

PONTI RADIO E SISTEMI SATELLITARI

1. Introduzione

Per *Ponte Radio* PR si intende un sistema che consente lo scambio di informazioni analogiche o numeriche tra due apparati distinti mediante l'uso di onde elettromagnetiche. Per aumentare l'efficienza del collegamento si impiegano sistemi trasmissivi direzionali che si avvalgono di antenne direttive, normalmente, di tipo parabolico in modo che l'energia elettromagnetica sia concentrata in fasci molto stretti diretti verso gli apparati in comunicazione.

Nei sistemi radiotelevisivi diffusivi di tipo *broadcasting*, invece, la situazione è diversa poiché la stazione radiotelevisiva deve servire una utenza distribuita uniformemente sul territorio. Tale tipo di collegamento è unidirezionale nel senso che l'utenza ha il solo compito di ricevere uno dei canali radiotelevisivi disponibili.

Nel caso di ponte radio telefonico il collegamento avviene tra due centrali e deve essere di tipo bidirezionale in modo da garantire lo scambio delle informazioni tra due qualsiasi utenti in entrambe le direzioni di trasmissione.

Le informazioni da trasmettere costituiscono il *segnale modulante* detto anche *segnale in banda base*. Tale segnale è caratterizzato da uno spettro in frequenza la cui larghezza e complessità dipende dalla natura dell'informazione che si desidera trasmettere (segnale telefonico, musicale, video, numerico, ecc.). La frequenza del segnale portante deve essere molto più grande di quella del segnale in banda base in modo da consentire un elevato numero di comunicazioni contemporanee.

Le caratteristiche fondamentali di un sistema a ponte radio sono:

- 1) Frequenza del segnale portante dell'ordine dei GHz.
Valori tipici sono: 2.5 GHz, 4 GHz, 7 GHz, 11 GHz, 13 GHz, 18 GHz; 23 GHz;
- 2) Propagazione rettilinea del fascio di onde elettromagnetiche dovuta alle elevate frequenze di lavoro;
- 3) Larghezza di banda elevata, compresa tra alcune centinaia di MHz fino a qualche GHz tale da poter trasportare un numero elevato di canali informativi;
- 4) Potenze impiegate molto piccole, tipicamente comprese tra 0.5 e 20 Watt.

Si osservi che un sistema a Ponte Radio ha delle caratteristiche diverse da quelle di un classico collegamento radiotelevisivo in particolare per quanto riguarda le frequenze di lavoro e la potenza del trasmettitore. Infatti, nei sistemi diffusivi radiotelevisivi si opera con frequenze di portanti dell'ordine delle centinaia di MHz e potenze anche di diverse decine di KW.

Il Ponte Radio, rispetto ad un collegamento in cavo o in fibra ottica, presenta il vantaggio di una minore complessità di installazione poiché non richiede la posa dei cavi di collegamento tra centrali. Inoltre, è possibile scegliere un percorso alternativo di collegamento modificando semplicemente la direzione spaziale dell'antenna.

Un altro interessante vantaggio offerto da un sistema a Ponte Radio è il modesto ingombro e la facilità di installazione e realizzazione del collegamento. Spesso l'intero apparato si trova alloggiato sul traliccio su cui è installata l'antenna parabolica in modo da minimizzare le perdite di collegamento in guida d'onda (feeder) con l'antenna.

I canali multiplati in tecnica FDM o TDM che si devono trasmettere sono collegati ai dispositivi elettronici del ponte radio tramite cavi coassiali di elevata qualità.

Il collegamento tra gli apparati del Ponte Radio e l'antenna è realizzato mediante guide d'onda dato l'elevato valore delle frequenze in gioco. Alcuni sistemi utilizzano due antenne distinte: una per la trasmissione e l'altra per la ricezione. In altri casi si impiega una sola antenna in grado di operare sia come trasmittente che ricevente. In tutti i casi per evitare interferenze si opera con due frequenze di portante diverse: f_1 per la trasmissione e f_2 per la ricezione.

Nella pratica spesso si utilizzano, per la ricezione, due antenne piuttosto che una sola. Un apposito circuito a soglia sceglie il segnale più forte tra i due ricevuti oppure esegue la media di tali segnali. In tal modo si riescono a compensare i fenomeni di attenuazione e di fading dell'atmosfera.

