



V Seminario

2 aprile 2008

Tecnologie DVB di seconda generazione: DVB-S2, DVB-T2, DBV-SH

Sezione III : DVB-T2

di Alberto Morello, Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica RAI

3 DVB-T2

Passiamo ora al secondo sistema, il DVB T2.

T2 è nato come study mission DVB sotto forte pressione della BBC e dell'Inghilterra che pensano di lanciare l'alta definizione sui canali terrestri a partire dal 2009.

La road map per il T2 è stata:

- a. giugno del 2007 lancio della "Call for Technology" e relative proposte;
- b. 15 giorni fa nell'ultima riunione DVB approvazione dello standard nelle sue linee principali;
- c. giugno di quest'anno prevista l'approvazione definitiva del modulo tecnico ed invio di mandarlo allo Steering Board del DVB per l'approvazione.
- d. Laboratory Test & Field trial nel corso del 2008/ 2009;
- e. sviluppo dei VLSI anche fino a fine 2009;
- f. lancio dei servizi HD all'inizio del 2010.

Il primo step, nel modo di operare del DVB, è sempre quello di definire dei commercial requirement. Per il DVB T2 sono state fatte molte discussioni perché inizialmente sembrava che l'Inghilterra volesse utilizzare entrambe le polarizzazioni, al fine di raddoppiare la capacità dei canali terrestri. Poi, dopo vari dibattiti, è stato deciso che il DVB T2

è un sistema per l'HD ma cerca di utilizzare gli impianti di ricezione attuale. Ovviamente la razionalità di questo è che il digitale terrestre dal punto di vista economico non ha molte giustificazioni, se non quelle derivando dall'installato di impianti riceventi. Per esempio in nazioni come l'Inghilterra e come l'Italia dove gli impianti di ricezione in tutte le case sono diffusi e sono terrestri, lanciare servizi su terrestre dà un forte vantaggio competitivo all'operatore.

Dal punto di vista di costi di rete, invece, un satellite costa un fattore 10 meno rispetto al digitale terrestre. Una rete satellitare costa 4 milioni di €, una rete digitale terrestre richiede degli investimenti di centinaia di milioni di euro.

Pertanto nei requisiti commerciali, vedi Fig. 19, si è deciso di mantenere impianti di ricezione attuale e quindi è stato cancellato requisito del "cross polar". Principalmente i servizi sono orientati alla ricezione fissa come seconda priorità a quella portatile con antenna baffo, quindi statica ma portatile, è quello che riceviamo nelle cucine. Terza priorità ricezione portatile in auto, quindi mobilità .

L'ultima priorità è fare un sistema che potrebbe essere sfruttato per il DVB NGH ("Next Generation Handheld") di cui si è detto all'inizio,. Però diciamo che questa sarà una nuova battaglia, non è detto che, come il T è stato la base

per il DVBH, non è sicuro al 100% che il T2 sarà la base per l'NHG, quindi sarà una nuova gara, una nuova competizione di tecnologie.

Si pensa a future estensioni con la ricezione DVBH su doppia polarizzazione però il sistema attuale non è in grado di fornirlo.

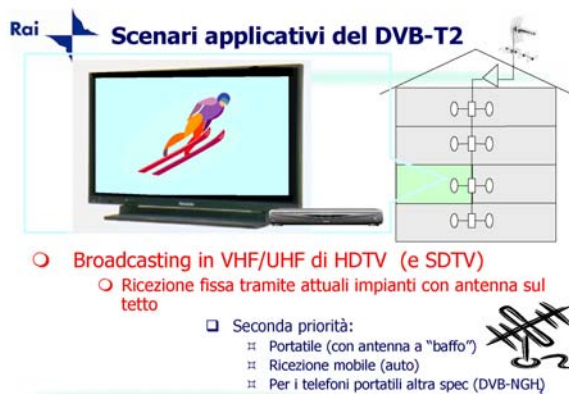


Figura 19

Il guadagno di capacità, come obiettivo di progetto, era di nuovo 30 % perché il solo FEC offre questo 30% di guadagno.

Il problema fondamentale è la compatibilità.

Se vogliamo dei sistemi che diano dei grandi guadagni, non devono essere compatibili. Il DVB S2 ha anche un profilo compatibile ma nessuno lo usa, perché tutto il guadagno del 30% che è possibile ottenere facendo un sistema completamente nuovo, viene perso quando cerchiamo di essere compatibili. Tutti i discorsi dei gerarchici, gran belle idee, grande entusiasmo nei centri di ricerca e nelle università, ma poi in pratica non sono utilizzati. Quindi nel sistema T2 si è abbandonato il concetto di compatibilità ,pertanto i nuovi decoder non saranno compatibili con i decoder vecchi. I vecchi decoder non riceveranno il T2, i nuovi decoder, visto che la complessità del T2 è parecchie volte maggiore di quella del T, sicuramente avranno un angolo del cip che decodifica il DVB T. Su questo non c'è dubbio. Quindi la compatibilità dei nuovi decoder ci sarà . La compatibilità in avanti dei vecchi decoder non ci sarà assolutamente.

Le altre compatibilità sono con i siti trasmettenti attuali, con gli impianti riceventi attuali, come ho detto su polarizzazione singola, con la pianificazione di Ginevra. Quindi ci sarà la stessa maschera spettrale, stessi o migliori rapporti di protezione, guadagni su rumore impulsivo 10 db meglio dell'attuale DVB T, maggiore distanza dei trasmettitori in SFN. Si parla anche di distanze fino a 80 km.

3.1 I vantaggi in sintesi

Allora, dov'è che si poteva migliorare fortemente rispetto al DVB T?

Ho già detto che la codifica FEC dà il 25-30%.

Seconda cosa: abbiamo potuto giocare sulle portanti OFDM. Il DVB T ha fino a 8 k portanti. Per il T2 si potrà andare fino a 32 k.

Il guadagno di aumentare il numero delle portanti come vedremo dopo è quello di poter ridurre il peso dell'intervallo di guardia.

Sapete che sul DVB T si ha fino al 20% di capacità persa in SFN sull'intervallo di guardia; DVB T2 si può scendere al 5%. Terzo elemento di perdita sul DVBT erano le portanti pilota. C'era una sola configurazione di portanti pilota. Nel T2

invece abbiamo graduato la configurazione di portanti pilota in base all'intervallo di guardia e c'è anche un modo quasi senza portanti pilota. Questa era un'idea che avevamo già lanciato al tempo del DVB T, però ci avevano detto che eravamo arrivati troppo in ritardo e non ci avevano permesso di metterlo nel primo standard. Adesso, nello standard nuovo, questo è considerato.

