

Broadcast

Ritroviamo qui alcuni argomenti che nelle precedenti edizioni erano inseriti come appendici di alcuni capitoli, come casi di applicazione delle teorie esposte alla realtà quotidiana che ci circonda. Nel frattempo la realtà si è evoluta, cosicché le tecniche televisive da analogiche sono diventate numeriche. Ad ogni modo, sono raggruppati qui i casi di *radiodiffusione* audio e video, come la radio FM, la televisione analogica, e quella satellitare, senza particolari miglioramenti od aggiunte rispetto a quanto già sviluppato a suo tempo.

25.1 Trasmissione televisiva analogica

Illustriamo molto brevemente le modalità di codifica e trasmissione del segnale televisivo mediante broadcast *analogico*, con riferimento a standard e tecnologie ormai *dismessi*¹, e che hanno rappresentato una delle più diffuse applicazioni della modulazione a *banda laterale ridotta* discussa al § 12.1.3.

25.1.1 Codifica di immagine

Una trasmissione televisiva avviene riproducendo 25 diverse immagini (dette *quadri*) al secondo. Ogni immagine è scomposta in 625 linee orizzontali, che vengono trasmesse in due fasi: prima le linee dispari, poi quelle pari. In questo modo un singolo quadro è riprodotto due volte² ogni $\frac{1}{25} = 0.04$ secondi (seppure in modo alternato) portando così a 50 semiquadri/secondo³ la frequenza di rinfresco, in modo da impedire i fenomeni di *sfarfallamento* (FLICKER) ottico⁴.

¹Lo *switch off* al digitale terrestre in Italia è avvenuto nel luglio 2012, ed anche i *tubi catodici* sono pressoché estinti.

²La riproduzione di metà quadro alla volta è chiamata *scansione interallacciata* dell'immagine. Nulla vieta al costruttore del ricevitore di prevedere una *memoria di quadro* e di riprodurre le immagini in modo non interallacciato; il segnale trasmesso invece presenta sempre le righe in formato interallacciato.

³La frequenza di 50 semiquadri/secondo è stata scelta di proposito uguale alla frequenza di funzionamento della rete elettrica, in modo che eventuali disturbi elettrici avvengano sempre *nello stesso punto* dell'immagine, riducendo gli effetti fastidiosi.

⁴Il *flicker* si manifesta nel caso in cui la frequenza di rinfresco è inferiore al tempo di *persistenza delle immagini sulla retina*, pari a circa $\frac{1}{40}$ di secondo.

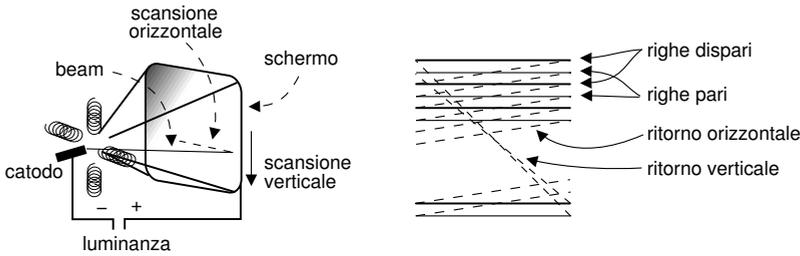


Figura 25.1: Modalità di scansione interlacciata dell'immagine televisiva

La riproduzione di un quadro avviene (vedi fig. 25.1) mediante un *tubo catodico*, il quale dispone posteriormente di un catodo che emette elettroni, accelerati da un segnale di luminanza positivo applicato all'anodo, e che terminano la loro corsa contro lo strato di fosforo distribuito sulla parte anteriore (schermo) del tubo. Il *fascio* (BEAM) di elettroni è focalizzato elettronicamente, e viene deflesso ciclicamente sia in orizzontale alla frequenza di $625 \frac{\text{linee}}{\text{quadro}} \cdot 25 \frac{\text{quadri}}{\text{secondo}} = 15625 \text{ Hz}$ (*frequenza di riga*), sia verticalmente con velocità di $50 \frac{\text{semiquadri}}{\text{secondo}}$.

25.1.2 Segnale televisivo in bianco e nero

Il segnale televisivo contiene sia le informazioni di temporizzazione necessarie a sincronizzare la scansione dell'immagine, che l'informazione di luminanza che pilota la tensione anodica, e quindi la forza con cui l'elettrone urta lo schermo.