In fig.1 si mostra lo schema a blocchi di un collegamento a ponte radio con antenne separate.

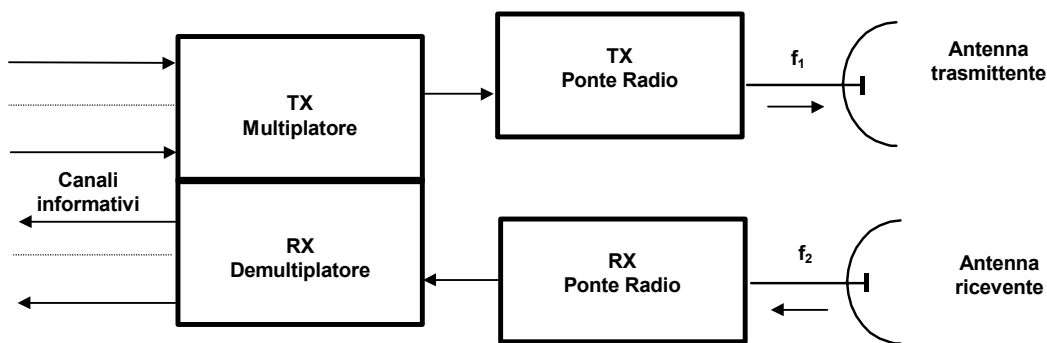


Fig. 1 Schema a blocchi di un sistema a ponte radio a due antenne.

Nei **Ponti Radio Analogici** il multiplatore è di tipo FDM con livello gerarchico fissato dalle note normative già discusse nel Cap.I. Nel campo telefonico sono utilizzati i sistemi gerarchici FDM a: 12, 24, 60, 120, 300, 600, 960, 1800 e 2700 canali.

Il trasmettitore del ponte radio è, in questo caso, un sistema a modulazione di frequenza. La parte ricevente svolge ovviamente le funzioni opposte a quella trasmittente.

Nei **Ponti Radio Numerici** il multiplatore impiega la tecnica PCM tipicamente a 2Mb/s, 34Mb/s e 140Mb/s. Il trasmettitore del ponte radio numerico utilizza le modulazioni digitali PSK a 2 o più fasi oppure la modulazione QAM.

In fig.2 si mostra lo schema a blocchi di un sistema a ponte radio che impiega una sola antenna ricetrasmittente.

Poiché l'antenna deve operare sia in trasmissione che in ricezione è necessario inserire una *forchetta telefonica per microonde*. La forchetta a microonde o *circolatore*, già analizzato nel Cap.3 del Vol.I, è un dispositivo a guida d'onda a tre terminali che opera nel seguente modo: un segnale che entra in un morsetto può uscire solo dal morsetto adiacente indicato dalla freccia. In tal modo il segnale generato dal trasmettitore del ponte radio è inviato all'antenna mentre quello captato dall'antenna è trasferito all'apparato ricevente.

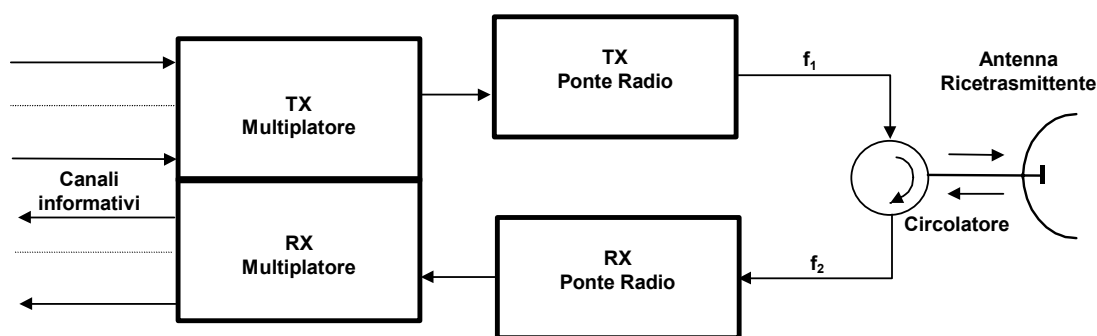


Fig.2 Sistema a ponte radio ad una sola antenna ricetrasmittente.