3.2 PAPR

L'ultima importante tecnologia è quella di riduzione del PAPR (Peak to Average Power Ratio), cioè dell'inviluppo del segnale. Come sapete l'OFDM è un segnale tipicamente a inviluppo gaussiano; se lo guardate nel dominio del tempo non è altro che rumore. Non come il QPSK che ha quel bell'inviluppo costante e permette di saturare gli amplificatori. Allora per non distorcere l'OFDM bisogna tenere gli amplificatori tipicamente 6 o 8 dB sotto la soglia di saturazione. Se no si alzano le spalle dello spettro e quindi interferiamo sui canali vicini, e poi si genera un'interferenza all'interno delle costellazioni e quindi peggiora quello che si chiama il MER (Modulation Error Rate).

Con il sistema DVB T2 ci sono dei sistemi tecnici per controllare l'inviluppo. Non si riesce ovviamente a saturare gli amplificatori ma si cerca di non avere più ampi picchi di inviluppo.

3.3 Time Frequency Slicing

Ci sono anche delle innovazioni più rivoluzionarie che ho messo alle fine delle slide perché temo che non avremo tempo di raccontarle. Sono però sono interessanti, quindi ne citiamo rapidamente qualcuna:

Una si chiama "Time Frequency Slicing" e permette di accoppiare più canali a radio frequenza. È come avere molti tubi a livello di radio frequenza, uno sul canale 26 e uno sul canale 28, uno sul canale 52 ed avere un unico multiplex statistico. Visto che stiamo parlando di HD e quindi su un unico canale a radiofrequenza si possono mettere pochi programmi (ce ne stanno 2, 3 o 4 al massimo), poter mettere insieme tanti canali in radio frequenza è un'idea malsana ma interessante. Ma la cosa ancora più interessante è che sarebbe possibile avere un ricevitore con un unico tuner che salta in frequenza e va a prendersi Rai1 sui 4 o 5 canali dove è stato messo. Allora, questa è stata

definita dal DVB un'idea interessantissima per un mondo ideale. Perché sapete, è difficile avere delle reti SFN che abbiano esattamente la stessa copertura su tutti i canali. Nel mondo reale non è molto facile ottenerle, quindi quest'idea malsana è finita in un'appendice della norma con soprascritto optional. Quindi sarà per una nuova generazione.

3.4 Antenne multiple

E poi ci sono le tecnologie che vanno molto di moda nei sistemi wireless, sono illustrate nelle Fig. 20, 21 e 22 e vengono chiamate MIMO, cioè è possibile trasmettere da antenne multiple in trasmissione e ricevere con antenne multiple in ricezione. C'è un sistema base per far questo anche nel T2, si chiama sistema di Alamouti. Anche su questo credo che non ho tempo di andare nei dettagli.

Rai  **Le tecniche SIMO, MISO, MIMO**

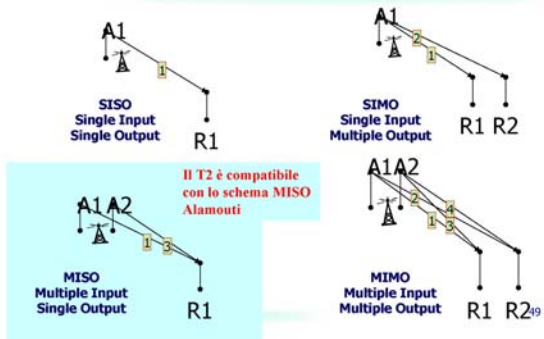
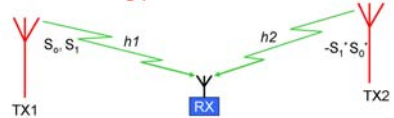


Figura 20

Rai  **Diversità in trasmissione (1)**

T2 offre la codifica di Alamouti nel dominio della frequenza:

- MISO da torre singola
- MISO da coppie di TX in SFNs (distributed Alamouti)
- Questo evita il "fading piatto" al ricevitore



TX₁ trasmette coppie di celle S_0, S_1 , TX₂ trasmette $-S_1^*, S_0^*$
Le pilota sono modificate (incrementate) per misurare h_1 e h_2

- Studi iniziali di pianificazione indicano guadagni di copertura potenziali in SFN fino al 30%

Figura 21

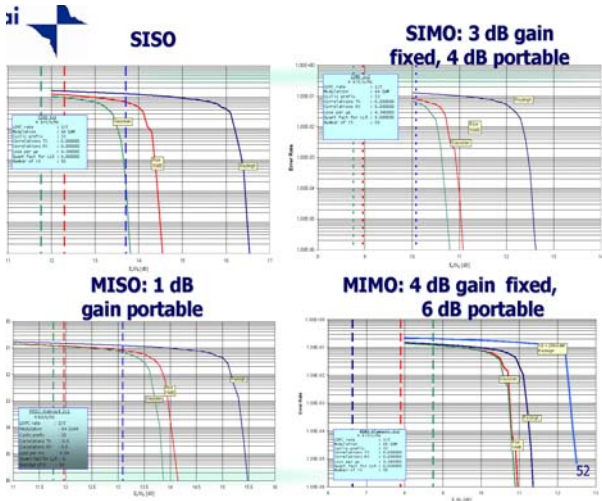


Figura 22

3.5 Multipipe

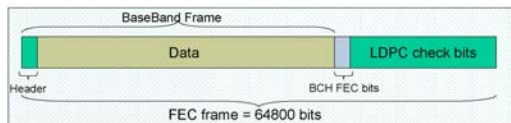
Ritornando ora allora alla filosofia del DVB T2, come vi dicevo è stato salvato il concetto di famiglia di standard, un po' anche per colpa mia che ho cercato di dire: riusciamo dell'S2 tutto il possibile anche nel T2. Quindi viene ancora usato quel concetto di multipipe dove ciascun pipe di dati è protetto in modo indipendente, ha un interleaving indipendente, ha un "Baseband Frame" fatto con questi FEC di codici LDPC da 64 mila bit, tutto questo è stato conservato nel T2 e viene mostrato in Fig. 23 e 24.

Abbiamo ridotto un po' il numero di rate del codice perché, occupandoci di trasmissione fissa di alta definizione, per esempio coderate con alta protezione ed overhead (un quarto, un terzo) non servivano. Viceversa coderate troppo basso overhead e protezione (otto noni o nove decimi) davano delle prestazioni troppo scadenti sull'OFDM.

Questa è la slide che vi avevo fatto vedere prima e che riguarda la protezione differenziata dei vari tubi. È stato mantenuto questo concetto di cancellazione e reinserimento di pacchetti nulli e di sincronizzazione di ciascuno stream per evitare il Jitter.