Durante la trasmissione di un semiquadro ogni riga dispone di $\frac{1}{15625} = 64 \mu\text{secondi}$. Il segnale modulante è sempre positivo (vedi fig. 25.2), ed associa ai valori più piccoli la maggiore luminanza⁵, trasmettendo in logica negata, in modo che gli impulsi di sincronismo orizzontale siano di ampiezza superiore al *livello del nero*, pari quest'ultimo al 70 % dell'ampiezza massima. Il tempo dedicato alla trasmissione della luminanza di una riga è di $52 \mu\text{sec}$, mentre nei restanti 12 il segnale oltrepassa il livello del nero (in modo da rendere invisibile il beam) e quindi un impulso rettangolare determina il ritorno orizzontale. In figura è anche mostrato il *burst colore* che è presente nelle trasmissioni a colori per sincronizzare la *portante di colore* (vedi di seguito).

⁵In questo modo si riduce mediamente la potenza trasmessa, dato che sono più frequenti scene chiare che scure.

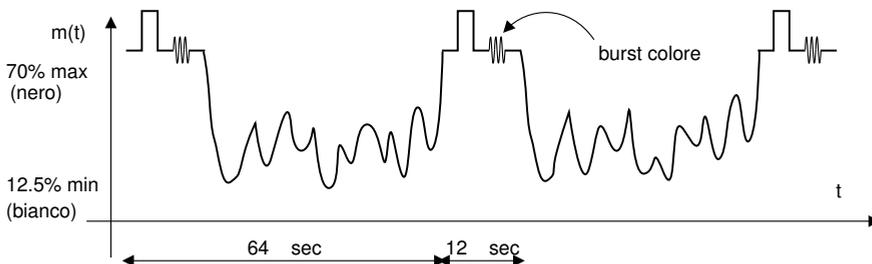


Figura 25.2: Forma d'onda del segnale televisivo analogico

25.1.3 Formato dell'immagine

Ogni singolo quadro è realizzato con un *rapporto di aspetto* 4:3 (che rappresenta il rapporto tra le dimensioni orizzontale e verticale), e solo 575 delle 625 linee vengono mostrate, mentre 25 linee per ogni semiquadro cadono al di fuori dello schermo⁶.

25.1.4 Occupazione spettrale

Diverse considerazioni⁷ hanno portato a stabilire che la banda del segnale televisivo sia di circa ± 5 Mhz, e nell'ultima versione del sistema PAL questa è stata portata a 6 MHz. In particolare, dato che le immagini presentano spesso ampie zone uniformi, corrispondenti ad un segnale di luminanza pressoché costante, la densità spettrale del segnale televisivo è piuttosto concentrata nella regione delle basse frequenze. Per questo motivo si è deciso di trasmettere il segnale mediante modulazione di ampiezza a banda laterale superiore *ridotta* (§ 12.1.2), conseguendo un risparmio di banda e contemporaneamente preservando le componenti del messaggio a frequenze più basse.

La figura 25.3 mostra la situazione in forma schematica, in cui solo parte (1.75 MHz) della banda inferiore del segnale di luminanza viene trasmessa, mentre il filtro di ricezione provvede a realizzare un filtraggio complessivo tale che $\underline{H}(f) + \underline{H}^*(-f) = \text{cost}$ (vedi nota 29 a pag. 373).

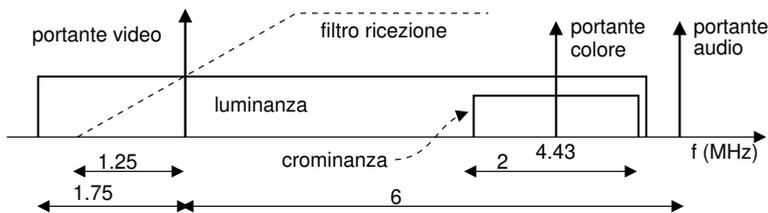


Figura 25.3: Occupazione spettrale di un segnale televisivo

Segnale audio In figura 25.3 è rappresentata anche una portante audio, che viene trasmessa *oltre* la banda occupata dal segnale video, mediante una modulazione FM con $\Delta f_{Max} = 25$ KHz.

25.1.5 Segnale di crominanza

Il requisito che più di altri ha determinato quale soluzione adottare per effettuare trasmissioni a colori, è che queste dovessero essere correttamente visibili anche da parte dei ricevitori in bianco e nero.

Un risultato di colorimetria è che ogni colore è scomponibile nella somma di tre colori fondamentali (verde, blu e rosso o GBR che sta per *green, blue and red*),

⁶Nel tempo destinato alle linee che non sono mostrate vengono comunque trasmesse altre informazioni, come ad esempio i dati che compaiono nelle pagine del televideo.