Il collegamento tra due *stazioni terminali* di un sistema a ponte radio può essere:

- Terrestre
- Spaziale

Nel primo caso le stazioni radio in collegamento sono tutte dislocate sulla terra mentre nel secondo caso ci si avvale di un satellite per telecomunicazioni in grado di modificare la traiettoria dei segnali radio.

Le bande di frequenza utilizzate nei ponti radio terrestri e spaziali sono state normalizzate in sede internazionale dall'ITU-T e dal CCIR. Nella tabella 1 si riporta la classificazione e la gamma delle frequenze per i ponti radio terrestri relative al Piano Nazionale di Ripartizione delle Radiofrequenze PNRR.

Tabella 1
Bande di frequenza impiegate nei Ponti Radio Terrestri

Banda di frequenza (MHz)	Commento
1427-1535	Ponti Radio di piccola e media capacità. Questa banda è usata dalla RAI per trasferire programmi musicali.
1900-2690	E' usata dalla RAI per il trasferimento di programmi TV e da TELECOM per il trasferimento di canali telefonici in tecnica FDM con capacità massima di 960 canali.
3600-4200	Banda con ottime caratteristiche di trasferimento utilizzata da TELECOM nei Ponti Radio telefonici a lunga distanza della rete nazionale.
5925-7750	Utilizzata nei Ponti Radio di medie e grande capacità su distanze fino a 60 Km. La TELECOM utilizza tale banda per Ponti Radio in tecnica FDM e PCM.
10700-11700	Questa banda risente dei fenomeni di evanescenza meteorologici. E' impiegata per collegamenti non superiori a 25 Km.
12750-13250	Questa banda risente notevolmente dei fenomeni atmosferici e presenta notevoli limitazioni in caso di pioggia. E' impiegata esclusivamente nei Ponti Radio Numerici per distanze non superiori ai 25 Km.
15230-15350	Questa banda risente fortemente dei fenomeni atmosferici. E' impiegata da TELECOM nei Ponti Radio Numerici urbani o settoriali o di giunzione per collegamenti non superiori a 10 Km
17700-19700	Questa banda risente fortemente dei fenomeni atmosferici. E' impiegata da TELECOM nei Ponti Radio Numerici urbani o settoriali o di giunzione per collegamenti non superiori a 10 Km

Nella tabella 2 si riportano i valori delle frequenze assegnate dalla Conferenza Amministrativa Mondiale per le Radiocomunicazioni WARC per i Ponti Radio via satellite. Il collegamento tra la stazione a terra e il satellite è detto **up-link** mentre quella tra il satellite e la stazione a terra è detto **down-link**.

Tabella 2
Bande di frequenza assegnate dal WARC
per il servizio via satellite.

Banda di frequenze (GHz)	Collegamento
3.4 - 4.2	down-link
4.5 - 4.8	down-link
5.725 - 5.850	up-link
5.850 - 7.075	down-link
7.25 - 7.75	down-link
7.9 - 8.4	up-link
10.7 - 11.7	down-link
12.5 - 12.75	down-link
12.5 - 13.25	up-link
12.75 - 13.25	up-link
14 - 14.5	up-link
17.7 - 21.2	down-link
27.5 - 31	up-link
37.5 - 40.5	down-link
42.5 - 43.5	up-link
47.2 - 50.2	up-link
50.4 - 51.4	up-link

2. Ponte Radio Analogico

Si è già detto che un ponte radio analogico è un sistema di collegamento che sfrutta la modulazione di frequenza per convogliare, mediante onde elettromagnetiche, segnali multiplati in tecnica FDM. La frequenza della portante è tipicamente compresa tra 2 e 11 GHz mentre il numero di canali telefonici multiplati è compreso tra 12 e 2700 secondo precise direttive del Comitato Consuntivo Internazionale delle Radiocomunicazioni CCIR. In fig. 3 si mostra lo schema blocchi di una stazione terminale di un ponte radio analogico a *modulazione indiretta*.