Rai  **Il concetto di Famiglia di Standard:
BB-Frame e codici LDPC ereditati dall'S2**

I BaseBand-Frame sono protetti dal codice LDPC ereditato dall'S2, concatenato con un codice BCH per evitare gli "error floor" ad alti C/N



Rate (ridotti rispetto a DVB-S2): 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6

- E' anche disponibile un FEC-frame corto (16200 bit) per servizi dati a basso bit-rate (ottenendo una minore latenza al costo di prestazioni C/N peggiori)

7

Figura 23

Rai  **T2/S2 BB-Frames**

Meccanismo per "synchronisation& jitter removal" basato su "time-stamp" ereditato dall' S2 (sviluppato dal CRIT)

- Cancellazione/re-inserimento Null-Packet TS
- Input Stream Synchronisation (ISSY)

Baseband Header

- Trasporta informazioni sull'adattamento dei pacchetti esterni (es: TS) ai formati interni DVB
- Compatibile con MPEG-TS e GSE (adattamento diretto IP su DVB)
- 2 tipi di BB-header
 - S2-compatible mode
 - Nuovo: high-efficiency mode (riduce l'overhead dell' 1%)

9

Figura 24

3.6 Costellazioni

Per le costellazioni abbiamo utilizzato quelle che c'erano già nel DVBT, cioè il QPSK, il 16 QAM e il 64 QAM, (vedi Fig. 25) ma ne abbiamo aggiunto una che è 256 QAM e che trasporta 8 bit per simbolo (vedi Fig. 26).



Costellazioni

Il DVB-T offriva: QPSK, 16QAM, 64QAM

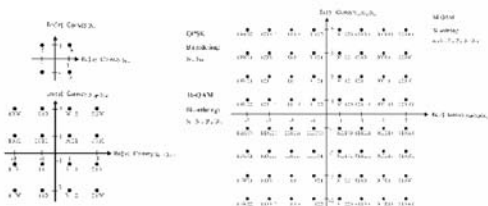


Figura 25



Il T2 aggiunge il 256QAM

- Trasporta 8 bit/costellazione
- Associata alla maggiore "potenza" del codice LDPC, permette efficienze spettrali maggiori
- Le simulazioni indicano che non si dovrebbero riscontrare problemi di rumore di fase



Figura 26

3.7 Costellazioni ruotate

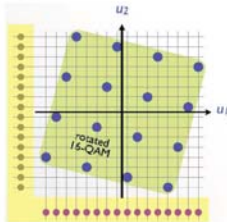
Le costellazioni ruotate, illustrate in Fig. 27 e 28. Quelle costellazioni non sono più trasmesse dritte ma sono trasmesse ruotate. Perché?

ammazzano alcune portanti. Quando una portante è uccisa, ahimè, perdo tutti i 6 bit, quando ho un 64 QAM, 8 bit quando trasmetto in 256 QAM.



Le costellazioni ruotate (1)

Problema OFDM: quando il **fading selettivo** (eco a 0 dB) in frequenza cancella una portante, si perdono $\ln(N)$ bit contemporaneamente: solo il FEC può recuperarli. Se il code-rate è elevato (es: 5/6), elevata "perdita" di C/N



1. I dati sono mappati su una normale costellazione (es: 16-QAM): l'asse I porta 2 bit, l'asse Q gli altri 2 bit
2. La costellazione viene ruotata: ciascun asse (I,Q) porta informazioni di tutti i 4 bit

12

Figura 27

Sapete che l'OFDM, specialmente quando siamo in SFN, subisce un fading selettivo. Cioè abbiamo dei buchi che mi



Le costellazioni ruotate (2)



Costellazione trasmessa

3. L'asse I di una costellazione viene "sposato" con l'asse Q di un'altra costellazione (celle diverse): la costellazione trasmessa diventa $16 \times 16 = 256$
4. Le celle sono disperse nel tempo e nella frequenza dagli interleaver in modo diverso
5. Quando una portante OFDM è cancellata dal fading sul canale, si cancella solo l'asse I o solo l'asse Q della costellazione originale, e l'asse "sopravvissuto" trasporta ancora informazioni su tutti 4 i bit
6. I de-interleaver ricostruiscono nel ricevitore la costellazione 16QAM originale

13

Figura 28

Quindi all'interno del mio codice FEC gruppi di 8 bit vengono ammazzati. Visto che ho tante portanti, vorrei non perderle tutte ma perderne solo una parte allora cosa faccio?

Ovviamente se il coderate è molto basso, cioè se ho un codice rate due terzi, il codice mi permette molto bene di recuperare questi bit persi. Però vorrei poter usare anche dei coderate tipo cinque sestimi, in questo caso ho solo un bit di ridondanza ogni 5 utili.

Allora il codice non riesce più a mediare sulle portanti OFDM. Quindi cerco di fare un gioco all'interno delle mie costellazioni. Supponiamo, faccio l'esempio del 16 QAM. Un'asse I che porta 2 bit e un'asse Q che porta 2 bit. Si usa la costellazione messa dritta, non ruotata e metà dei bit sull'asse I son nascosti perché i bit sulla costellazione sono tutti in fila. Quindi sull'asse I vedo solo 2 bit, sull'asse Q vedo solo gli altri 2 bit. Se ruoto la costellazione cosa succede? Che sia sull'asse I che sull'asse Q vedo la proiezione di tutti i bit perché mi vengono fuori 16 punti su I e 16 punti su Q. quindi ciascuna costellazione o tutta l'informazione. Ovviamente su ciascun asse serve un rapporto C/N maggiore perché i punti sono molto più vicini. L'asse I di una costellazione e l'asse Q vengono sposate attraverso un interleaver. Cioè io prendo la I di una costellazione e la sposo con Q di un'altra costellazione e poi genero una costellazione nuova. Da un 64 QAM mi salta fuori un 256 QAM. Non vi dico cosa esce da un 256 QAM,

se si andasse a controllare, un analizzatore di costellazioni non vede più nulla. Siam tornati al mondo dell'analogico.

Poi vado sull'interleaver. Vedremo dopo che il sistema T2 ha degli interleaver molto complessi, di tempo, di bit, di frequenza, etc; li mescolo tutti nel tempo e nella frequenza. Quando una portante è cancellata dal fading selettivo ed ammazzo I e Q, è molto improbabile che due portanti che avevano la I e Q provenienti da una costellazione siano ammazate allo stesso tempo. Quindi tipicamente ammazzo solo I o ammazzo solo Q. Quando poi faccio il de-interleaver, non ho più questa costellazione che vedete lì, ma ho di nuovo la costellazione ruotata, quindi dopo il de-interleaver vedo nuovamente questa costellazione.

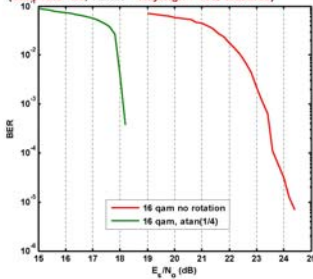
A questo punto se guardo la proiezione del rumore non è più una gaussiana a stampo circolare ma un'ellisse perché sulla portante quella ammazzata ho tantissimo rumore, degli assi trasversali, ma sull'altro asse ho tipicamente un rapporto segnale rumore migliore e quindi alla fine ho delle costellazioni più robuste.