⁷Ad esempio, si può stabilire di realizzare la stessa risoluzione orizzontale e verticale. A fronte delle 625 linee, il rapporto di aspetto di $\frac{4}{3}$ determina l'esigenza di individuare $625 \cdot \frac{4}{3} = 833 \frac{\text{punti}}{\text{linea}}$, e quindi $833 \cdot 625 = 520625 \frac{\text{punti}}{\text{quadro}}$, ossia circa $13 \cdot 10^6 \frac{\text{punti}}{\text{secondo}}$. Per il teorema del campionamento, il segnale deve allora avere una banda minore od uguale di $\frac{f_c}{2} = 6.5$ MHz.

effettivamente operata dagli apparati di acquisizione. La somma⁸ della tre componenti fornisce il segnale di luminanza L , che viene utilizzato esattamente come per il bianco e nero. Il segnale di cromaticità è invece ottenuto a partire da una coppia di *segnali differenza* di rosso e blu rispetto alla luminanza, ossia $\left\{ \begin{array}{l} \Delta_R = R - L \\ \Delta_B = B - L \end{array} \right.$, usati poi per modulare in ampiezza, portante soppressa, una portante di colore, usando Δ_R come componente in fase e Δ_B come componente in quadratura⁹. Una analisi più precisa è fornita al § 10.2.2.

L'occupazione spettrale del segnale di cromaticità è ridotta (± 1 MHz) rispetto a quello di luminanza, in quanto la *risoluzione spaziale* dell'occhio umano è ridotta per stimoli colorati, e quindi Δ_R e Δ_B possono variare più lentamente di L .

25.1.6 Sincronizzazione

Per impedire fenomeni di interferenza tra c.a. di b.f. nella ricezione del segnale di cromaticità occorre effettuare una demodulazione omodina, e l'oscillatore del ricevitore si mantiene coerente con la portante di colore grazie ai *burst di colore* presenti dopo l'impulso di sincronizzazione orizzontale (fig. 25.2), costituiti da 8 cicli di portante. Questo segnale ha inoltre lo scopo di segnalare la *presenza* della componente di cromaticità: in caso contrario infatti (trasmissione B/N) il ricevitore deve disattivare il circuito del colore, per non produrre deterioramenti dell'immagine.

25.1.7 Interferenza

La presenza di entrambi i segnali di luminanza e cromaticità nella stessa banda sembrerebbe dare luogo a difficili problemi di interferenza. Innanzitutto osserviamo che, come anticipato, il segnale di luminanza è concentrato attorno alla portante video, e dunque arreca un disturbo ridotto¹⁰ alla cromaticità. Quest'ultima quindi, prima di essere demodulata, viene filtrata per rimuovere il segnale di luminanza fuori della banda di cromaticità, ed il disturbo è generalmente trascurabile. Viene inoltre adottata una soluzione che riduce anche l'interferenza di cromaticità su luminanza. Quest'ultima presenta infatti una spiccata periodicità, legata alla frequenza di riga f_r , ed alla presenza degli impulsi di sincronismo ogni $64 \mu\text{sec}$, che determina uno spettro con energia concentrata alle armoniche di $f_r = 15625$ Hz. Pertanto la portante di colore

⁸In realtà ogni componente è pesata mediante un opportuno coefficiente che tiene conto della diversa sensibilità dell'occhio ai tre colori fondamentali. Infatti per ottenere il bianco i tre colori non devono essere mescolati in parti uguali, bensì 59% di verde, 30% di rosso e 11% di blu.

⁹Le ampiezze delle componenti in fase e quadratura del segnale di cromaticità devono essere opportunamente scalate, per impedire al segnale complessivo (luminanza più cromaticità) di assumere valori troppo elevati.

¹⁰Possiamo riflettere su quali siano le circostanze che producono la massima interferenza della luminanza sulla cromaticità: ciò avviene in corrispondenza di scene molto definite, relative ad immagini con elevato contenuto di frequenze spaziali elevate, ad esempio nel caso di righe fitte; il disturbo è più appariscente nel caso in cui la zona ad elevato contrasto sia povera di componenti cromatiche. Avete mai notato cravatte a righe bianche e nere, divenire cangianti?

viene collocata *nel mezzo* a due armoniche del segnale di luminanza¹¹, in modo che le densità spettrali risultino, pur se sovrapposte, intercalate. L'uso di *filtri a pettine*¹² nel ricevitore può quindi ridurre notevolmente l'interferenza.

25.1.8 Video composito o separato

Il segnale video in *banda base* realizzato come ora descritto, e privo della componente audio, può essere trasferito tra dispositivi e/o distribuito via cavo coassiale, e prende il nome di *segnale video composito*¹³, contrapponendosi al *separate video* o S-VIDEO¹⁴, in cui invece luminanza e cromaticità vengono mantenute separate, ed utilizzato ad esempio nei cavi con attacco SCART¹⁵.

25.2 FM broadcast

Illustriamo brevemente i parametri delle trasmissioni FM ricevibili mediante *la radio di casa*. Nella banda 88-108 MHz operano le radio FM, con spaziatura di 200 KHz l'una dall'altra. Attualmente tale tecnica è affiancata a quella di natura digitale nota come DAB¹⁶.