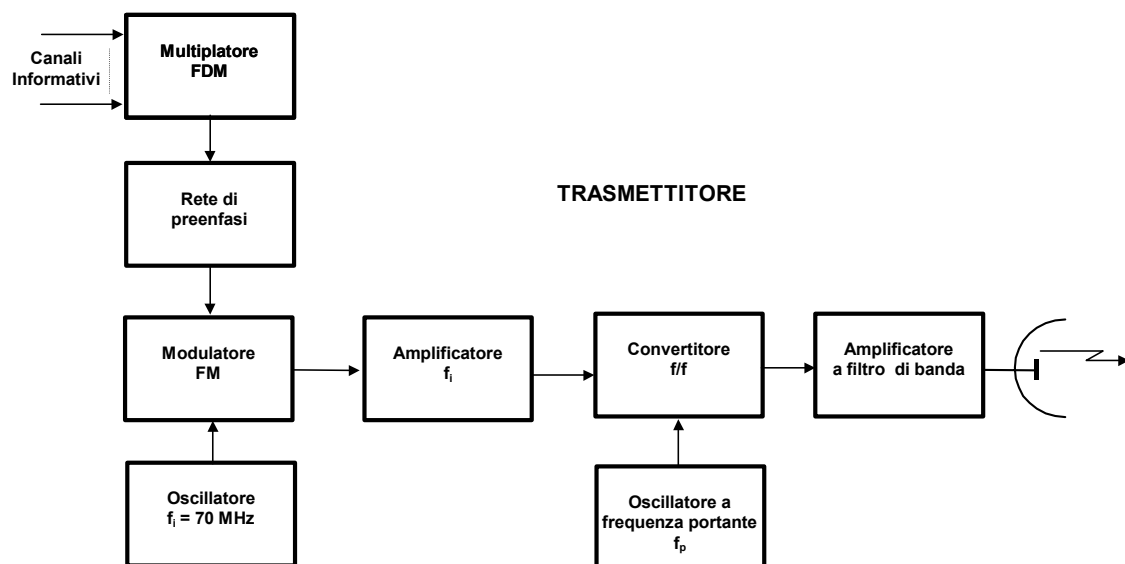


Fig. 3a) Schema a blocchi di un trasmettitore a modulazione indiretta.

Fig. 3b) Schema a blocchi di una stazione ricevente.

Nella sezione trasmittente il segnale in banda base proveniente dal multiplatore FDM modula una sottoportante a frequenza intermedia uniformata al valore di 70 MHz. Il segnale FM così ottenuto è successivamente amplificato e traslato alla frequenza di portante f_p dal convertitore frequenza/frequenza denominato *mixer up-converter*. L'amplificatore a filtro di banda finale provvede a conferire la necessaria potenza per il comando del sistema d'antenna.

La sezione ricevente utilizza il noto schema a supereterodina tipico dei radioricevitori FM. Il segnale ricevuto dall'antenna è traslato alla frequenza intermedia $f_i = 70$ MHz dal convertitore f/f denominato, in questo caso, *mixer down-converter*. Successivamente il segnale è demodulato e demultiplato.

I circuiti CAG e CAF sono impiegati per realizzare il controllo automatico del guadagno e della frequenza con le stesse modalità già esaminate per i radioricevitori FM.

La rete di preenfasi nel trasmettitore e di deenfasi nel ricevitore consentono, come è noto, di amplificare i segnali a frequenza più alta e attenuare quelli a frequenza più bassa al fine di equalizzare il rapporto segnale/rumore su tutta la banda di frequenza del segnale modulante.

Un'altra tecnica utilizzata per realizzare la parte trasmittente è quella della *modulazione diretta* riportata in fig.4.

