS. ^[32]

3.3.3 Bit Interleaved Coding & Modulation (BICM)

Il *frame* BBFRAME prodotto dall'*Input Processing* è ora processato dal blocco BICM.

Se il *frame* supera la soglia di $C/N+I$ (*Carrier to (Noise+Interference) Ratio*) prefissata, allora è necessaria la codifica FEC per raggiungere un target QEF (*Quasi Error Free*). Per lo standard DVB-T2 il target QEF è stato fissato dal DVB-Project in un *Packet Error Ratio* (PER) $< 10^{-7}$, equivalente visivamente a meno di un errore non corretto per ogni ora di trasmissione TV a 5 Mbit/s. ^[32]

In questo blocco vengono poi sviluppate la codifica esterna (*outer coding*: BCH) e quella interna (*inner coding*: LDPC), per formare il cosiddetto FECFRAME.

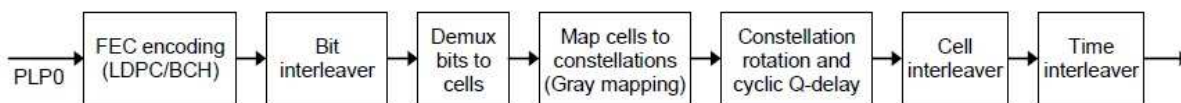


Figura 37: Blocco BICM. ^[32]

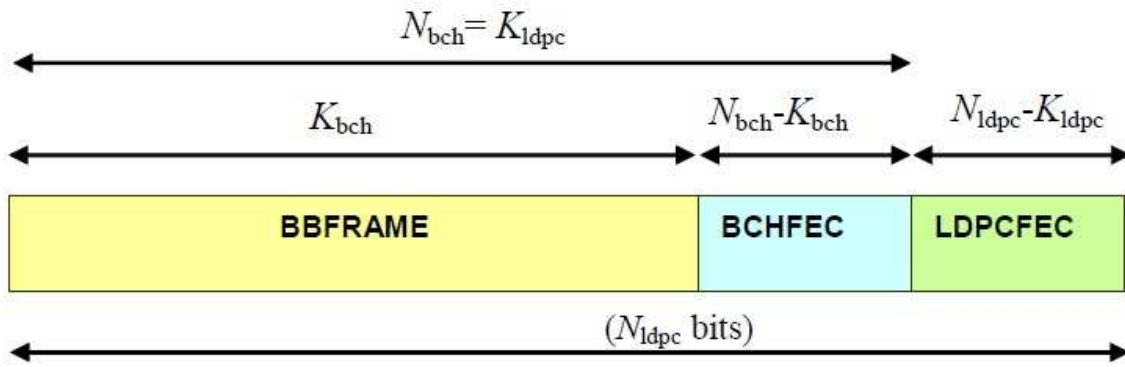


Figure 12: format of data before bit interleaving
 ($N_{ldpc} = 64\ 800$ bits for normal FECFRAME, $N_{ldpc} = 16\ 200$ bits for short FECFRAME)

Figura 38: Il FECFRAME (BBFRAME + codifiche BCH e LDPC).^[32]

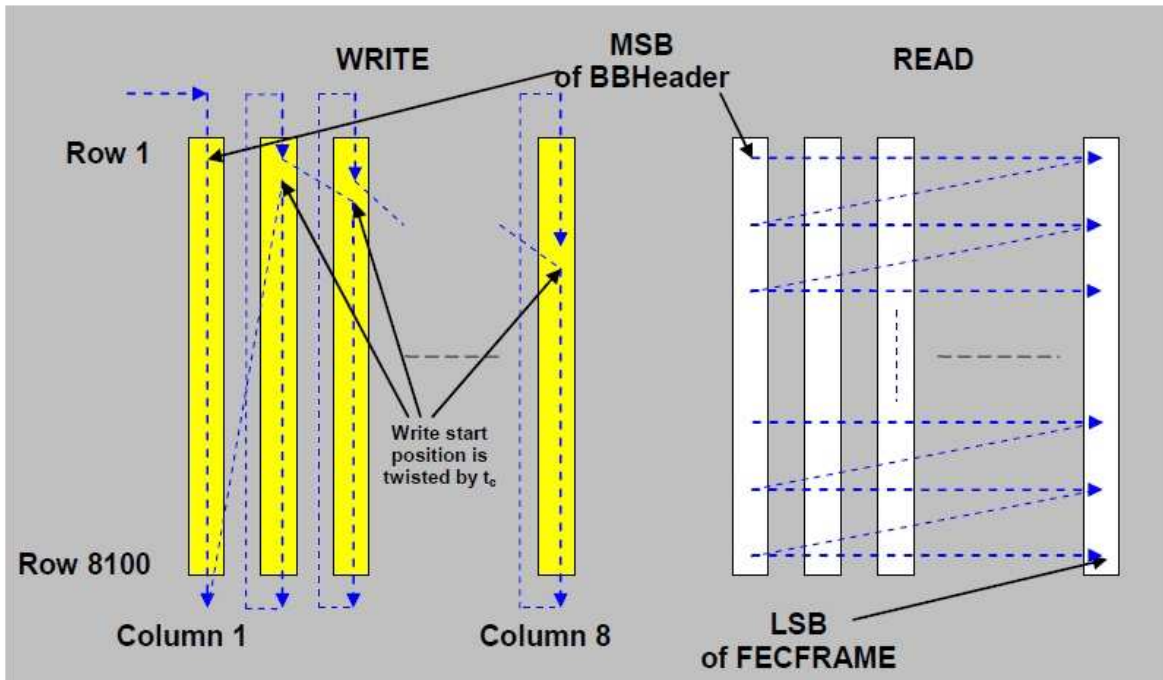


Figura 39: Esempio di bit interleaving per il FECFRAME, su una modulazione 16-QAM.^[32]

In (Figura 40) si evidenzia il miglioramento introdotto con tecniche di correzione LDPC, implementate in DVB-T2, rispetto a tecniche di correzione con codici convoluzionali presenti nel DVB-T:

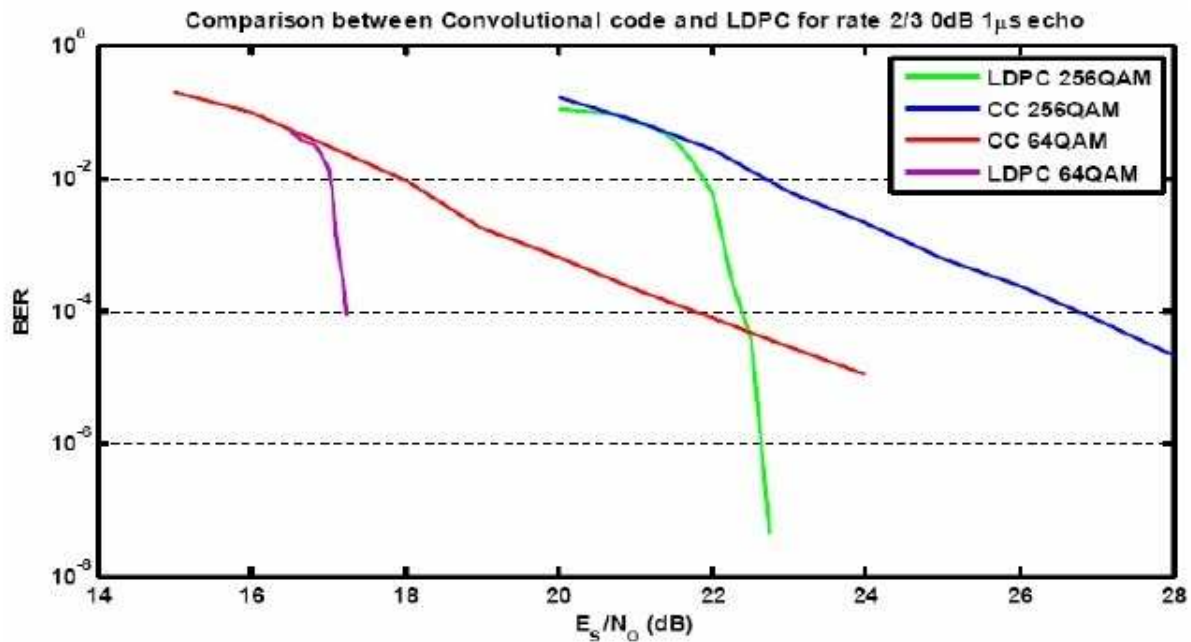


Figura 40: BER per codici convoluzionali (rosso 64-QAM, blu 256-QAM) versus LDPC (viola 64-QAM, verde 256-QAM). [29]

E' evidente la caduta del BER (*Bit Error Rate*) in colore verde (in modulazione 64-QAM) o viola (in modulazione 256-QAM) rispetto ad analoghe modulazioni, ma trattate con codici convoluzionali (rosso e blu).