Ad ogni emittente radio FM è concessa una deviazione massima della frequenza istantanea rispetto alla portante assegnata pari a $\Delta f = 75$ KHz, con il trasmettitore che viene *tarato* mediante un messaggio $m(t)$ sinusoidale a frequenza di 15 KHz, mentre il fattore k_f è regolato in modo da ottenere $\Delta f = 75$ KHz. In queste condizioni si ottiene un indice di modulazione $\beta = \frac{k_f}{w} = \frac{75}{15} = 5$, e la regola di Carson (pag. 385) fornisce

$$B_C = 2(k_f + w) = 2(75 + 15) = 180 \text{ kHz}$$

Un esame degli andamenti riportati in Fig. 12.5 mostra che per $\beta = 5$, le funzioni di Bessel per cui risulta $J_n(\beta) \neq 0$ sono le prime 8, e dunque la "vera" banda ha una estensione

$$B = 2 \cdot 8w = 16 \cdot 15 \cdot 10^3 = 240 \text{ kHz}$$

mostrando l'approssimazione della regola di Carson. D'altra parte, risulta che

$$2 \sum_{n=6}^8 |J_n(5)|^2 = 2 [(.13)^2 + (.05)^2 + (.02)^2] = 2 \cdot 0.0198 = 0.0396$$

e dunque l'errore commesso esclude circa il 4% della potenza totale.

Qualora il segnale sinusoidale venga sostituito da un messaggio limitato in banda con $\pm W = \pm 15$ KHz, con potenza eguale a quella del seno e cioè $P_m = \frac{1}{2}$, la Δf non è più definita con esattezza, e conviene ricorrere alla definizione data al § 12.3.3.4 per

¹¹La portante di colore si colloca a 4,43361975 MHz per il sistema PAL.

¹²Introdotta al § 5.2, l'argomento può essere approfondito presso https://it.wikipedia.org/wiki/Filtro_comb

¹³Vedi https://it.wikipedia.org/wiki/Video_composito

¹⁴Vedi <https://it.wikipedia.org/wiki/S-Video>

¹⁵Vedi <https://it.wikipedia.org/wiki/SCART>

¹⁶https://it.wikipedia.org/wiki/Digital_Audio_Broadcasting

l'indice di modulazione *per processi*

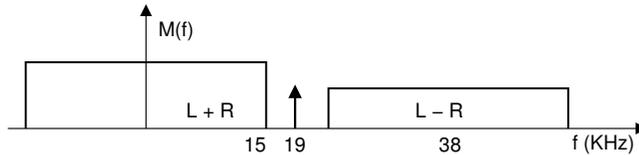
$$\beta_p = \frac{\sigma_f}{W} = \frac{k_f \sqrt{P_m}}{W} = \beta \sqrt{P_m} = \beta \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707 \cdot \beta$$

a cui corrisponde una banda *efficace*

$$B = 2W (\beta_p + 1) = 2 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot (0.707 \cdot 5 + 1) = 136 \text{ kHz}$$

Nell'FM *stereo* il segnale trasmesso deve essere compatibile con i ricevitori mono; pertanto il segnale *modulante* viene realizzato come un segnale multiplato FDM, e *composto* da tre *canali*, schematizzati come riportato in figura:

- la somma di Left + Right (L+R) come segnale di banda base, che consente la compatibilità con gli apparati "mono";
- il segnale L-R è centrato a frequenza di 38 KHz mediante modulazione AM-BLD;
- una portante posta a 19 KHz, ed a cui si concede il 10% di \mathcal{P}_M , mentre il restante 90% di \mathcal{P}_M è condiviso tra L+R e L-R. Il tutto è poi modulato FM.



La portante a 19 KHz può essere impiegata per sincronizzare il ricevitore, e generare la portante (a frequenza doppia, di 38 KHz) necessaria a demodulare il canale L-R. Se assente, indica la ricezione di un canale mono. A prima vista, sembrerebbe che la presenza del canale L-R possa aumentare la massima deviazione di frequenza. In realtà ciò non avviene, per due motivi:

- quando L+R è *grande*, significa che i due canali sono simili, e dunque L-R è piccolo, e viceversa;
- il canale L-R, trovandosi a frequenze più elevate, è caratterizzato da un indice di modulazione inferiore. Infatti, la massima deviazione di frequenza istantanea dipende dalle *ampiezze* di $m(t)$, e non dalla sua banda.