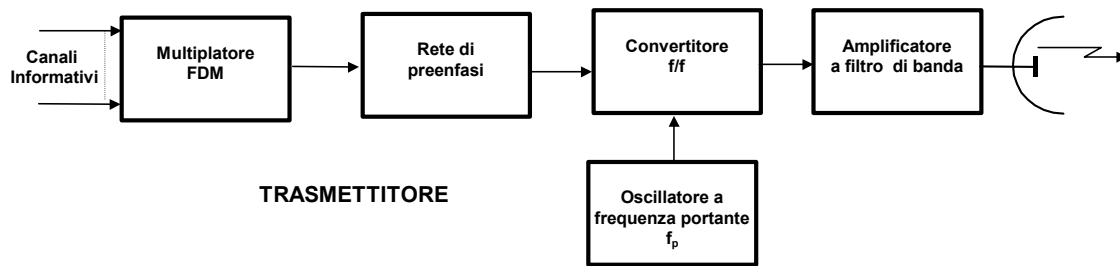


Fig. 4 Sezione terminale trasmittente a modulazione diretta.

In questo caso il segnale in banda base proveniente dal moltiplicatore FDM è direttamente modulato in FM alla frequenza della portante. La modulazione diretta è utilizzata solo nei casi in cui la frequenza del segnale in banda base è maggiore del valore della frequenza intermedia $f_i = 70$ MHz.

In tutti i casi gli oscillatori impiegati in un sistema a ponte radio devono essere ad elevata stabilità in frequenza ottenuta mediante controllo automatico con circuiti a PLL pilotati da oscillatori al quarzo.

Per quanto concerne gli elementi attivi utilizzati per realizzare le necessarie amplificazioni normalmente si impiegano transistor FET all'Arsenurio di Gallio GaAs per alta frequenza in grado di operare correttamente fino a 30 GHz con potenze di qualche Watt.

Nei Ponti Radio che lavorano a potenze più elevate si utilizzano particolari tubi a vuoto ad *onde progressive* denominati Traveling Wave Tube TWT.

3. Ponte Radio Numerico

Per Ponte Radio Numerico si intende un sistema di trasmissione radio a microonde nel quale il segnale modulante in banda base è un segnale numerico organizzato in una trama PCM.

Il segnale PCM in banda base, in codice NRZ bipolare, modula una portante a radiofrequenza che, opportunamente amplificata, è trasmessa nello spazio libero.

Il tipo di modulazione può essere di ampiezza ASK, di fase PSK o mista QAM.

La modulazione ASK è impiegata in ambito settoriale o distrettuale per collegamenti numerici PCM a 2 Mbit/sec nella banda di frequenza tra 12 GHz e 13 GHz con profondità di modulazione di circa l'80%. In fig.5 si riporta lo schema a blocchi di un sistema a Ponte Radio Numerico con modulazione ASK.

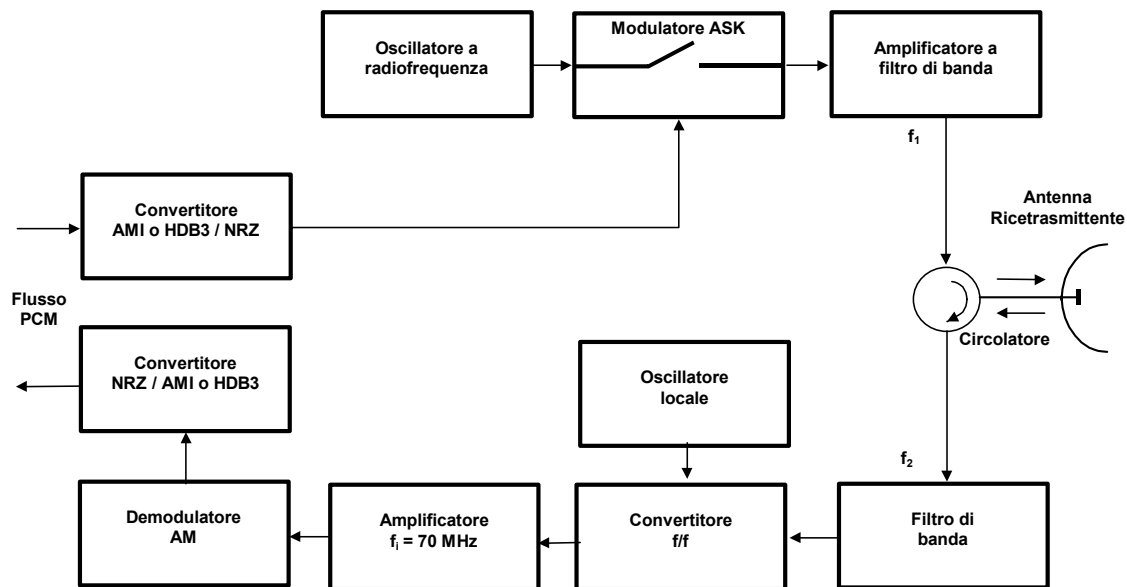


Fig. 5 Schema a blocchi di un sistema a ponte radio numerico con modulazione ASK.