Prendendo un definito BER, ad esempio 10^{-4} , si nota come l'introduzione di codifiche LDPC porti ad un guadagno di 5dB, prendendo in riferimento la modulazione 64-QAM.

Grazie a questo miglioramento, è stato possibile introdurre una modulazione ancora più complessa come la 256-QAM, senza la necessità di aumentare il rapporto segnale-rumore. Aumentando infatti i punti della costellazione (da 64 a 256), si ha una diminuzione della spaziatura tra i punti, e la risoluzione di minima distanza euclidea risulterebbe più gravosa per il *receiver*. Con l'introduzione di nuovi codici questa difficoltà viene in buona parte mitigata.

Ora, per mappare i bit nella costellazione è necessaria l'azione di un *de-multiplexer* per separare i diversi *substreams*.

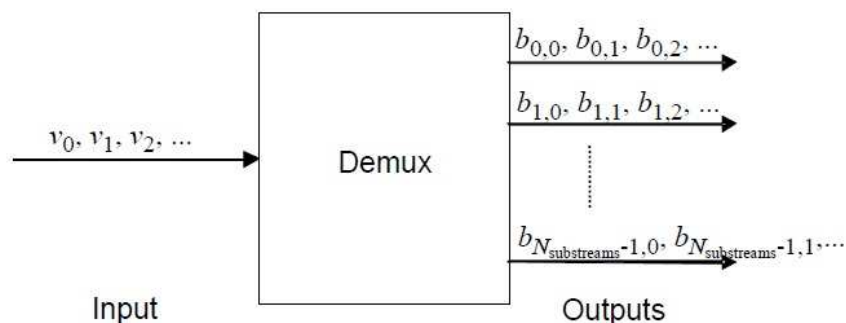


Figura 41: De-multiplexing dei bit nelle substreams. [32]

Ogni *substream* (ora denominato *cell word*) può essere modulato usando una qualunque delle modulazioni proposte dallo standard del DVB-Project, e quindi QPSK, 16-QAM, 64-QAM o 256-QAM.

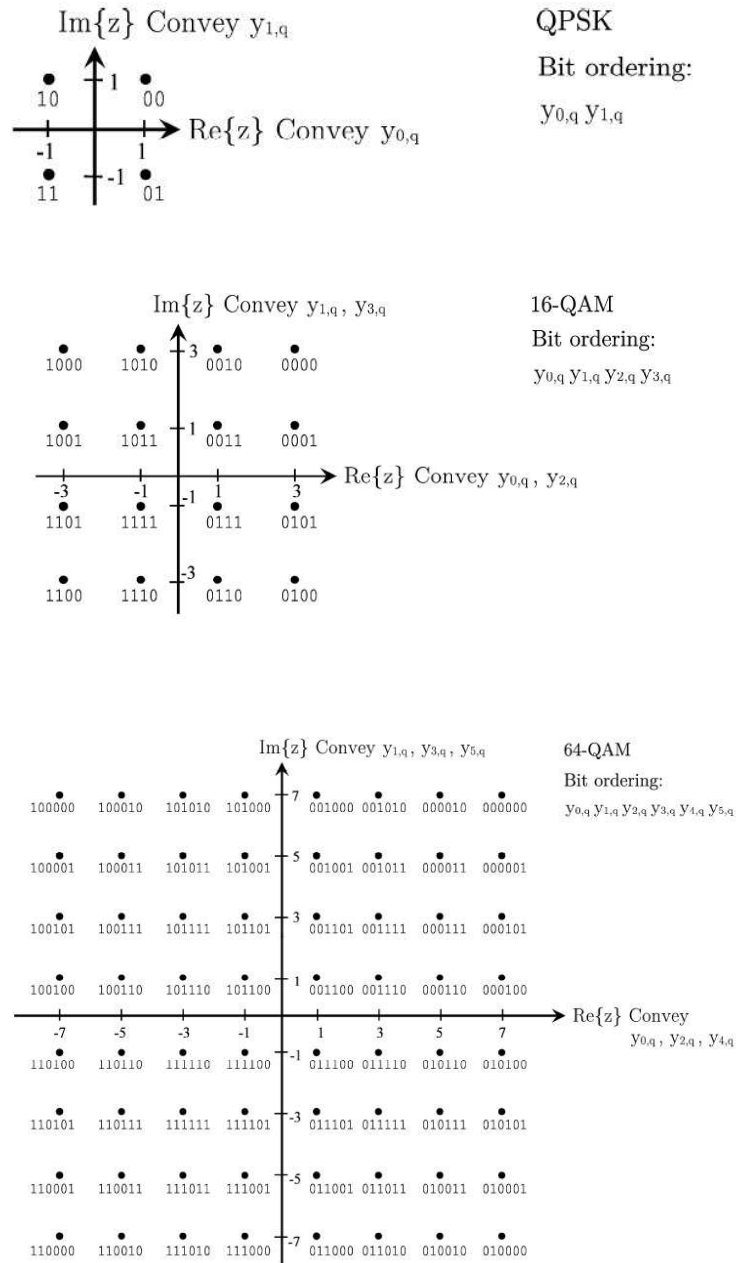


Figura 42: Mappature di tipo Gray per modulazioni 4-QAM, 16-QAM, 64-QAM. [32]

3.3.4 Interleaving

Con più stadi di *interleaving* si distribuiscono uniformemente i dati, in modo che il rumore impulsivo e un *fading* selettivo non influiscano sulla sequenza continua. Questi stadi sono necessari in aggiunta ai codici FEC, in quanto questi i codici FEC funzionano bene solo con errori statisticamente indipendenti, cioè con distribuzione casuale. Invece, per errori che colpiscono un'area estesa continua della trama si utilizzano invece tecniche di *interleaving*.

L'*interleaving* temporale offre una profondità di interlacciamento di almeno 70 ms per i servizi più onerosi in termini di *data-rate*, senza dover estendere la memoria del *receiver*. Questo porta ad un maggiore immunità ai disturbi di tipo impulsivo e ad una ricezione migliore per sistemi in movimento a velocità elevate.

3.3.5 Frame Builder

Questo blocco ha la funzione di assemblare insieme le diverse celle, prodotte dal blocco precedente, con le corrispondenti linee *Signalling* (linee con elementi di controllo) lungo un *array* OFDM, pronte per essere modulate per la trasmissione.

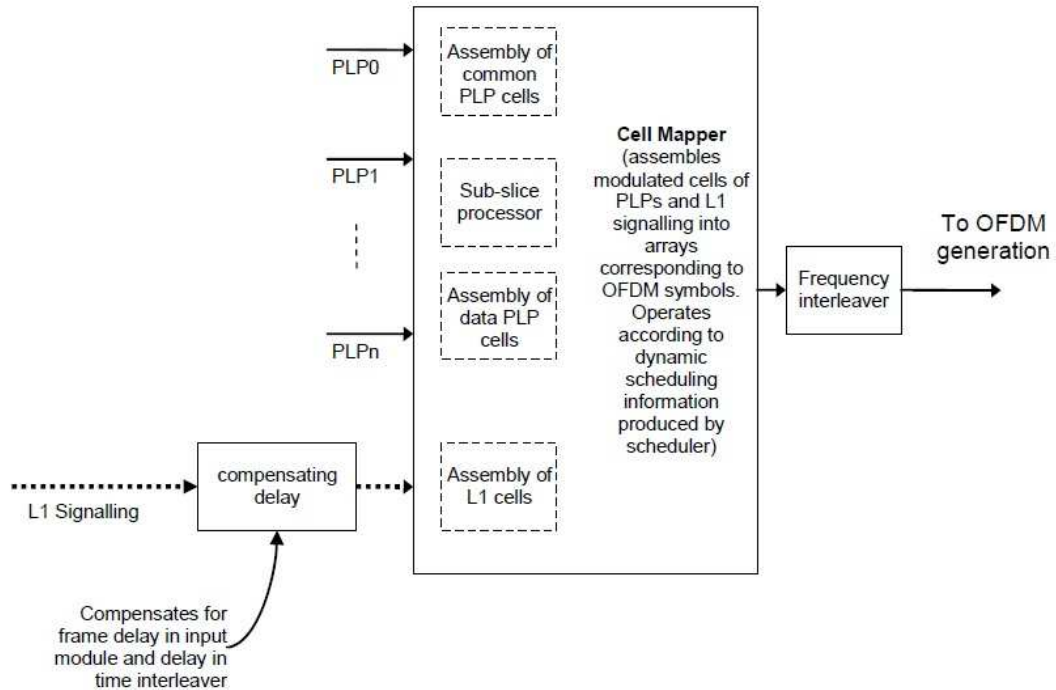


Figura 43: Blocco Frame Builder. ^[32]

3.3.6 OFDM Generation

Le celle di informazione uscite dal precedente blocco di *Frame Builder* vengono processate nei principali blocchi:

- (opzionale) **Miso processing**: Se richiesto, il segnale in uscita può essere “splittato” in 2 trasmissioni distinte alla stessa frequenza, con l’ausilio della codifica di Alamouti.
- **Pilot Insertion**: sono inserite nel *frame* informazioni aggiuntive, per permettere al *receiver* di compensare le possibili distorsioni prodotte dal canale.
- **IFFT (Inverse Fast Fourier Transform)**: viene generata la base dei tempi per una trasmissione corretta del segnale.