Per esempio, nella Fig. 29 si vede una situazione limite: con un coderate 4/5 con un rayleigh + 15% di region, questo è un canale pessimo, terribile, ho ottenuto anche dei guadagni di 5 db di rapporto segnale rumore.



Le costellazioni ruotate (3)

Confronto delle prestazioni delle costellazioni ruotate/non-ruotate
(code rate=4/5; canale = Rayleigh + 15% erasures)



Le costellazioni ruotate:

- non danno degradamenti su canali non selettivi (AWGN)
- Sono significativamente più robuste con echi selettivi (fino a 5 dB su canali difficili)
 - e.g. perdita del 15% delle celle

14

Figura 29

La curva rossa è quella senza la rotazione, la curva verde è quella con la rotazione. La complessità è solo che invece di dover decodificare in una dimensione I e Q, ho bisogno di un de-mapper bidimensionale il che non è una cosa complessissima, rispetto all'LBCE è ancora una cosa marginale.

3.8 Modulazione OFDM

Allora, torniamo a cose più convenzionali, abbiamo di nuovo l'OFDM, vedi Fig. 30, con l'intervallo di guardia.

Guardando Fig. 31, però, si vede che uso non solo l'8 k, ma vado fino a 16 k e 32 k. Il 16 k c'è ancora nella specifica, però se dimostreremo che il Face Noise non ci dà fastidio si spera nel corso di quest'anno di cancellare

16 k perché è una specie di cosa intermedia che abbiamo lasciato come ancora di salvezza se il Face Noise desse troppi problemi. Ovviamente aumentando il numero di portanti, aumenta la durata del simbolo. Quindi in un 32 k di simboli da 4 millisecondi, il Face Noise fa tremare la costellazione per 4 millisecondi invece che per 1 millisecondo, quindi potrebbe avere un impatto maggiore. Le prime simulazioni sembra che non diano problemi. Allora, ovviamente al crescere del simbolo, a parità di intervallo di guardia, si riduce l'overhead di quest'ultimo.

Quindi se prima avevamo un intervallo di guardia di 200 microsecondi, per una rete SFN e pesava del 25%, adesso con il 32 k pesa solo più del 6%, quindi abbiamo guadagnato molto in overhead.

Rai

Modulazione OFDM

- Come il DVB-T, T2 utilizza l'OFDM con Intervallo di Guardia (GI-OFDM)
- GI "assorbe" l'interferenza intersimbolica generata dagli echi di propagazione

Ogni simbolo trasporta i dati su un gran numero di portanti

- 1K, 2K, 4K, 8K, 16K, 32K disponibili nel T2
 - 16K e 32K: minore overhead del GI in SFN
 - 1K permette di ridurre la banda (es: 1.7 MHz) in modo flessibile
- Al crescere del numero di portanti aumenta il periodo del simbolo (1 ms per 8K;...; 4 ms per 32K)
- Gli studi attuali sembrano indicare che il rumore di fase sia controllabile anche per il 32k

15

Figura 30

Rai

Intervallo di Guardia

Aumentare la durata del simbolo

- riduce l'overhead del GI per una data dimensione dell' SFN (distanza dei trasmettitori)
- permette di aumentare la distanza dei trasmettitori a parità di overhead del GI

GI	8K symbol	25% overhead; $T_G=224 \mu s$ (SFN: circa 70 Km)
GI	32K symbol	~6% overhead

Il T2 aumenta la flessibilità del $GI=T_G/T_U$:
 1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4

16

Figura 31

3.9 Banda estesa

Un altro modo interessante è che col 32k facendo l'FFT su più portanti, le shoulders (spalle n.d.r.) illustrate in Fig. 32, del mio spettro son più ripide, quindi sono riuscito ad allargare un po' il lobo principale a parità di interferenza sui

canali vicini. 2%, solo qualche portante in più che magari mi giocherò per il PAPR (riduzione dell'involuppo).

Magari tengo la stessa efficienza spettrale ma mi gioco quelle portanti per fare altre cose.

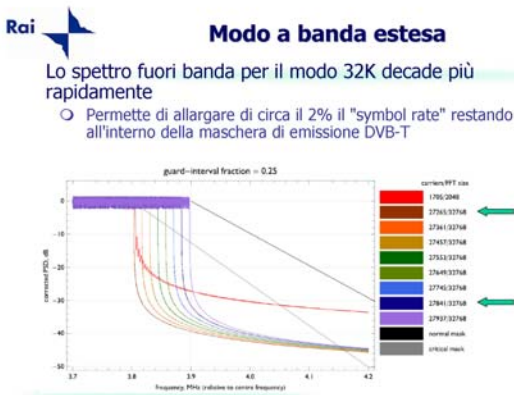


Figura 32

3.9.1 Portanti pilota

La Fig. 33 spiega quel'è l'effetto degli echi su un canale, questo è un eco a 0 dB e quello è lo spettro, vedete i buchi che mi attenuano alcune costellazioni.

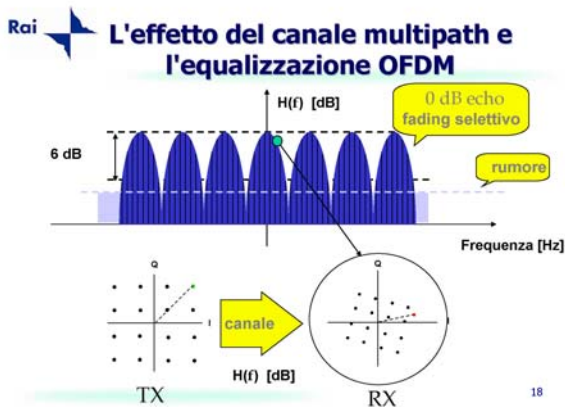


Figura 33

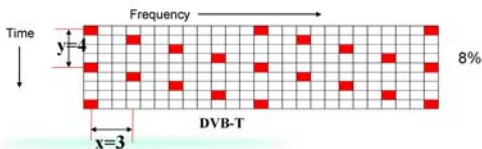
Per poter equalizzare il canale, per fare la demodulazione devo poter stimare questa $H(\Omega)$ e poi fare l'inverso portante per portante per rigenerarmi la costellazione dritta.

disegnino, era l'8% di capacità buttata via. Chiaramente buttare via l'8% della capacità per trasmettere dei simboli noti è un vero spreco.