25.3 Collegamenti satellitari

Tutti i satelliti artificiali hanno, ovviamente, l'esigenza di mantenere un collegamento radio con il centro di controllo orbitale terrestre; in tutti i modi, un buon numero di satelliti è stato lanciato per svolgere un ruolo nell'ambito dei sistemi di comunicazione e telerilevamento, come ad esempio nei casi dei satelliti meteorologici, di radiolocalizzazione (il GPS, ma non solo), per ponti radio televisivi, di telefonia, di broadcast televisivo. Senza molto togliere alla generalità dell'esposizione, questa procede illustrando l'ultimo caso citato, detto DVB (*Digital Video Broadcast*), in cui il satellite semplicemente

ritrasmette verso una estesa area geografica i segnali ricevuti da terra, come mostrato in figura 25.4, assieme all'*ipsogramma*¹⁷ relativo.

25.3.1 Studio di produzione

Non volendo assolutamente entrare qui negli innumerevoli dettagli che andrebbero illustrati, limitiamoci a descrivere i passi necessari a generare il segnale inviato al satellite:

- si effettua la codifica digitale MPEG2 (§ 10.3.1.4) del segnale televisivo, ottenendo un flusso numerico chiamato PS (*Program Stream*);
- più PS sono pacchettizzati e multiplati (§ 10.3.2.1) in un nuovo flusso chiamato MPEG-TS (*Transport Stream*), assegnando loro un identificativo noto come PID (*Packet Identifier* o *Program ID*);
- alcuni PID sono riservati per indicare l'inserimento all'interno del TS di informazioni di controllo (*o tabelle*) note come PAT (*Program Association Table*), PMT (*Program Map Table*), CAT (*Conditional Access Table*), NIT (*Network Information Table*), etc;
- il TS è sottoposto ad un processo di *scrambling* basato su di un generatore binario pseudocasuale, in modo da renderne la densità spettrale più uniforme possibile;
- il risultato è sottoposto ad una codifica di canale FEC (vedi pag. 467) a tre stadi (§ 17.4.2.6), in cui è prima applicato un codice di *Reed-Solomon* (§ 17.4.1.4), poi un *interleaver*, (§ 15.6.2.3) e quindi un codificatore *convoluzionale* (§ 17.4.2), rendendo il segnale particolarmente robusto nei confronti degli errori di trasmissione sia singoli che a burst;
- il nuovo flusso numerico è modulato QPSK (a due bit per simbolo, § 16.2.1) con codifica *di Gray*, sagomando i simboli con un filtro a coseno rialzato con $\gamma = 0.35$ ripartito tra trasmettitore e ricevitore finale, ossia adottando un formatore di impulsi a *radice di coseno rialzato* (vedi § 15.2.2.3).

25.3.2 Uplink

Il *collegamento in salita* (UPLINK) è quello mediante il quale lo studio di produzione invia al satellite l'MPEG-TS che deve essere re-distribuito. Il segnale sopra descritto è quindi amplificato a potenza W_{dT} , parte della quale si perde nel cavo che collega l'antenna trasmittente di guadagno G_T^e . L'EIRP^e (*Equivalent Isotropically Radiated Power*) rappresenta la potenza effettivamente irradiata¹⁸, che si riduce notevolmente nella trasmissione da terra a satellite. Considerando una portante di 2 GHz e la quota di un satellite in orbita geostazionaria¹⁹ (36.000 Km da terra), l'attenuazione di spazio

¹⁷Dal greco *hypsos* che significa *altezza*. Mentre l'*ipsografia* è un diagramma che individua il rilievo altimetrico terrestre, il termine *ipsogramma* è a volte usato nelle telecomunicazioni per descrivere come varia il livello di potenza in funzione della portata di un collegamento.

¹⁸Più precisamente, l'EIRP è la potenza che erogherebbe una antenna isotropa, per generare lo stesso campo elettrico prodotto dalla antenna direttiva nella direzione di massimo guadagno.

¹⁹Un satellite in orbita geostazionaria è visto da terra sempre nella stessa posizione (e ciò consente di puntare l'antenna in modo permanente) in quanto la sua orbita giace sul piano definito dall'equatore,