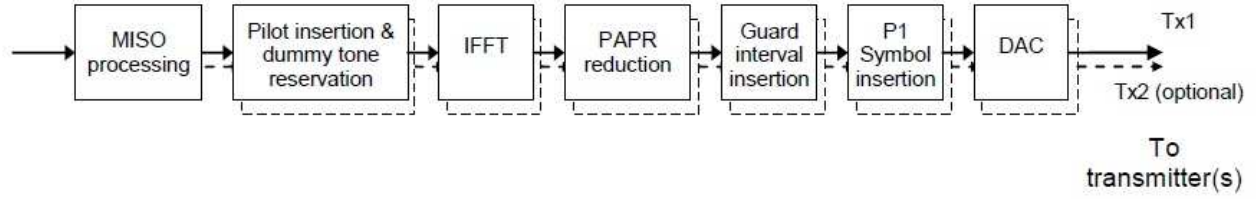


Figura 44: Blocco OFDM Generation. [32]

Ogni *frame* è definito con durata T_F , e consiste di L_F simboli OFDM, numerati da 0 a L_F-1 .

Ogni simbolo OFDM è costituito da un set K_{total} di portanti, ognuna di durata T_S . Ogni simbolo è composto da due parti: il *payload* vero e proprio di durata T_U , e un *guard interval* lungo Δ .

N_{T2} *frame* sono poi raccolti in un cosiddetto *super frame*.

Il segnale trasmesso è così espresso dalla espressione seguente:

$$s(t) = \text{Re} \left\{ e^{j2\pi f_c t} \sum_{m=0}^{\infty} \left[p_1(t - mT_F) + \frac{5}{\sqrt{27 \cdot K_{total}}} \sum_{l=0}^{L_F} \sum_{k=K_{min}}^{K_{max}} c_{m,l,k} \cdot \Psi_{m,l,k}(t) \right] \right\}$$

Equazione 1: formula del segnale trasmesso, nell'ipotesi di nessuna riduzione FEF/PAPR.

Con:

$$\Psi_{m,l,k}(t) = \begin{cases} e^{j2\pi \frac{k'}{T_U}(t - \Delta - T_{Pl} - lT_S - mT_F)}, & mT_F + T_{Pl} + lT_S \leq t \leq mT_F + T_{Pl} + (l+1)T_S \\ 0, & \text{altrove} \end{cases}$$

Equazione 2: funzioni base per il segnale trasmesso.

Dove le portanti sono definite da k , m indica il numero di frame, l il numero del simbolo OFDM.

Nota: il fattore di normalizzazione $\frac{5}{\sqrt{27}}$ è necessario per compensare l'aumento di potenza causata dal numero di *pilots*. In questo modo la potenza del simbolo P1 è uguale a quella dei simboli successivi.

3.3.7 Caratteristiche dello spettro

La densità spettrale di potenza di ogni singola portante è definita dalla seguente:

$$f_{k'} = f_c + \frac{k'}{T_U} \text{ for } \left(-\frac{K_{total} - 1}{2} \right) \leq k' \leq \frac{K_{total} - 1}{2}$$

Equazione 3: Densità spettrale di potenza per ogni portante.

La densità spettrale di potenza totale delle portanti modulate è quindi la somma delle singole densità di tutte le portanti. Siccome la durata di ogni simbolo OFDM è maggiore dell'inverso della spaziatura tra una portante e l'altra, allora il lobo principale di ogni portante è "più stretto" del doppio della spaziatura. Ecco che quindi la densità spettrale non risulta costante in banda.

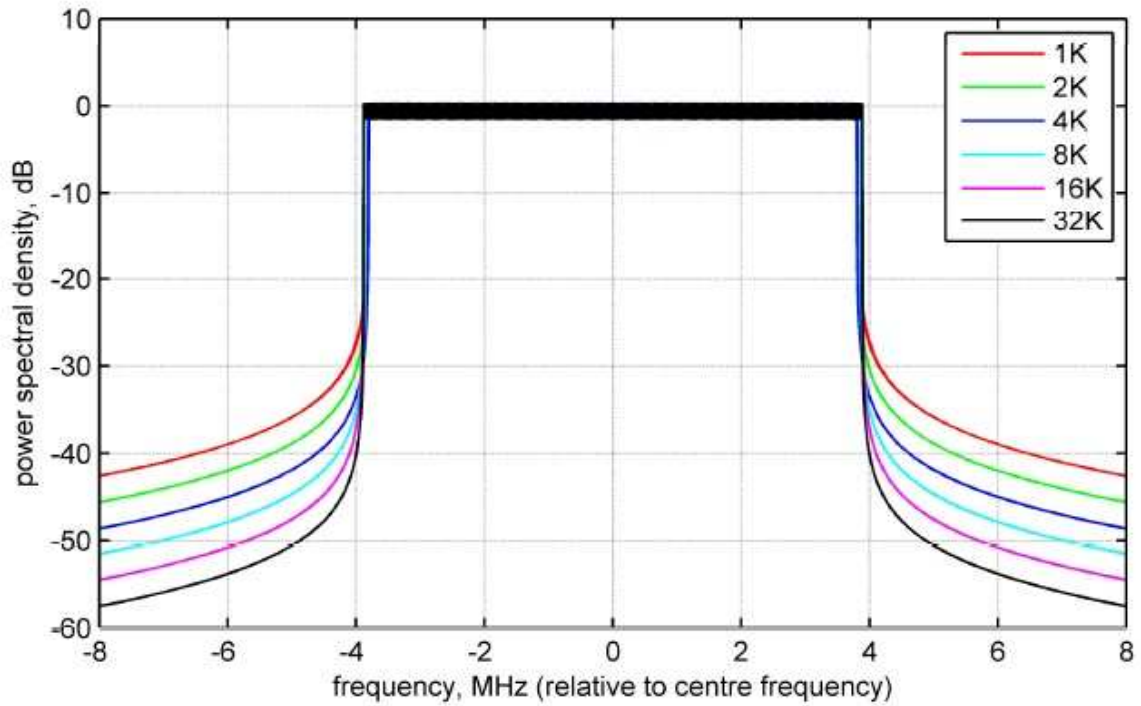


Figure 52(a): Theoretical DVB-T2 signal spectrum for guard interval fraction 1/8 (for 8 MHz channels and with extended carrier mode for 8K, 16K and 32K)

Figura 45: Andamento dello spettro del segnale trasmesso, per diversi indici di modulazione QAM. [32]

3.3.8 Struttura della trama

Al livello più alto, la struttura è formata da *super frames* (super frame), di durata fino a 64 sec in assenza di FEF, corrispondenti cioè a 255 frames da 250 ms. ^[32]

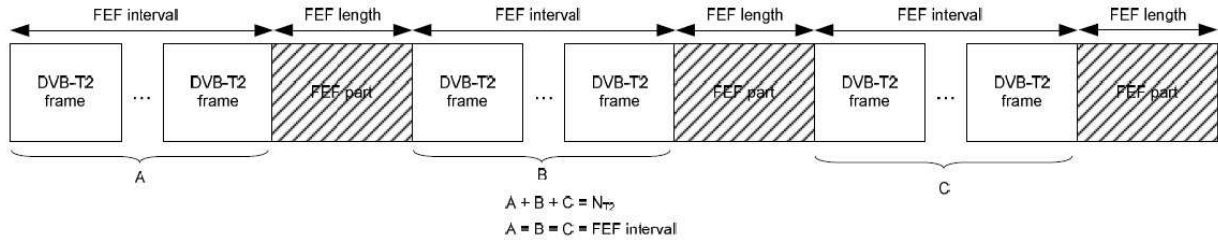


Figura 46: Struttura di un *super frame*, intervallato da FEF. ^[32]

Ogni singolo *frame* inizia con un simbolo di riferimento P1, seguito da altri simboli di riferimento P2 (di numero variabile in base alla dimensione della FFT prescelta).

Il simbolo P1 fornisce al *receiver* informazioni sulla FFT prescelta e sulla presenza di eventuali FEF.