Rai Le portanti pilota (scattered) (1)

Sono portanti OFDM conosciute a priori dal ricevitore (modulo e fase)

- Il ricevitore le utilizza per ottenere una **stima della risposta in frequenza del canale** (e seguire le sue variazioni nel tempo)
 - In DVB-T, 1 cella su 12 è una pilota "scattered"
 - 8% overhead
- Sono indipendenti da GI e FFT



19

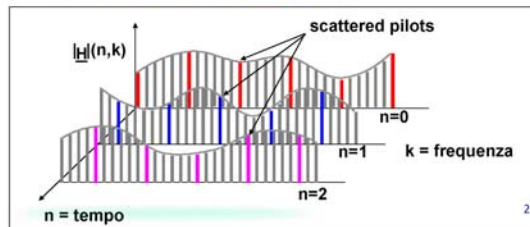
Figura 34

Per far questo il DVBT utilizzava quelle che si chiamavano le Scattered Pilot, vedi Fig. 34. Queste Scattered Pilot nel DVBT avevano una configurazione unica per ogni intervallo di guarda, cioè c'erano solo queste, le vedete sopra come

Rai La stima di H

Il ricevitore:

- calcola la stima di $H = R/U$ (R =simbolo ricevuto, U =simbolo trasmesso) sulle pilota
- interpola nel dominio del tempo per aumentare la densità del campionamento nella frequenza (indicato con x):
 - per teorema campionamento: $1/x > GI$



20

Figura 35

A cosa servono? Prima si aspettavano 4 simboli, dopo aver ricevuto 4 simboli interpolavo nel dominio della frequenza, ottenevo, come vedete in Fig. 35 nel dominio della frequenza, una ogni 3 dopo l'interpolazione, A questo punto

potete servire un intervallo di guardia al massimo di $1/4$. è importante per il teorema del campionamento che devono essere sempre più fitte le portanti rispetto al rapporto dell'intervallo di guardia.

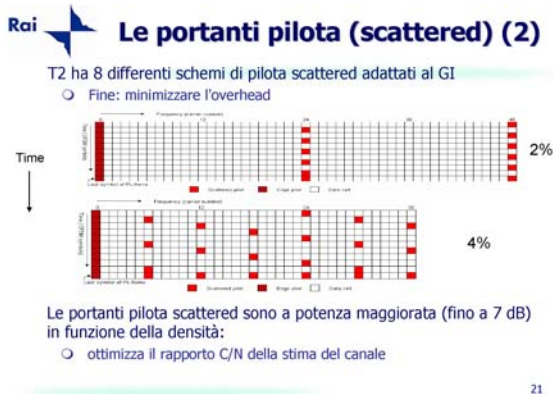


Figura 36

Quindi $1/x$ che è questa distanza che nella frequenza delle portanti pilota dopo interpolazione deve essere maggiore dell'Intervallo di Guardia.

Sul T2 abbiamo cercato di dosare invece le portanti pilota in modo esatto rispetto all'intervallo di guardia. Quindi ci sono 8 differenti schemi assolutamente dati all'intervallo di guardia. Quello sopra che vedete in Fig. 36 è quello che ha una portante ogni 24 e quindi ha il 2% di overhead. Sotto vedete invece il caso in cui ho il 4% di overhead, una portante ogni 12, interpolata nel tempo.

Queste portanti possono essere "busted" (a potenza maggiorata). Già nel DVB T lo erano cioè erano tirate su di 3 db rispetto ai dati. Per migliorare la qualità ed il C/N sulla channel estimation. In questo caso poichè possiamo avere queste portanti molto più rade nel dominio della frequenza, allora è necessario tirarle molto più su. Quindi avranno dei picchi di 7 dB più alti dei dati.

Questi sono tutti gli schemi. Andiamo dall'1% all'8% di overhead e possono lavorare con i vari intervalli di guardia.

C'è anche questo algoritmo che abbiamo inventato noi al centro ricerche, si chiama CD3 per "feedback equalisation", che non usa affatto le portanti pilota. Parte su un simbolo noto che esiste nel T2, non c'era nel T, una volta acquisita la sincronizzazione su un simbolo faccio la codifica e la correzione degli errori. Genero le costellazioni corrette ,

divido la costellazione ricevuta con la costellazione corretta e ottengo di nuovo la stima del canale che uso poi per il simbolo successivo. Quindi è una specie di decodifica differenziale nel tempo. Ogni simbolo equalizza quello dopo. E con questo, visto che non si sono fidati al 100% di questo sistema, si è deciso di abbinarlo con l'1% di portanti pilota. Come vedete con l'1% è necessario un'interpolazione nel tempo di 16, con il 32 k vuol dire che servono 16 volte 4 millisecondi se vogliamo solo usare le portanti pilota, quindi questo sistema non avrà mai capacità di tracking del canale, basta che il canale si sposti un po' nel tempo per degli echi che si muovono e il ricevitore perde la sincronizzazione. Quindi con le pilota da sole non si riuscirà a sincronizzare. Se vogliamo avere bassa ridondanza questo algoritmo sarà indispensabile.

Pilota continui servono per rimuovere il "Common Phasa Error".

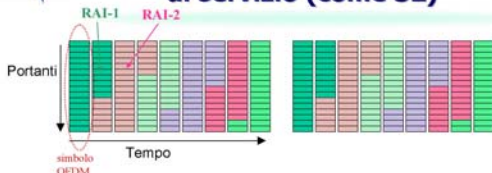
Nel DVB T erano 2,5%, nel DVB T2 sono 2,5% ,per l'1 k e il 2 k sono lo 0.7 %, per il 32 k e l'8 k, quindi gli abbiamo dato una limata e poi visto che molto spesso coincidono con le Scattered Pilot, c'è un ulteriore fattore di guadagno.

3.10 Protezione differenziata

Della protezione differenziata (vedi Fig. 1 e 2 nell'introduzione) ne ho già parlato quindi salterò.

Quello che è importante della protezione differenziata (vedi Fig. 37) è che gli interleaver che vedremo dopo lavorano su ciascuno di questi canali, quindi se vogliamo usare il T come base per un sistema per la mobilità sarà sufficiente mettere un interleaver che lavora solo per un programma, quindi la memoria di interliving che deve essere molto lunga, lo vedremo anche per l'SH. Servono quindi delle memorie di interliving in tempo molto lunghe, posso lavorare sui bit di ciascun canale, quindi se abbiamo per esempio 10 programmi, con questo modo ci serve solo il 10 % di memoria sul ricevitore.