Il segnale multiplato PCM, normalmente in codice AMI o HDB3, è convertito in codice NRZ bipolare ed è quindi modulato in ampiezza dal modulatore ASK. L'amplificatore a radiofrequenza a filtro di banda provvede ad amplificare le componenti armoniche del segnale ASK comprese nella banda di lavoro e a pilotare il circuito d'antenna.

La sezione ricevente contiene un filtro di banda in grado di selezionare solo il canale che si intende ricevere. Il circuito convertitore f/f ha, come al solito, il compito di traslare le frequenze del canale ricevuto al valore di $f_i = 70$ MHz.

Il demodulatore AM consente di rigenerare il segnale numerico in codice NRZ con cui ricostruire il flusso PCM.

Attualmente nei Ponti Radio Numerici si preferisce utilizzare la modulazione PSK e la modulazione QAM. Come è noto nella modulazione PSK alla portante sinusoidale si fa assumere una determinata fase in funzione dei bit che si intendono trasmettere.

Nella modulazione bifase 2 PSK il salto di fase è di 180° per cui se il bit da trasmettere assume il livello logico 1 la portante conserva la stessa fase mentre se il livello logico è 0 il segnale è trasmesso con uno sfasamento di 180° .

Nella modulazione 4 PSK si hanno quattro salti di fase ciascuno di 90° mentre nella modulazione 8 PSK i salti di fase sono otto e ciascuno è di 45° .

Nella modulazione QAM si modula la portante a radiofrequenza sia in ampiezza che in fase. Nei Ponti Radio Numerici si utilizza la modulazione 16 QAM e 64 QAM.

Le precedenti tecniche di modulazione sono utilizzate nei sistemi a Ponte Radio Numerici a 2 Mbit/sec e a 34 Mbit/sec impiegando il metodo della modulazione indiretta con sottoportante a 70 MHz come mostrato nello schema a blocchi di fig.6.

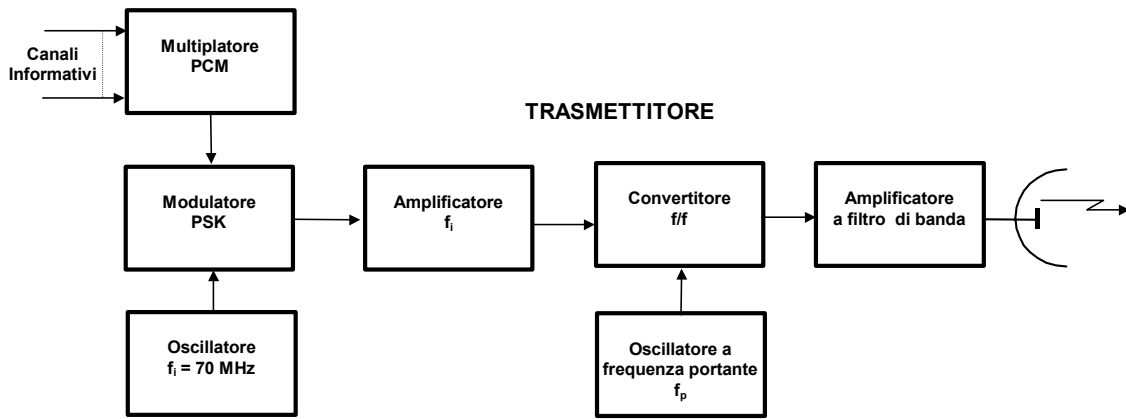


Fig. 6a) Schema a blocchi di un trasmettitore numerico per Ponte Radio.

Fig. 6b) Schema blocchi di un ricevitore numerico per Ponti Radio.