I simboli P2 trasportano invece la segnalazione di livello 1 della trasmissione, divisa in pre-segnalazione (informazioni statiche, valide per tutto il *super frame*) e post-segnalazione (informazioni dinamiche).

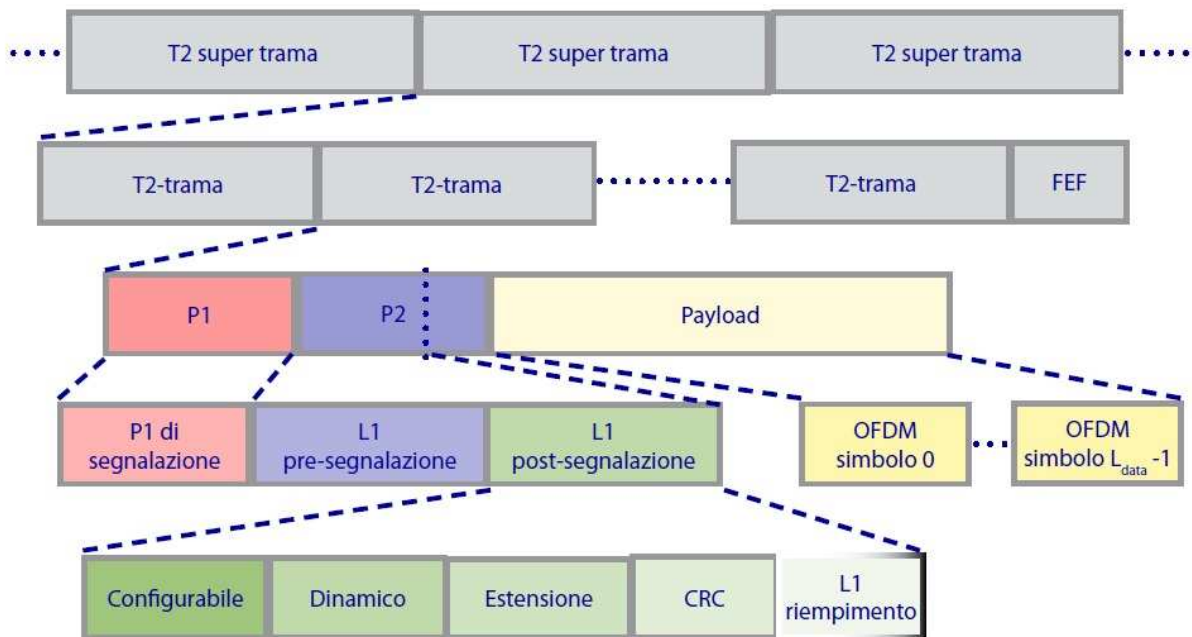


Figura 47: struttura completa della trama, per lo standard DVB-T2. ^[29]

3.3.9 Il vantaggio offerto dalle Rotated Constellations

A seguire un esempio di utilizzo delle *rotated constellations*, costruito su modulazione 16-QAM. ^[45]

In una modulazione “convenzionale” ogni componente del segnale, in fase (I) o in quadratura (Q), trasporta metà dell’informazione.

Se la costellazione è soggetta a *fading*, le due componenti vengono modificate in modo identico, come è evidente a destra in (Figura 48).

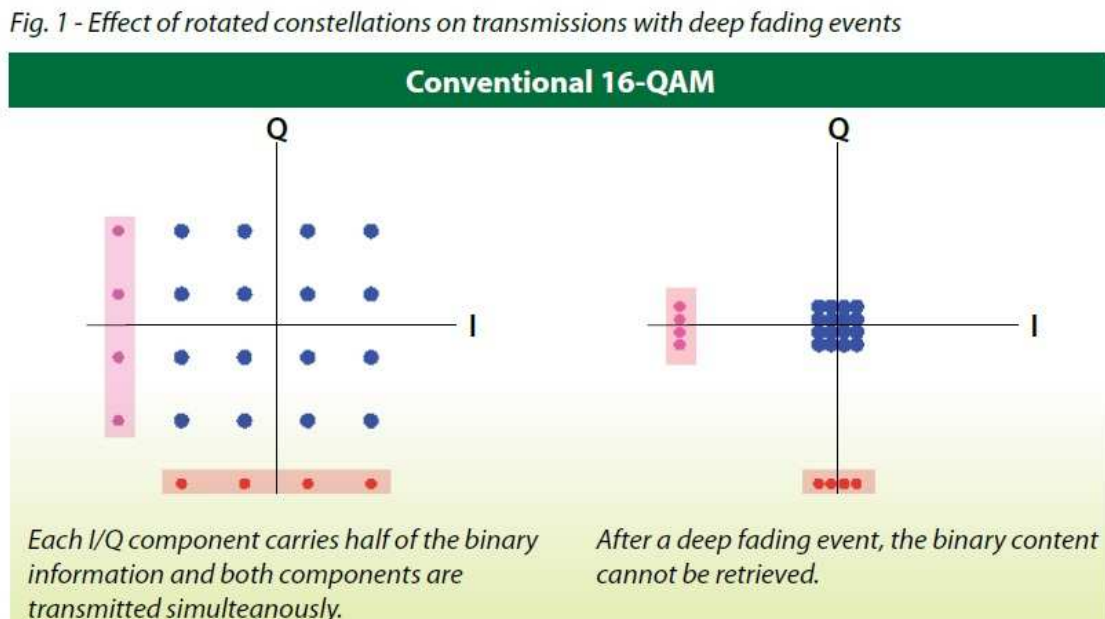


Figura 48: Effetto di fading elevato su costellazione 16-QAM convenzionale (DVB-T). ^[45]

Il *fading* provoca quindi uno “*stretch*” della costellazione, rendendone molto difficile la decodifica.

Invece, con l’introduzione delle *rotated constellations* implementate in DVB-T2, nasce l’idea denominata *signal space diversity*.

Ogni componente, che sia in fase (I) o in quadratura (Q), trasmette tutta l’informazione: infatti, ogni punto della costellazione ha la sua specifica proiezione lungo le due componenti (I) e (Q). Non esistono più infatti punti con una delle due coordinate uguali.

Le due proiezioni sono inviate separatamente (due tempi diversi oppure due differenti portanti OFDM); la costellazione è così ruotata, fino ad una angolazione massima di 30°. Nonostante un evento di *fading* possa colpire, ad esempio la componente (I), è ancora possibile l’intelligibilità del segnale in ricezione, grazie all’altra componente (Q).

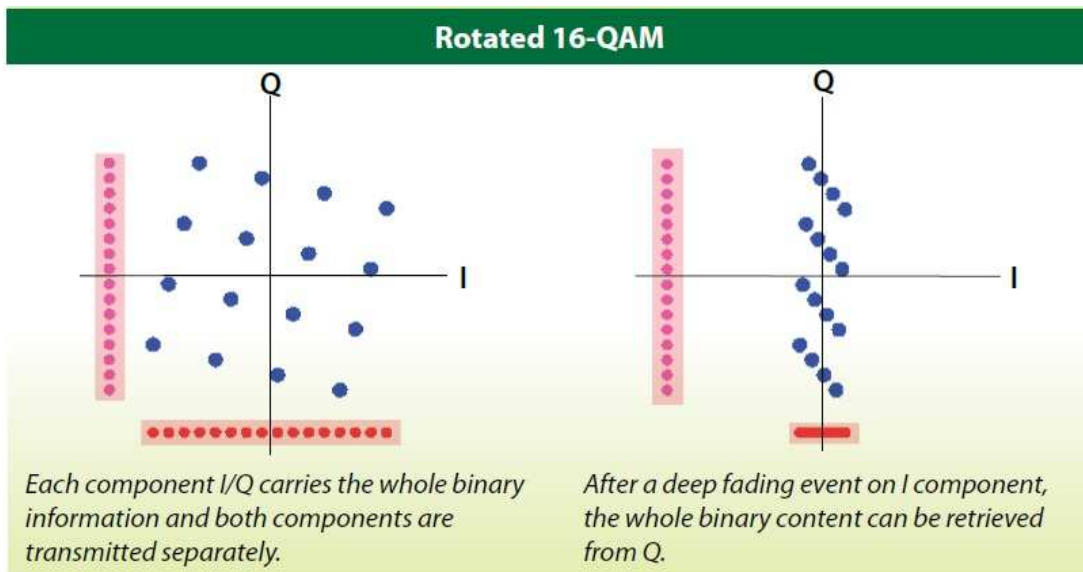


Figura 49: introduzione di *rotated constellations* e successiva intelligibilità del segnale. ^[45]

Questa tecnica risulta molto importante in scenari SFN, dove diverse antenne trasmettono dati sulle stesse frequenze, provocando pericolosi echi multipli dello stesso segnale. Ruotando le costellazioni se ne facilita la decodifica.