Rai Protezione differenziata a livello di servizio (come S2)



Ogni servizio genera un insieme (slice) di celle dati (portanti OFDM) in un Frame T2 (time slicing)

- il ricevitore può accendersi solo ad intervalli prestabiliti (risparmio energetico)
- e' pure possibile generare più sub-slice (come nel Multi-Jet!) di un servizio per Frame T2, per aumentare la diversità di tempo (maggiore robustezza con rumore impulsivo)

25

Figura 37

Allora, come si mappano questi PLP che abbiamo visto sopra? Ciascuno vediamo ha un colore diverso, per esempio, il primo è Rai1, il secondo Rai2, il terzo Rai3. Abbiamo una dimensione tempo e una dimensione frequenza. La prima idea è: prendiamo tutte le portanti di un frame generate da Rai 1 e li spariamo su dei simboli OFDM consecutivi. Poi passiamo a Rai2. Questo è il

concetto del “Time Slice Sinc” che c’era già nel DVBT per il DVBT. Il vantaggio di questo è risparmiare potenza sul ricevitore perché il ricevitore può essere acceso e spento. Riceve a Rai1, poi si spegne e fino al prossimo frame rimane spento. Serve molto negli handheld, per un ricevitore statico serve poco. Ha uno svantaggio: supponete che ci sia del rumore impulsivo che mi ammazza un simbolo OFDM. Se io concentro Rai1 su tre simboli OFDM e poi sugli altri trasmetto Rai2,Rai3,Rai4, se quel rumore impulsivo mi ha proprio ucciso Rai1, il mio programma avrà un disturbo. L’alternativa è usare la tecnica che nei motori si chiama multijet. Invece di fare un’iniezione singola facciamo tantissime iniezioni. Allora trasmettiamo qualche cella sul primo simbolo OFDM di Rai1, sul secondo simbolo di nuovo un po’ di Rai1, sul terzo ancora un po’ di Rai1, e quindi facciamo sempre di più un interliving, non solo nella frequenza ma anche nel tempo.

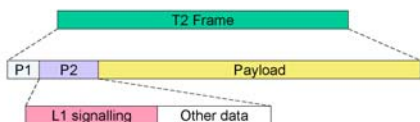
Il DVB T2 permette di giocare questo nel modo più flessibile possibile (vedi Fig. 38). Possiamo decidere di concentrare il time slicing, possiamo decidere di avere un interliving di tempo molto lungo. Infatti un frame è flessibile ma va da 100 a 250 millisecondi.



Struttura del Frame (1)

Durata del **Frame flessibile**: valore tipico 150 -250 ms

- P1 & P2 overhead: tipicamente < 1%



26

Figura 38

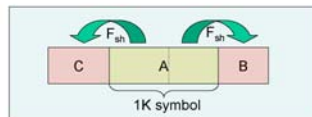
In testa c'è questo riferimento P1 (vedi Fig. 39) che è un simbolo OFDM molto breve. Poi c'è un altro riferimento che si chiama P2 (vedi Fig. 40) che è un simbolo sempre fisso con tanti portanti pilota che permette questa "channel estimation" con un solo colpo.



Struttura del Frame (2)

Inizio del Frame segnalato da un **simbolo P1**

- un simbolo 1k-OFDM con ripetizioni shiftate in frequenza all'inizio e alla fine



- Riconoscimento semplice e robusto dei segnali T2
- Sincronizzazione veloce di frequenza
- 7 bits di segnalazione (es. dimensione FFT nel Frame)

27

Figura 39

Su un simbolo stimo il canale, e anche qualche portante dati che fa l'L1 signaling. L'L1 signaling mi dice dove all'interno di questi vari simboli OFDM nel frame, dove va a finire Rai1.

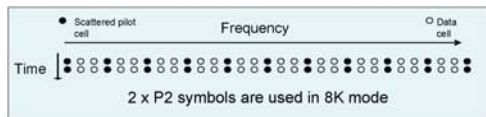
Quindi il ricevitore sa con precisione, se sto ricevendo Rai1, dove saltare per andarmi a beccare proprio le portanti di Rai1. E può ignorare tutte le altre.



Struttura del Frame (3)

La struttura del Frame deve essere segnalata all'inizio del Frame stesso: **SIMBOLI P2** (n° OFDM dipende da FFT)

- Indirizzo di inizio e lunghezza di ciascun PLP (in celle OFDM)
- I dati di P2 sono protetti in modo molto robusto (es: BPSK + LDPC rate 1/4, codice accorciato e punturato)
- La stima di canale deve essere immediata e robusta
 - pilota scattered con maggiore densità



28

Figura 40

Quindi L1 signaling dentro questo simbolo P2 che mi dice com'è fatto il frame che viene dopo. E poi dopo viene il Payload che sono i dati veri e propri e quindi i programmi televisivi. Qui si spiega com'è fatto, non entro nei dettagli di com'è fatto P1, di com'è fatto P2, vedete che P2 ha tantissime portanti pilota, una ogni tre. È molto protetta, cioè questo L1 signaling deve essere ricevuto in ogni

condizione, quindi ha una modulazione BPSK con codice FEC $\frac{1}{4}$, quindi lo riceviamo anche con un rapporto segnale rumore negativo, -1, -2 dB di C/N. Il sistema può lavorare in vari modi. Per esempio quello più tipico sarà PLP singolo. Per l'HD TV non c'è veramente un motivo per fare questi multi-PLP protetti in modo diverso quindi tipicamente ci sarà un solo Transport Stream con le sue belle SI e PSI che lo descrivono, un singolo PLP, una singola protezione. Caso invece di PLP multiplo è tipicamente per la mobile tv, dove mi serve avere questo interleaving ottimizzato per ciascun canale. allora prendo tipicamente un grosso Transport Stream statistico, lo rompo in tanti Transport Stream e posso avere un SI / PSI comune, quindi un PLP specifico trasmetterà la descrizione SI / PSI tipica poi di tutta l'ansamble che è trasmessa in tutti questi tubi.

3.11 Interleaving

Parliamo ora degli interleaving, illustrati in Fig. 41.



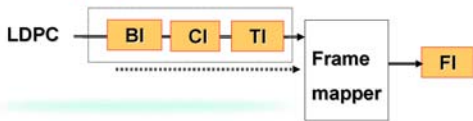
Interleaving (1)

Il codice LDPC opera bene solo per errori distribuiti in modo casuale (statisticamente indipendenti)

- bisogna evitare pattern regolari
- bisogna distribuire su più blocchi LDPC eventi errore concentrati nel tempo (rumore impulsivo) e nella frequenza (interferenza PAL, fading selettivo)

T2 utilizza tre livelli principali di interleaving – applicati a livello di PLP (per risparmiare memoria nel ricevitore):

- **Bit Interleaving** all'interno del blocco FEC
- **Cell Interleaver & Time Interleaver**
- **Frequency Interleaver**



30

Figura 41

Per far funzionare bene questi codici LDPC è molto importante evitare patter regolari di errori. Quindi quando

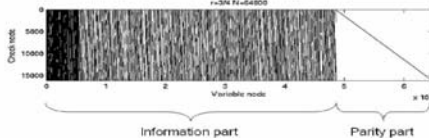
c'è un rumore impulsivo bisogna spargere questi bit errati su un numero maggiore possibile di LDPC.

Allora, ci sono ben 3 livelli se non 4 di interleaver. Il primo si chiama bit interleaver, vedi Fig. 42, il secondo si chiama cell interleaver più time interleaver e il terzo frequency interleaver.