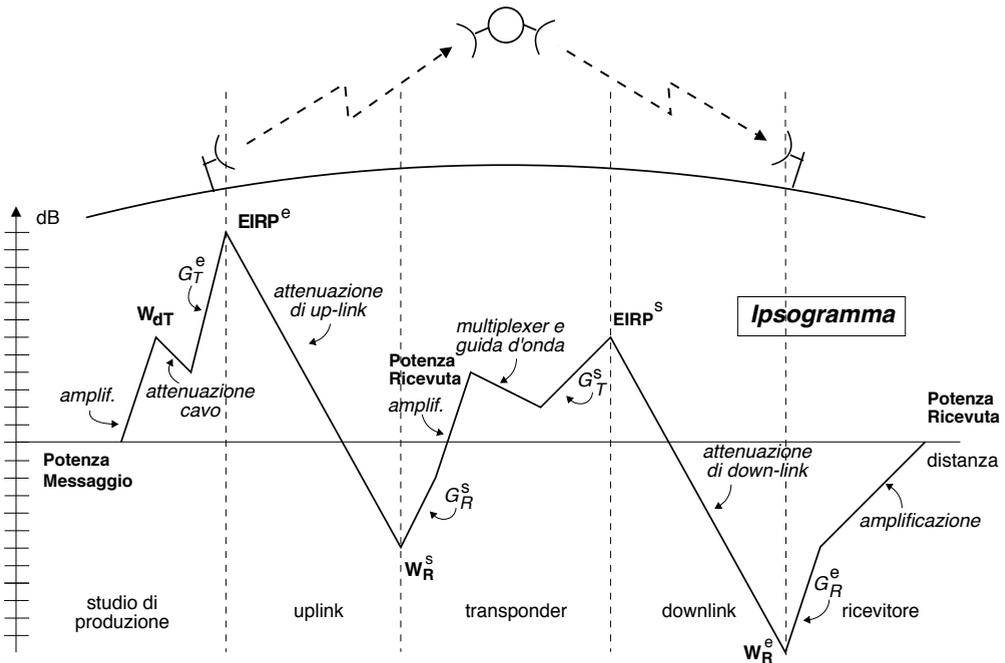


Figura 25.4: Andamento del livello di potenza in dB per un collegamento satellitare

libero dell'UP-LINK (eguale a quella del DOWN-LINK da satellite a terra) è di circa 190 dB.

25.3.3 Transponder

Il segnale ricevuto, di potenza W_R^s , è captato dall'antenna ricevente del satellite di guadagno G_R^s , e quindi ulteriormente amplificato, dopodiché si verificano alcune perdite di potenza nel collegamento con l'antenna *trasmittente* del satellite, di guadagno G_T^s , determinando così il valore della $EIRP^s$ all'uscita del *transponder* satellitare. Questo termine descrive la circostanza che il satellite non si limita ad amplificare il segnale in transito, ma *traspone* anche la banda di frequenze occupata dalla trasmissione. Infatti, essendo la differenza tra $EIRP^s$ e W_R^s molto elevata, se la frequenza portante utilizzata nell'uplink fosse uguale a quella del down-link il segnale trasmesso costituirebbe un insostenibile termine di *interferenza* per il lato ricevente del satellite, nonostante l'elevata direttività delle antenne, dando così luogo ad un fenomeno di *diafonia*²⁰. La Fig. 25.5 mostra come il segnale a banda larga (che trasporta molteplici canali) ricevuto da terra viene prima filtrato alla banda del segnale utile, quindi amplificato

ed il suo periodo di rivoluzione attorno all'asse terrestre coincide con quello di rotazione della terra (pari ad un giorno). Il moto orbitale è causa di una forza centrifuga, che è bilanciata da quella centripeta prodotta dall'attrazione terrestre. Dato che all'aumentare della distanza dalla terra, la prima aumenta (con orbite più grandi, deve aumentare la velocità tangenziale) e la seconda diminuisce, la quota di 36.000 Km costituisce un punto di equilibrio, al disotto del quale il satellite precipiterebbe al suolo, ed al disopra del quale si perderebbe nello spazio.

²⁰Le considerazioni sulla diafonia si applicano altrettanto bene anche al caso di ripetitori terrestri.

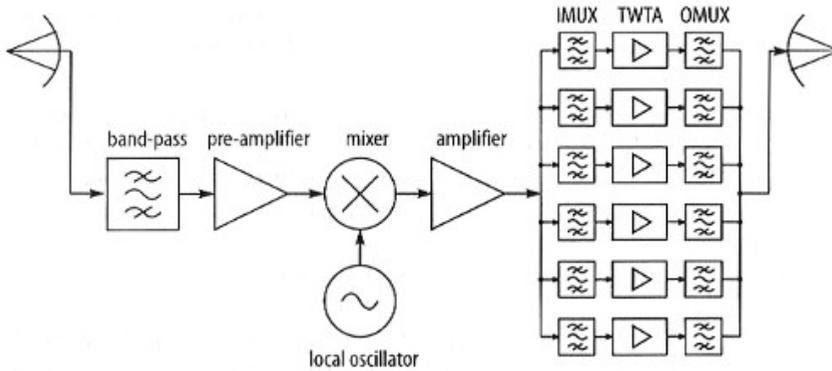
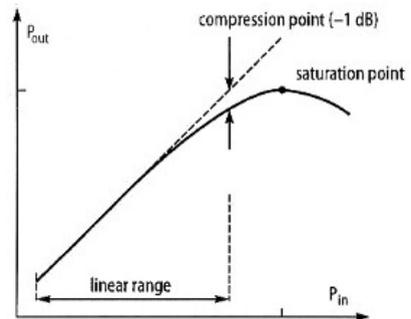