Grazie a questa nuova caratteristica, il nuovo standard DVB-T2 si dimostra molto più performante del predecessore in termini di *data-rate* o, in alternativa, molto più robusto ai disturbi.

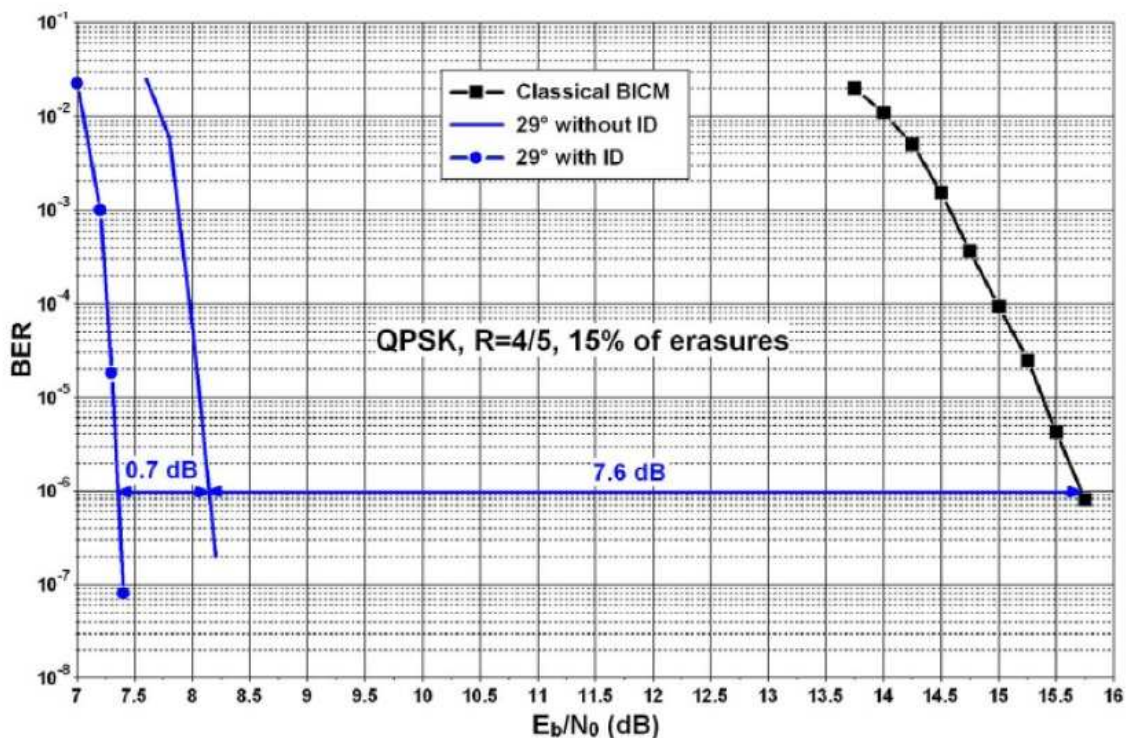


Figura 50: Miglioramento sul BER grazie a costellazioni ruotate (blu), rispetto a costellazioni non ruotate (nero). ^[36]

3.3.10 Tecniche ACE e TR per la riduzione del rapporto picchi segnale/potenza media

Più aumenta il numero delle portanti, più il segnale modulato OFDM tende ad assomigliare ad un rumore di tipo gaussiano. Ciò porta ad un pericoloso aumento del PAPR (*Peak to Average Power Ratio*), che limita l'efficienza degli amplificatori di potenza.

Nello standard DVB-T2 sono allora previste le tecniche ACE (*Active Constellation Extension*) e TR (*Tone Reservation*) per risolvere il problema.

Con la tecnica ACE si muovono i punti più esterni della costellazione verso regioni ad ampiezza maggiore:

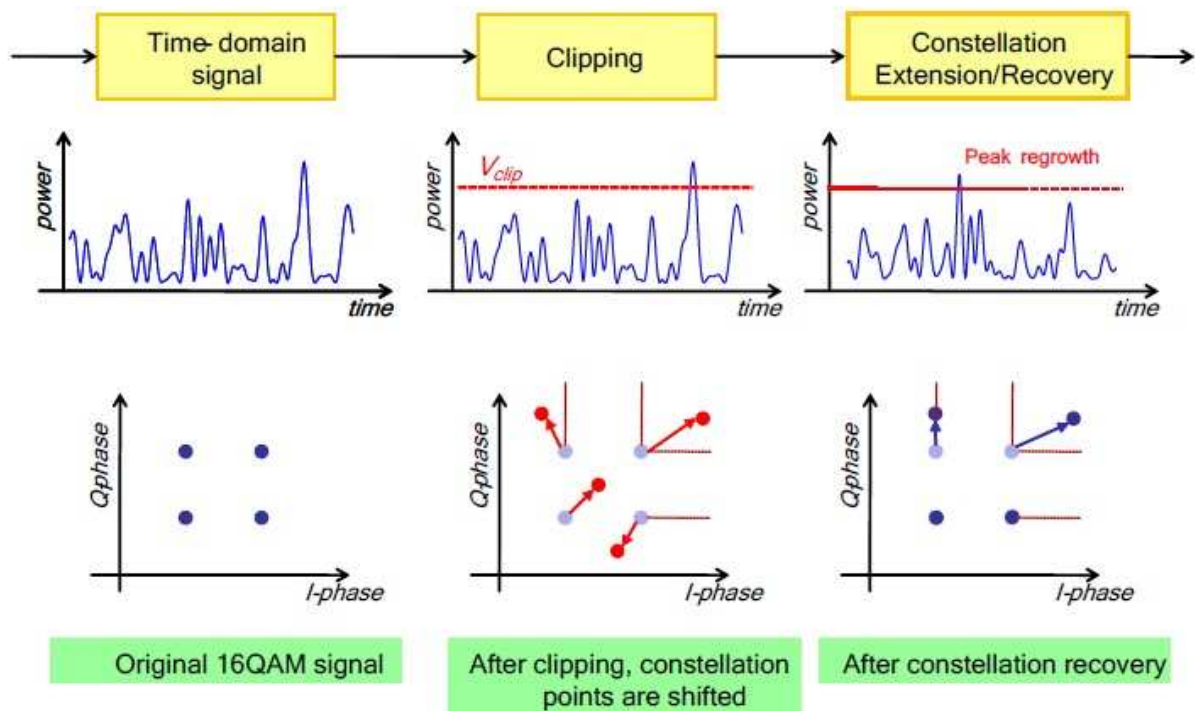


Figura 51: Principio di funzionamento della tecnica ACE. ^[36]

Nota: questa tecnica non è utilizzabile nel caso sia utilizzata in combinazione con una costellazione ruotata.

La tecnica TR risulta più efficace, a differenza della ACE, con costellazioni di ordine elevato. Con TR si utilizza opportunamente un set di portanti, altrimenti inutilizzate, per evitare picchi di ampiezza sul segnale OFDM. La sintesi di tutte le portanti, comprese quelle utilizzate in TR, porta ad una riduzione dei picchi.

La combinazione di entrambe le tecniche porta ad una riduzione della potenza di picco del sistema di circa il 20%. ^[42]

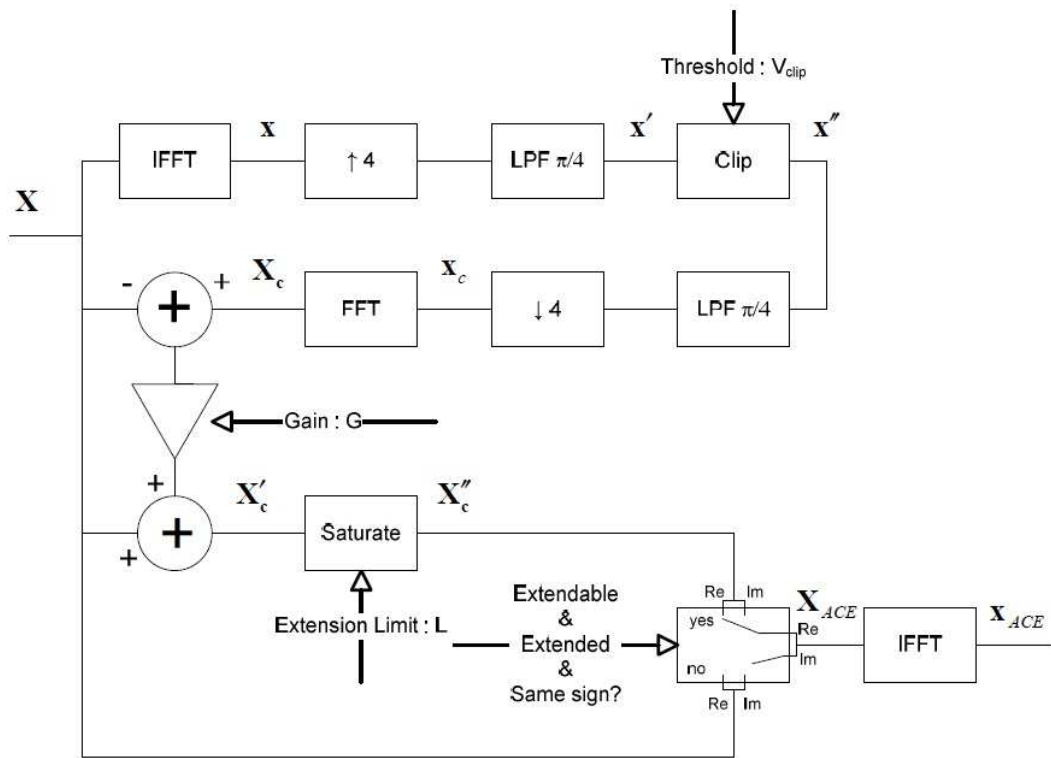


Figura 52: Implementazione della tecnica ACE. ^[32]