Bit Interleaver

- Nel codice LDPC, non tutti i bit sono protetti allo stesso modo



- Anche nelle modulazioni QAM non tutti i bit sono protetti allo stesso modo
- Combinando questi due fenomeni si possono ottimizzare le prestazioni (anche 0,3-0,5 dB). La Rai ha proposto il mapping per il codice 3/5 che ne migliora le prestazioni in modo significativo

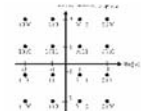


Figura 42

Vedete i codici LDPC e tutti questi inteliver sono messi in cascata. Questo perché il codice LDPC è debole rispetto agli errori a piccoli burst, o errori raggruppati. Vedete qui i numeri di nodi che sono come la parità di un codice di parità, come sono distribuiti, sono i 6400 bit di informazione. Vedete che hanno una distribuzione con una densità abbastanza variabile e sono lunghezza del codice. E poi alla fine vedete la parity part che è una matrice diagonale.

Ora, se io vado a mappare i bit delle costellazioni, all'interno della costellazione QAM ci sono dei bit molto protetti e dei bit poco protetti, mentre nel QPSK sono tutti protetti allo stesso modo. Allora se io abbinò male i bit deboli di pc con i bit deboli della mia costellazione riesco ad avere delle prestazioni anche di due dB peggiori di quello che potrei ottenere, quindi posso fare danni. Invece ottimizzando riesco a ottenere delle prestazioni molto vicine a Shannon. Per esempio, il codice tre quinti che nell'S2 è abbastanza mal progettato (non ce ne eravamo accorti) specialmente se il canale è un canale come non c'è via satellite, cioè con delle parti cancellate, con simulazioni più dettagliate sul T2 ci siamo resi conto di questo problema e abbiamo identificato un modo di mappare in modo ottimo i bit. Quelli

molto buoni sulle costellazioni, li abbiamo mappati sui bit molto cattivi dell'LDPC e siamo riusciti a metterci una toppa. E quindi funziona abbastanza bene adesso.

Il time interleaving è di nuovo la cosa che mancava totalmente nel DVBT, c'era già nel DAB per esempio, perché il DAB è nato per i servizi mobili. Il DVBT invece è stato solo riusato per la mobilità, ma non era nato per la mobilità. Tipicamente il rumore impulsivo è un treno di impulsi e dura al massimo 10 millisecondi, nei casi peggiori 60 millisecondi. Come possiamo combatterlo? Allora, la prima contromisura è avere dei simboli OFDM sempre più lunghi, quindi già il 32 k è un sistema per combattere il rumore impulsivo. Col 32 k andiamo 6 dB meglio del DVBT. Anche usando lo stesso codice, l'OFDM stesso va 6 dB meglio del DVB 8k, solo perché facciamo l'FFT su un simbolo che dura molto di più. Quindi se vogliamo usare quell'algoritmo che abbiamo inventato noi per togliere le pilota, non possiamo usare il time interleaver perché dobbiamo equalizzare un simbolo con quello successivo. Quindi possiamo solo usare questa tecnica "intra OFDM". Prima contromisura: DVB T2 guadagna 6 dB su rumore impulsivo rispetto all'8 k, se invece vogliamo usare il vero time interleaving allora

tipicamente dobbiamo mischiare le costellazioni da 30 a 40 millisecondi. Quindi il guadagno diventa veramente grande, perché il fattore rispetto il DVBT, che era 1 millisecondo, andando su 40 millisecondi abbiamo 10 logaritmo di 40 di guadagno sul rumore impulsivo. Per la ricezione mobile ci sono due fattori: se è ricezione terrestre tipicamente il problema è il doppler, cioè quando ci muoviamo nell'area di servizio gli echi mi danno delle combinazioni per cui alcune portanti che prima erano molto attenuate si ricevono bene e viceversa su altre. Tipicamente si è dimostrato che l'interleaver utile e minimo è 100, 200 millisecondi, se poi vogliamo del guadagno ulteriore dobbiamo andare in durate di secondi. Ovviamente parlando di interleaver di time interleaver stiamo parlando di interlving che vengono prima della decodifica soft decision del codice. Quindi sono interlving che lavorano su campioni di 20 bit tipicamente per queste costellazioni, quindi ci vuole un sacco di memoria, per avere 10 secondi di interlving ci vuole una valanga di memoria. Nel DVB T2 se abbiamo un singolo PLP c'è una memoria tipica di 500 kilocelle che sono 10 megabit nel ricevitore e vuol dire 60-70 millisecondi, quindi se andiamo a singolo PLP per l'HD TV possiamo aspettarci un time interlving di 70 millisecondi, non di più. Per servizi

mobili invece possiamo andare per PLP multiplo, allora possiamo avere con la stessa memoria un fattore 10 e quindi interlving dell'ordine del secondo.

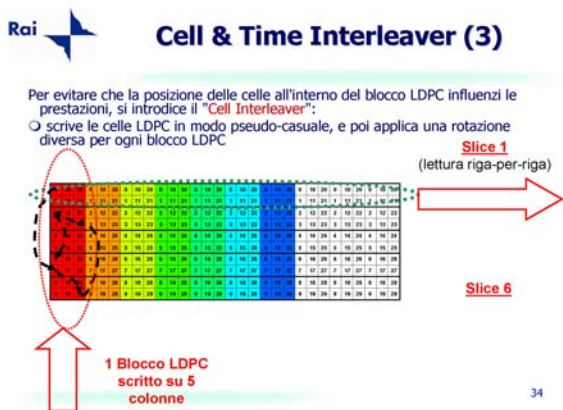


Figura 43

È stato aggiunto un ulteriore interlving, vedi Fig. 43, perché il time interlving è una matrice righe colonne, dove un codice LDPC è un colore che vedete. Noi la schediamo nelle dpc su 5 colonne e poi lo leggiamo per righe. E poi andiamo

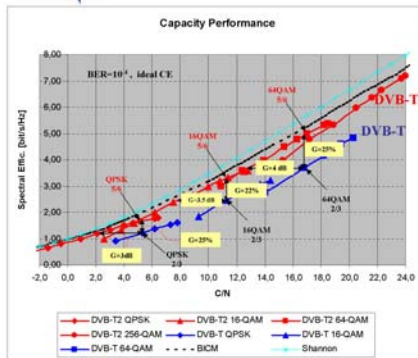
a leggere, vedete, la freccia in uscita, uno slice che è quel blocchetto che andiamo a mappare, quello che abbiamo visto di Rai1 sui simboli OFDM. Per evitare che tutti gli LDPC abbiamo la stessa sequenza andiamo ancora a ruotare LDPC per LDPC in modo diverso nel tempo. È quello che chiamiamo "Cell interleaver".