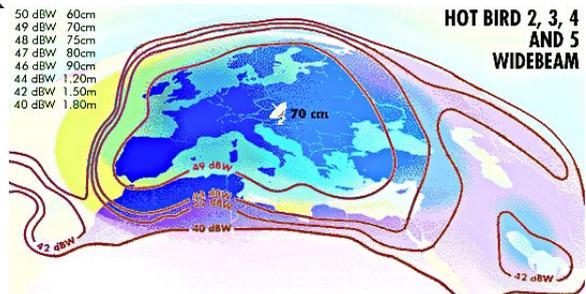
Figura 25.5: Elaborazione di bordo per un trasponder DVB satellitare

una prima volta, poi miscelato con un oscillatore locale²¹, ed infine amplificato una seconda volta²². I singoli canali FDM che compongono il segnale sono quindi separati tra loro mediante il banco di filtri passa-banda indicati come IMUX (*input multiplexer*), e amplificati individualmente mediante dei TWTA²³ che, se spinti alla massima potenza, presentano una caratteristica ingresso-uscita non lineare (vedi § 8.3), mostrata nella figura a lato. Nel caso di trasmissioni modulate angularmente la distorsione in ampiezza è ben tollerata (§ 13.3.3), e quindi l'entità del *back-off* di potenza (§ 13.3.1) può essere mantenuta limitata; d'altra parte, le componenti frequenziali spurie prodotte dalla non linearità devono essere rimosse per non provocare disturbo alle altre comunicazioni, e questo è il compito del banco di filtri passa banda OMUX (*output multiplexer*) posti di seguito ai TWTA.



25.3.4 Footprint e Downlink

L'antenna trasmittente del satellite sagoma il proprio diagramma di radiazione in modo da concentrare la potenza trasmessa in una ben determinata area della terra, dando luogo alla cosiddetta *footprint* (impronta) raffigurata a lato, in cui le



²¹Come descritto al § 12.2.7, l'oscillatore locale deve avere una frequenza f_e tale che $f_d = f_u - f_e$, in modo che il segnale di downlink sia centrato ad una frequenza pari alla differenza tra quella di uplink e quella di eterodina.

²²La suddivisione della amplificazione in due stadi a frequenza diversa previene fenomeni di reazione positiva.

²³*Travelling Wave Tube Amplifier*, ovvero tubi amplificatori ad onda progressiva: https://it.wikipedia.org/wiki/Travelling_wave_tube.

curve isomere individuano sia il livello di potenza ricevuto, che il diametro (e quindi il guadagno) necessario per l'antenna ricevente.

La tecnica che permette di distribuire la potenza emessa secondo una geometria diversa da una simmetria radiale prende il nome di *beamforming*, e si basa sull'utilizzo di più antenne trasmettenti, in modo da realizzare un *phased array*²⁴. Ad ogni antenna dell'array perviene lo stesso segnale modulato, ma con una fase tale da creare uno schema di interferenza con le altre antenne dell'array, in modo che alla distanza di ricezione, si determini la distribuzione spaziale desiderata.

Dal lato del ricevitore terrestre arriva dunque un segnale di potenza W_R^e , che ha subito l'attenuazione del down-link; questo è quindi riportato ad un livello di potenza appropriato, sia grazie al guadagno di antenna, che per mezzo di uno stadio di amplificazione.

25.3.5 Temperatura di antenna

Come illustrato a pag. 665 una antenna ricevente è schematizzabile come un generatore controllato, ed al § 8.4.2.1 si mostra come la sua impedenza interna sia la fonte del rumore additivo gaussiano in ingresso al ricevitore, caratterizzato da una densità di potenza disponibile $W_{dn}(f) = \frac{1}{2}kT_g$, in cui T_g ora viene detta *temperatura di antenna* T_a , e assume un valore inferiore ai 290 °K, e precisamente compreso tra i 15 ed i 60 °K. La fonte diretta di rumore, in questo caso, è il *rumore galattico*, la cui temperatura si abbatta a 10 °K sopra i 2,5 GHz, mentre i *lobi laterali* del diagramma di radiazione captano il rumore legato alla temperatura terrestre²⁵.