3.4 Trend dello standard DVB-T2

Il primo utilizzo dello standard DVB-T2 per uso commerciale si ha in Regno Unito nel Marzo 2010. A seguire, Italia, Svezia e Finlandia hanno adottato il nuovo standard tra la fine del 2010 e l'inizio del 2011.

Da settembre 2011, lo standard DVB-T2 è adottato ufficialmente anche da Russia, Colombia.

Attualmente, diversi stati africani stanno sperimentando le prime trasmissioni con questo nuovo standard. ^[46]

Il DVB-Project prevede che DVB-T e DVB-T2 per qualche tempo co-esisteranno, almeno finchè non saranno terminate le procedure di ASO (*Analogue Switch Off*) nei paesi europei. ^[35]

Per le nazioni che ora si affacciano sul mercato *broadcasting*, il DVB-Project prevede diverse possibilità di scelta, in base alle date previste di ASO e ai requisiti specifici del mercato in esame.

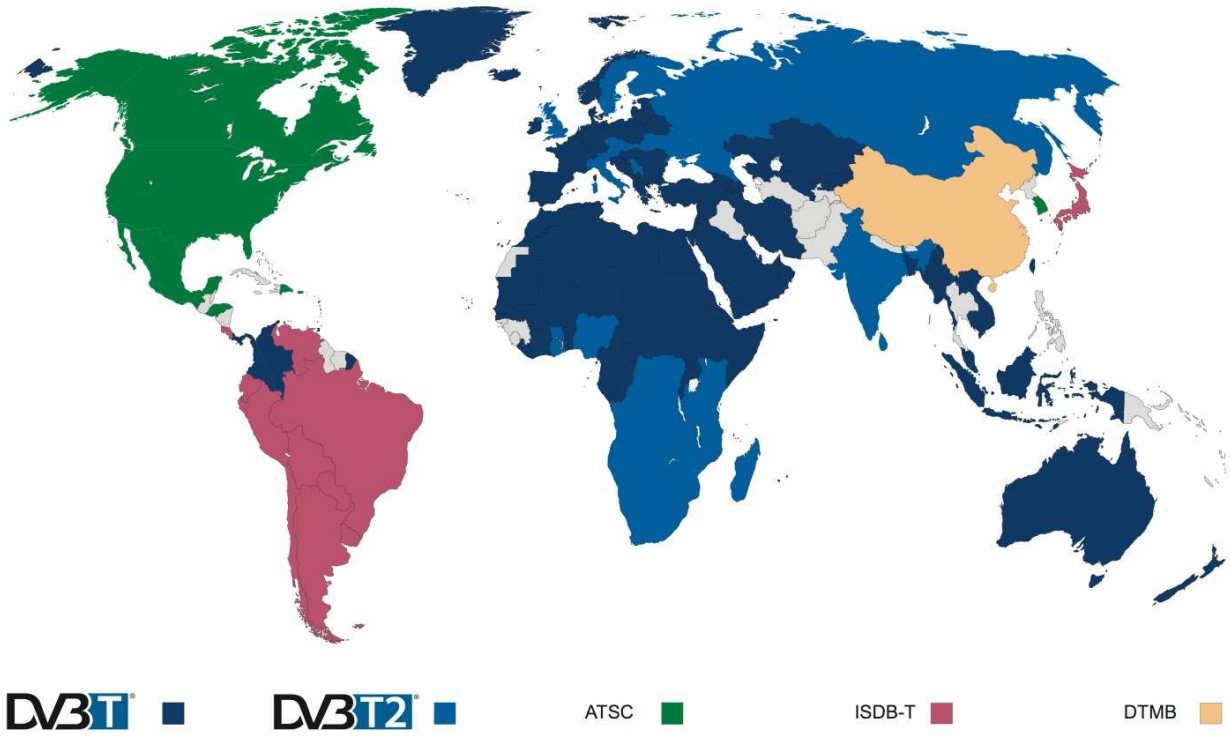
Lo standard DVB-T offre infatti un supporto più affidabile e un costo di ingresso (ad esempio il prezzo dei *receiver*) leggermente minore, rispetto ad un più performante e recente DVB-T2.

DVB-T2 appare comunque, in coppia con la nuova codifica di sorgente (H.264), la soluzione ottimale per sistemi che lavorano in HDTV.

Country	DTT launch	ASO status	Compression format	Current HD/DTT status	Future HD/DTT plans
United Kingdom	1998	2012	MPEG-2	Launch 2009	Yes – DVB-T2
Sweden	1999	Completed	MPEG-2 / MPEG-4	Trial services	TBC
Spain	2000/2005	2010	MPEG-2	Trial services	TBC
Finland	2001	Completed	MPEG-2	Launch 2010	Yes – DVB-T2
Switzerland	2001	Completed	MPEG-2	No	No
Germany	2002	Completed	MPEG-2	Trial services	TBC
Belgium (Flemish)	2002	Completed	MPEG-2	No	TBC
Netherlands	2003	Completed	MPEG-2	No	TBC
Andorra	2004	Completed	MPEG-2	No	TBC
Italy	2004	2012	MPEG-2 / MPEG-4	Launch 2009	Yes ¹
France	2005	2011	MPEG-2 / MPEG-4	Launch 2008	Yes – DVB-T
Czech Republic	2005	2011	MPEG-2	Trial services	TBC
Luxembourg	2006	Completed	MPEG-2	No	TBC
Denmark	2006	2009	MPEG-2 / MPEG-4	Launch 2009	Yes – DVB-T
Estonia	2006	2010	MPEG-4	Trial services	TBC
Austria	2006	2010	MPEG-2	No	TBC
Slovenia	2006	2011	MPEG-4	No	TBC
Norway	2007	2009	MPEG-4	Launch 2009	Yes – DVB-T
Malta (pay-DTT)	2007	2012	MPEG-4	No	TBC
Lithuania	2008	2012	MPEG-4	No	TBC
Hungary	2008	2011	MPEG-4	Launch 2008	Yes – DVB-T
Portugal	2009	2012	MPEG-4	Planned	Yes – DVB-T
Croatia	2009	2011	MPEG-2	No	TBC
Latvia	2009	2011	MPEG-4	No	TBC
Poland	2009	2013	MPEG-4	Trial services	Yes – DVB-T
Bulgaria	2009	2012	MPEG-4	No	TBC
Greece	2010	2012	MPEG-4	No	TBC
Ireland	2010	2012	MPEG-4	No	TBC
Slovakia	2010	2012	TBC	No	TBC
Romania	2010	2012	MPEG-4	No	TBC
Cyprus	2010	2012	MPEG-4	No	TBC

Source: DigiTAG

Figura 53: Status della trasmissione digitale in Europa. ^[44]



Digital Terrestrial Television Systems

Countries that have deployed or adopted DVB-T and DVB-T2 (including ITU RRC'06 Signatories and SADC Members). DVB and the DVB logo marks are registered trademarks of the DVB Project. October 2011

Figura 54: Adozioni di DVB-T, DVB-T2 o altri standard nel mondo. [46]