3.12 Prestazioni

Veniamo alle prestazioni del sistema in Fig. 44. Vedete che la riga superiore è Shannon, quella blu. Quella nera è Shannon condizionata alle modulazione QAM, perché se usiamo una modulazione QAM non otterremo mai Shannon, Dovremmo, per raggiungere Shannon e usare delle costellazioni a tantissimi stati e con una distanza progressiva a inviluppo quasi gaussiano. Pertanto i punti esterni della costellazione sono più vicini, i punti interni sono più distanti.

Avendo noi scelto le costellazioni QAM non potevamo andare meglio di quella rigina nera.

Rai **Prestazioni su canale Gaussiano**



Non tengono in conto GI e overhead pilota

Il guadagno in efficienza spettrale dell'LDPC rispetto al convolvazionale è costante al 25%

Il guadagno in C/N varia da 3 a 4 dB

35

Figura 44

Sotto vedete in blu il DVB T e vedete che il DVB T2 è molto vicino alla riga nera. È quello che abbiamo detto, un guadagno del 25% a parità di costellazione. Quindi in sintesi il T2 rispetto al T guadagna il 25% sul codice, il 18% sull'intervallo di guardia, il 7-8% sulle pilota. Ed è molto flessibile.



UK stima della capacità in MFN (da verificare)

	Current UK mode	T2
Modulation	64QAM	256QAM
FFT size	2K	32K
Guard Interval	1/32	1/128
FEC	2/3 CC + RS (8%)	3/5 LDPC + BCH (0.3%)
Scattered Pilots	8%	1%
Continual Pilots	2.6%	0.35%
P1/P2 overhead	0%	0.7%
Bandwidth	Standard	Extended
Capacity	24 Mbit/s	35.4Mbit/s

Capacità = DVB-T + 47%
4 canali HDTV MPEG-4 ?

Figura 45

Vediamo , questo in Fig. 45 è l'esempio che ha fatto Nick Wales per il caso UK. UK attualmente in MFN (non è in SFN), usa la 64 QAM 2 k , guard interval 1/32. Oggi hanno la capacità di 24 Mbit/s, usando il T2 con tutti gli ingredienti che abbiamo detto, si può andare a 35,4 Mbit/s. Quindi il guadagno è del 47% e si può sperare di mettere anche 4 canali in HD. Questo perché con 8 megabit in statistico su 4



Italia: Stima della Capacità in SFN (da verificare)

	Modo Italia SFN	T2
Modulation	64QAM	256QAM
FFT size	8K	32K
Guard Interval	1/4	1/16
FEC	2/3 CC + RS (8%)	3/5LDPC + BCH (0.3%)
Scattered Pilots	8%	1% (CD3)
Continual Pilots	2.6%	0.35%
P1/P2 overhead	0%	0.7%
Bandwidth	Standard	Extended (used for PAPR)
Capacity	19.91 Mbit/s	33.3 Mbit/s

Capacità = DVB-T + 67 %

Figura 46

In modo provocatorio, in Fig. 46 vi faccio un esempio per l'Italia, dove il prof. Sassano ama le reti SFN. Anche io son convinto che sono molto utili, specialmente se vogliamo far convivere un DVBT per altri 20 anni, perché nessuno può

canali e aspettando ancora qualche anno di maturazione dei codici, sono abbastanza ottimista di poter vedere buone immagini.

toccarlo, vogliamo mettere in parallelo l'HD e quindi dobbiamo cercare di usarla al meglio. Allora il mio esempio in SFN rispetto al caso precedente è solo l'SFN la differenza. Ovviamente prima avevamo 35 Mbit/s, be', un po' ci perdiamo lo stesso. Da 35 siamo passati a 33, però visto l'SFN prima col DVBT passiamo da 24 a 20 megabit, in questo caso passiamo da 35 a 33. Quindi il guadagno è passato dal 50% quasi al 70% rispetto al DVB T, 33 megabit saranno sufficienti per 4 canali ?? speriamo di sì.

3.13 Altre caratteristiche

Allora, per quanto concerne la larghezza di banda penserei che la soluzione migliore è avere quella estesa, ma usarla per queste portanti aggiuntive per fare il PAPR l'inviluppo.

3.13.1 PAPR

Allora, per spiegarvi questo discorso del PAPR vi faccio vedere ancora la Fig. 47.

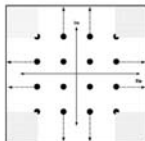
Allora, PAPR. Si vuole evitare che l'OFDM abbia questi grandi picchi nel dominio del tempo. Servono dei gradi di libertà. Serve avere delle portanti dove sono in grado di variare l'ampiezza e la fase a piacimento sul trasmettitore e queste portanti non sono utilizzate dal ricevitore, è che è il primo caso, quello che viene chiamato "Tone reservation". Cioè prendiamo l'1% delle portanti, ce le lasciamo libere, allora facciamo l'FFT variando queste portanti a piacimento in ampiezza e fase e vediamo qual è il caso in cui non mi dà un grosso picco di ampiezza una volta fatto l'FFT dell'OFDM. È una tecnica che può procedere per tentativi oppure può procedere con degli algoritmi per trovare la fase migliore senza dover fare tutte le prove.

Rai **Peak to Average Power Reduction**

L'OFDM nel dominio del tempo ha un inviluppo Rayleigh (teorema limite centrale): back-off amplificatori per evitare shoulder e MER

2 tecniche PAPR

- Tone reservation
 - 1% delle portanti riservate e non utilizzate da RX: sono modulate con ampiezza e fase opportuna per evitare picchi di ampiezza OFDM
- 'ACE'
 - Distorsione della costellazione per evitare i picchi OFDM (non compatibile con rotated-constellations e CD3)



PAPR permette di incrementare la potenza emessa da un amplificatore di circa 1-2 dB a pari shoulder/MER

54

Figura 47

3.13.2 ACE

La seconda tecnica possibile è quella che si chiama ACE. Cioè, vedete quella costellazione di lato, invece di aggiungere delle costellazioni nuove, teniamo delle costellazioni dati. I punti estremi della costellazione se noi li spostiamo verso l'esterno non cambiano le prestazioni della costellazione perché la distanza dei punti rispetto ai punti vicini non cambia. Quindi quando mi arriva nelle costellazioni un punto estremo, posso espanderlo e averlo verso l'esterno. Anche questa espansione viene fatto in modo arbitrario dal trasmettitore e il ricevitore non se ne accorge. Le prestazioni rimangono simili. Questo permette di amplificare di più, a parità di amplificatore e di OFDM possiamo tirare fuori 1 o 2 db di potenza in più. Quindi non cambiano i rapporti di protezione, non cambia l'emissione di potenza del trasmettitore. Se trasmettevamo un ERP di 10 kilowatt rimarrà di 10 kilowatt. Però si potrà, a parità dei amplificatori, tirare fuori più potenza a parità di spalle e a parità di MER. Quindi non cambia la pianificazione del servizio ma cambia la classe degli amplificatori che possiamo usare.