25.3.6 Ricevitore a terra

La figura 25.6 mostra l'architettura del ricevitore satellitare per la trasmissione televisiva DVB. La parabola, puntata nella direzione del satellite desiderato, riceve il segnale in una di due bande 10.7-11.7 GHz, oppure 11.7-12.75 GHz, ed un dispositivo LNB (*low noise block*) provvede ad un primo stadio di amplificazione a basso rumore, e ad una prima conversione di frequenza che centra il segnale tra 0.95 e 2.05 GHz, in modo da ridurre le perdite introdotte dal cavo coassiale²⁶ che collega l'antenna al ricevitore casalingo. Quindi, si ritrova uno schema simile a quello del trasponder, ovvero amplificatore-mixer-amplificatore, in cui questo secondo stadio eterodina centra il canale desiderato alla frequenza intermedia di 479.5 MHz.

25.3.7 Polarizzazione

Chi ha provato a sintonizzare un ricevitore TV satellitare, si sarà accorto che tra le varie opzioni possibili, si può indicare anche il *tipo di polarizzazione*, orizzontale o verticale. Questo termine si riferisce all'orientamento (rispetto all'orizzonte) del

²⁴https://en.wikipedia.org/wiki/Phased_array

²⁵Per contro, nel caso in cui dietro al satellite verso cui è puntata l'antenna vi sia una stella luminosa, la T_a è più elevata.

²⁶Come descritto nel paragrafo che discute dell'*effetto pelle* (pag. 642), l'attenuazione in dB del cavo aumenta con l'aumentare della radice della frequenza.

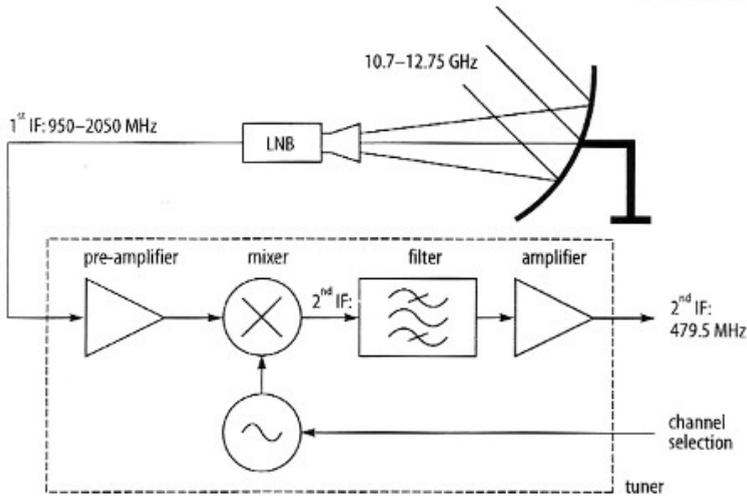


Figura 25.6: Ricevitore satellitare DVB

piano su cui varia il vettore di campo elettrico relativo alla trasmissione radio. Mentre per le trasmissioni terrestri, a causa delle molteplici possibili riflessioni, questo è imprevedibile al ricevitore, nelle comunicazioni satellitari il tipo di polarizzazione adottata dal trasmettitore (il satellite) si mantiene fino a terra. Dato che un segnale polarizzato in un senso, risulta attenuato di decine di dB se ricevuto da una antenna predisposta per la polarizzazione nell'altro senso, nella stessa banda di frequenze possono essere effettuate due trasmissioni contemporanee.

L'opera

Trasmissione dei Segnali e Sistemi di Telecomunicazione

è il risultato di un progetto ventennale di cultura libera, aggiornato di continuo ed evolutosi fino alla forma attuale. La sua disponibilità pubblica è regolata dalle norme di licenza CREATIVE COMMONS

*Attribuzione - Non commerciale -
Condividi allo stesso modo*



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.it>

e tutte le risorse relative al testo sono accessibili presso

<https://teoriadeisignali.it/libro/>

Puoi contribuire al suo successo promuovendone la diffusione e supportarne lo sviluppo attraverso una donazione, in buona parte devoluta ai progetti *open source*¹ che ne hanno resa possibile realizzazione e divulgazione. Ai donatori viene accordato un accesso *vitalizio* al formato PDF *navigabile* di tutte le edizioni presenti *e future*.

1

- . Lyx - <http://www.lyx.org/>
- . L^AT_EX - <https://www.latex-project.org/>
- . TeX Users Group - <https://tug.org/>
- . Inkscape - <http://www.inkscape.org/>
- . Gnuplot - <http://www.gnuplot.info/>
- . Octave - <http://www.gnu.org/software/octave/>
- . Geany - <https://www.geany.org/>
- . Linux - <https://www.linux.it/>
- . Free Software Foundation - <https://shop.fsf.org/>
- . GNOME Foundation - <https://www.gnome.org/>
- . Mozilla Foundation - <https://www.mozilla.org/it/>
- . Wikipedia - <https://it.wikipedia.org>
- . Internet Archive - <https://archive.org/about/>
- . Creative Commons - <https://creativecommons.it/chapterIT/>
- . WordPress - <https://it.wordpress.org/>
- . Phplist - <https://www.phplist.org/>