4 Indice dei nomi

4G	4th Generation
4-QAM	4-ary Quadrature Amplitude Modulation
16-QAM	16-ary Quadrature Amplitude Modulation
64-QAM	64-ary Quadrature Amplitude Modulation
256-QAM	256-ary Quadrature Amplitude Modulation
ACE	Active Constellation Extension
API	Application Programming Interface
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
ASO	Analogue Switch Off
AVC	Advanced Video Coding
BCH	Bose-Chaudhuri-Hocquengham code
BD-J	Blu ray Disc Java
BER	Bit Error Rate
BICM	Bit Interleaved Coding and Modulation
CHAIR	Chairman
CRIT	Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica
CM	Commercial Module
C/N RATIO	Carrier to Noise Ratio
C/N+I RATIO	Carrier to Noise + Interference Ratio
DFT	Discrete Fourier Transform
DTH	Direct to Home
DTT	Digital Terrestrial Television
DVB	Digital Video Broadcasting
DVB-C	Digital Video Broadcasting Cable
DVB-CPCM	Digital Video Broadcasting Content Protection and Copy Management
DVB-MC	Digital Video Broadcasting Multi Channel
DVB-MS	Digital Video Broadcasting Multi System
DVB-NIP	Digital Video Broadcasting Network Independent Protocols
DVB-RCS	Digital Video Broadcasting Return Channel Specification
DVB-S	Digital Video Broadcasting Satellite
DVB-SH	Digital Video Broadcasting Services to Handhelds
DVB-SUB	Digital Video Broadcasting Subtitles
DVB-T	DVB system for Terrestrial Broadcasting
DVB-TAM	DVB Technical Aspects of MHP
EBU	European Broadcasting Union
ELG	European Launching Group
EPG	Electronic Program Guide
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FEC	Forward Error Correction
FEF	Future Extension Frame
FFT	Fast Fourier Transform
GEM	Globally Executable MHP

GCS	Generic Continuous Stream
GFPS	Generic Fixed-length Packetized Stream
GSE	Generic Stream Encapsulation
HDTV	High Definition Television
IDTV	Interactive Digital Television
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IPTV	Internet Protocol Television
IRD	Integrated Receiver Decoder
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISIS	Interactive Satellite Information System
ISO-OSI	International Organization for Standardization - Open System Interconnection
ITU	International Telecommunication Union
JVM	Java Virtual Machine
LDPC	Low Density Parity Check
LTE	Long Term Evolution
MFN	Multi Frequency Network
MISO	Multiple Input Single Output
MHP	Multimedia Home Platform
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MISO	Multiple Input, Single Output
MOU	Memorandum Of Understanding
MPEG	Moving Pictures Experts Group
MSB	Most Significant Bit
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
OTT	Over The Top
PAPR	Peak to Average Power Ratio
PLP	Physical Layer Pipe
PSTN	Public Switched Telephone Network
PVR	Personal Video Recorder
QEF	Quasi Error Free
Q-PSK	Quadrature Phase Shift Keying
RF	Radio Frequency
SB	Steering Board
SDTV	Standard Definition Television
SFN	Single Frequency Network
TDM	Time Division Multiplex
TM	Technical Module
TR	Tone Reservation
TS	Transport Stream
UHF	Ultra High Frequency
VOD	Video On Demand

5 Indice delle figure

Figura 1: DVB-Project logo. ^[2]	5
Figura 2: EBU logo. ^[3]	5
Figura 3: i 7 layer del modello ISO-OSI. ^[4]	6
Figura 4: Organizzazione strutturale del DVB-Project. ^[5]	7
Figura 5: Alcune delle tecnologie del DVB-Project, successivamente approvate dall'ETSI. ^[6]	8
Figura 6: Le possibilità di interattività offerte dal Digital Broadcasting. ^[9]	9
Figura 7: Logo della piattaforma MHP. ^[48]	10
Figura 8: piattaforma MHP per il suo utilizzo più noto: contenuti multimediali nel <i>Digital Video Broadcasting</i> . ^[13]	10
Figura 9: Il modello di riferimento per la piattaforma MHP proposto da UNITEL. ^[14]	11
Figura 10: La realizzazione da parte del DVB-TAM del modello UNITEL. ^[14]	12
Figura 11: Requisiti hardware per diverse soluzioni <i>middleware</i> per lo standard DVB-T. (Studio congiunto Philips, Sony, Panasonic, Nokia) ^[16]	13
Figura 12: Variazione dei costi nel tempo per differenti soluzioni interattive. (Studio congiunto Philips, Sony, Panasonic, Nokia) ^[16]	14
Figura 13: Interazione tra il Core GEM, e i possibili target. ^[17]	15
Figura 14: <i>Core</i> comune GEM per diverse applicazioni. ^[17]	15
Figura 15: Suddivisione dello <i>switch off</i> analogico sul territorio italiano. ^[20]	16
Figura 16: Partizione degli standard televisivi in Italia. (Dati: Studio Frasi su dati Nielsen TAM,2011) ^[21]	16
Figura 17: Tipologie di ricevitori DTT in Italia, su un totale di 52.5 milioni. (Dati: Studio Frasi su dati Nielsen TAM,2011) ^[21]	17
Figura 18: Utilizzo piattaforme per consumo TV. ^[22]	17
Figura 19: Utenti " <i>Connected TV</i> ". ^[23]	18
Figura 20: Ricevitori DVB nel mondo (stime in milioni di pezzi). (Studio Screen Digest) ^[26]	19
Figura 21: Totalità dei ricevitori digitali nel mondo (2009). (Studio Screen Digest) ^[26]	19
Figura 22: Ascesa dei ricevitori DTT nel tempo. (Studio Screen Digest) ^[26]	20
Figura 23: Adozione dello standard DVB-T nel mondo. ^[5]	21
Figura 24: Sviluppo del lavoro sullo standard DVB-T2. ^[29]	23
Figura 25: Confronto caratteristiche DVB-T e DVB-T2. ^[33]	25
Figura 26: Un confronto alternativo tra DVB-T e DVB-T2. ^[29]	26
Figura 27: Avvicinamento al limite di efficienza di Shannon con il DVB-T2, rispetto a DVB-T. ^[36]	26
Figura 28: Profili e livelli della codifica MPEG-2. ^[38]	27
Figura 29: Nella seconda colonna i valori di <i>bit-rate</i> per il DVB-T, in base alle differenti modulazioni e <i>guard interval</i> indicati a sinistra. ^[40]	28
Figura 30 : Confronto della capacità di canale tra DVB-T e DVB-T2 in Italia (ambiente MFN). ^[43]	29
Figura 31: Confronto della capacità di canale tra DVB-T e DVB-T2 in Italia (ambiente SFN). ^[43]	29
Figura 32: Confronto della capacità di canale in United Kingdom (ambiente MFN). ^[44]	30

Figura 33: Schema a blocchi (<i>high level</i>) dello standard DVB-T2. ^[32]	31
Figura 34: Con PLP multiple stream diversi possono coesistere in uno stesso sistema fisico DVB-T2. ^[29]	32
Figura 35: Blocco di Input Processing per singola PLP. ^[32]	32
Figura 36: <i>Encoder</i> PRBS. ^[32]	33
Figura 37: Blocco BICM. ^[32]	33
Figura 38: Il FECFRAME (BBFRAME + codifiche BCH e LDPC). ^[32]	34
Figura 39: Esempio di bit <i>interleaving</i> per il FECFRAME, su una modulazione 16-QAM. ^[32]	34
Figura 40: BER per codici convoluzionali (rosso 64-QAM, blu 256-QAM) versus LDPC (viola 64-QAM, verde 256-QAM). ^[29]	35
Figura 41: De-multiplexing dei bit nelle substreams. ^[32]	35
Figura 42: Mappature di tipo Gray per modulazioni 4-QAM, 16-QAM, 64-QAM. ^[32]	36
Figura 43: Blocco Frame Builder. ^[32]	37
Figura 44: Blocco OFDM Generation. ^[32]	38
Figura 45: Andamento dello spettro del segnale trasmesso, per diversi indici di modulazione QAM. ^[32]	39
Figura 46: Struttura di un <i>super frame</i> , intervallato da FEF. ^[32]	40
Figura 47: struttura completa della trama, per lo standard DVB-T2. ^[29]	40
Figura 48: Effetto di fading elevato su costellazione 16-QAM convenzionale (DVB-T). ^[46]	41
Figura 49: introduzione di <i>rotated constellations</i> e successiva intelligibilità del segnale. ^[46]	42
Figura 50: Miglioramento sul BER grazie a costellazioni ruotate (blu), rispetto a costellazioni non ruotate (nero). ^[36]	42
Figura 51: Principio di funzionamento della tecnica ACE. ^[36]	43
Figura 52: Implementazione della tecnica ACE. ^[32]	44
Figura 53: Status della trasmissione digitale in Europa. ^[45]	45
Figura 54: Adozioni di DVB-T, DVB-T2 o altri standard nel mondo. ^[47]	46

6 Bibliografia

- [1] DVB Project Office, "DVB-MoU-2011.pdf," [Online]. Available: <http://www.dvb.org/documents/DVB-MoU-2011.pdf>. [Accessed 2011].
- [2] [Online]. Available: http://www.dvb.org/logos_identifiers/.
- [3] 2011. [Online]. Available: <http://www.ebu.ch/>.
- [4] "Il modello ISO-OSI," [Online]. Available: http://digilander.libero.it/nemesis2001/source/Il_modello_ISO_OSI.html. [Accessed 2011].
- [5] DVB Project Office, "DVB-Project_Factsheet.pdf," [Online]. Available: http://www.dvb.org/technology/fact_sheets/DVB-Project_Factsheet.pdf. [Accessed 2011].
- [6] ETSI, "BroadcastStandards.pdf," [Online]. Available: <http://www.etsi.org/WebSite/document/Technologies/LEAFLETS/BroadcastStandards.pdf>. [Accessed 2011].
- [7] U. Reimers. [Online]. Available: http://www.dvbworld.org/profiles/profile_UlrichReimers.htm. [Accessed 2011].
- [8] U. Reimers, "Digital Video Broadcasting (DVB); A Guideline for the Use of DVB Specifications and Standards," 2000.
- [9] M. Cominetti, "La televisione digitale terrestre: un'opportunità per il nostro paese," *Elettronica e Telecomunicazioni*, no. 1, 2002.
- [10] "History of the DVB-Project," [Online]. Available: http://dvb.org/about_dvb/history/. [Accessed 2011].
- [11] DVB-Project, "DVB SB Approves Work on 3DTV and RCS2," [Online]. Available: http://www.dvb.org/news_events/news/sb-approves-3-important-d/index.xml. [Accessed 2012].
- [12] Philips, "The Implementation and deployment of the DVB Multimedia Home Platform for interactive DigitalTV - White Paper," [Online]. Available: www.mhp.philips.com. [Accessed 2011].
- [13] "MediaPortal Sky EPG," [Online]. Available: <http://forum.team-mediaportal.com/general-development-no-feature-request-here-48/sky-uk-uk-freesat-epg-43261/index110.html>. [Accessed 2011].
- [14] J.-P. Evain, "The Multimedia Home Platform – an overview," *EBU Technical Review*, vol. Spring, 1998.
- [15] J. Piesing, "Get Smart," *DVB Scene*, no. 15, 2005.
- [16] Philips, Sony, Panasonic, Nokia, "The Costs of MHP in television receivers - a white paper," 2003.
- [17] DVB Project Office, "DVB-GEM_Factsheet.pdf," [Online]. Available: http://www.dvb.org/technology/fact_sheets/DVB-GEM_Factsheet.pdf. [Accessed 2011].
- [18] "NewsBlog: all the latest news about MHP & GEM," [Online]. Available: http://new.blog.mhp.org/?page_id=240. [Accessed 2011].
- [19] E. Lamberti, "MHP in Italy," *DVB Scene*, no. 15, 2005.
- [20] [Online]. Available: <http://www.dgtvi.it/>. [Accessed 2011].
- [21] Advanced Television, "DTT the most widely used platform in Italy," [Online]. Available: http://www.dvb.org/about_dvb/dvb_worldwide/italy/. [Accessed 2011].
- [22] Studio Frasi, "Utilizzo piattaforme per consumo TV," 2011.
- [23] Digital Monitor, "Wave 2/2011 principali evidenze," 2011. [Online]. Available:

- <http://www.dgtvi.it/upload/1317122589.pdf>. [Accessed 2011].
- [24] A. Sassano and C. Combini, "Beauty Contest: ecco come trasformarlo in soluzione win-win," [Online]. Available: http://www.corrierecomunicazioni.it/news/85797/beauty_contest_ecco_come_trasformarlo_in_soluzione_winwin. [Accessed 2011].
- [25] *Decreto Omnibus - Art.4: razionalizzazione dello spettro radioelettrico*, 2011.
- [26] Screen Digest, ""The Global Transmission Market: A Screen Digest report for DVB," 2010.
- [27] B. Keen, "Terrestrial Still Dominates," *DVB Scene*, no. 37, 2011.
- [28] DIGITA, "Switch Off di Londa per aprile 2012," *DIGITA*, no. 29, 2011.
- [29] G. Russo and P. Talone, "Nuove piattaforme di diffusione dei media digitali: DVB-T2 l'alta definizione sul digitale terrestre," [Online]. Available: http://www.fub.it/files/DVB_T2.pdf. [Accessed 2011].
- [30] AA.VV., "La seconda generazione del DVB terrestre: DVB-T2," *Sistemi Integrati - Tv Digitale*, no. 4, 2009.
- [31] DVB Project Office, "Commercial Requirements for DVB-T2," [Online]. Available: http://www.dvb.org/technology/dvbt2/a114.cm0831r1.CRs_DVB-T2.pdf. [Accessed 2011].
- [32] ETSI, "Digital Video Broadcasting (DVB); Frame Structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)," [Online]. Available: http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302700_302799/302755/01.01.01_60/en_302755v010101p.pdf. [Accessed 2011].
- [33] DVB Project Office, "DVB-T2_Factsheet.pdf," [Online]. Available: http://www.dvb.org/technology/fact_sheets/DVB-T2_Factsheet.pdf. [Accessed 2011].
- [34] S. M. Alamouti, "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communication," *IEEE JSAC*, vol. 16, pp. pp. 1451-58, Ottobre 1998.
- [35] DVB Project Office, "Standards & Technology: DVB-T2," [Online]. Available: <http://www.dvb.org/technology/dvbt2/>. [Accessed 2011].
- [36] ETSI, "Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation Guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)," [Online]. Available: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102800_102899/102831/01.01.01_60/ts_102831v010101p.pdf. [Accessed 2011].
- [37] ITU, "BT.601: Encoding parameters of digital television," [Online]. Available: <http://inst.eecs.berkeley.edu/~cs150/Documents/ITU601.PDF>. [Accessed 2011].
- [38] A. Morello, V. Mignone and P. Sunna, "Segnali televisivi digitali: standard di codifica e trasmissione," *Mondo Digitale*, no. 1, marzo 2005.
- [39] V. Mignone, A. Morello and M. Visintin, "Lo standard DVB-T per la televisione digitale terrestre," *Elettronica e Telecomunicazioni*, no. 1, 2002.
- [40] ITU, "ISO/IEC 14496-10," 2004. [Online]. Available: <http://jongyeob.com/moniwiki/pds/upload/14496-10.pdf>. [Accessed 2011].
- [41] D. Marpe, T. Wiegand and G. J. Sullivan, "The H.264/MPEG4 Advanced Video coding Standard and its Applications," *IEEE Communications Magazine*, no. August, 2006.
- [42] V. Mignone, A. Morello, G. Russo and P. Talone, "DVB-T2: la nuova piattaforma di diffusione della TV digitale terrestre," Dicembre 2008. [Online]. Available: <http://www.crit.rai.it/eletel/2008-3/83-3.pdf>. [Accessed 2011].
- [43] Ofcom, "The Future of Digital Terrestrial Television - Enabling new services for viewers," 2007. [Online]. Available: <http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/dttfuture/summary/dttfuture.pdf>. [Accessed 2011].

2011].

- [44] DigiTAG, "Understanding DVB-T2: Key technical business, & regulatory implications," 2009. [Online]. Available: http://www.digitag.org/DTTResources/DVB-T2_Handbook.pdf. [Accessed 2011].
- [45] C. Douillard, "Rotated Constellations: A new diversity technique for DVB-T2," *DVB Scene*, no. 36, 2010.
- [46] DVB Project Office, "DVB Worldwide," [Online]. Available: http://www.dvb.org/about_dvb/dvb_worldwide/DVB-T_map.jpg. [Accessed 2011].
- [47] [Online]. Available: <http://www.mhp.org/>. [Accessed 2011].
- [48] P. Tudor, "MPEG-2 Video Compression," [Online]. Available: http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/papers/paper_14/paper_14.shtml. [Accessed 2011].
- [49] M. Barbero and N. Sphuza, "Advanced Video Coding (AVC - H.264): il prossimo futuro," *Elettronica e Telecomunicazioni*, Aprile 2003.
- [50] K. McCann, "Review of DTT HD Capacity Issues - An Independent Report from ZetaCast Ltd Commissioned by Ofcom," 2007. [Online]. Available: <http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/dttfuture/annexes/report.pdf>. [Accessed 2011].
- [51] ETSI, "Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for the use of Video and audio Coding in Broadcasting Applications on the MPEG-2 Transport Stream," 2009. [Online]. Available: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/101100_101199/101154/01.09.01_60/ts_101154v010901p.pdf. [Accessed 2011].
- [52] ITU, "ISO/IEC 13818-2," 1995. [Online]. Available: <http://cutebugs.net/files/mpeg-drafts/is138182.pdf>. [Accessed 2011].
- [53] G. Barbieri, "Gli standard DVB: dalla TV generalista ai servizi multimediali interattivi," *Elettronica e Telecomunicazioni*, no. 3, 2004.
- [54] DVB Project Office, "The DVB-T2 Reference Streams," [Online]. [Accessed 2011].