Nei Ponti Radio Numerici di gerarchia superiore, ad esempio a 140 Mbit/sec, si deve utilizzare sempre il metodo di modulazione diretto poiché la frequenza di cifra di tali segnali è superiore a quella di 70 MHz fissata come frequenza intermedia.

In tutti i casi la demodulazione è sempre realizzata a livello di frequenza intermedia in modo da semplificare e standardizzare i circuiti del ricevitore.

Nelle trasmissioni in Ponte Radio oltre all'invio del segnale in banda base è necessario trasferire una opportuna *banda di servizio* che trasporta una serie di informazioni (telecontrolli, informazioni di supervisione e scambio, ecc.) necessarie a garantire un corretto collegamento tra le stazioni terminali. L'impiego della banda di servizio produce un inevitabile aumento, anche se di pochi Kbit/sec, della velocità di trasmissione. Ovviamente gli apparati di trasmissione e ricezione devono contenere dei circuiti in grado di gestire le informazioni di controllo.

3.1 Modulatori PSK a radiofrequenza

Nel Cap.I si sono analizzati numerosi schemi di modulatori e demodulatori PSK e QAM basati sull'impiego del modulatore ad anello riportato in fig.7.

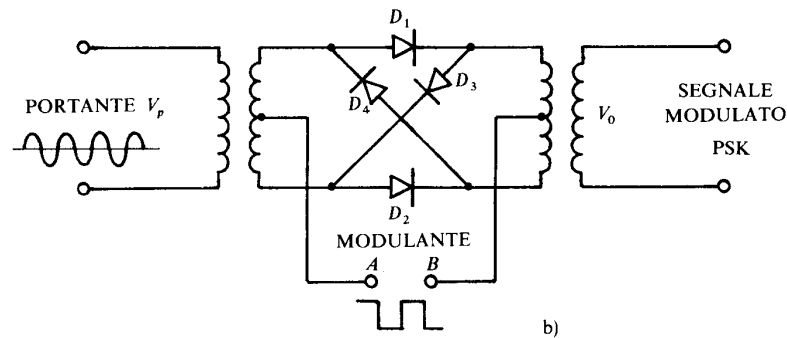


Fig. 7 Modulatore 2 PSK ad anello incrociato.

I sistemi basati sul modulatore ad anello a diodi non possono essere impiegati nel capo delle radiofrequenze, tipiche dei Ponti Radio, poiché è estremamente difficile realizzare trasformatori in grado di operare correttamente a tali frequenze che, nel caso della modulazione indiretta è di 70 MHz.

In questi casi per realizzare le modulazioni PSK si ricorre a *modulatori a radiofrequenza* costituiti da dispositivi a guida d'onda e da linee di trasmissione in alta frequenza. Nella pratica si utilizza il **modulatore a circolatore** e il **modulatore ibrido**. I modulatori a radiofrequenza sfruttano, tra l'altro, la caratteristica di una linea di produrre uno sfasamento proporzionale alla lunghezza della linea stessa. In fig.8 si riporta la schematizzazione di una linea di lunghezza L chiusa in cortocircuito.

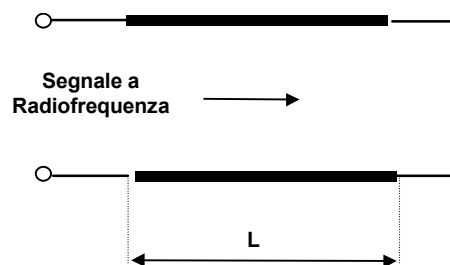


Fig.8 Tratto di linea chiuso in cortocircuito.

E' noto che se i terminali di uscita di una linea sono chiusi in corto circuito in tali punti la tensione riflessa è in opposizione di fase con quella diretta; ovvero la sfasamento è: $\Delta\varphi_{cc} = \pi$.

Lo sfasamento totale, espresso in radianti, subito dal segnale a radiofrequenza per percorrere in andata e ritorno il tratto di linea di lunghezza L vale:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2L + \Delta\varphi_{cc} \quad (1)$$

In particolare:

per $L = \lambda/4$ si ha: $\Delta\varphi = 2\pi$.

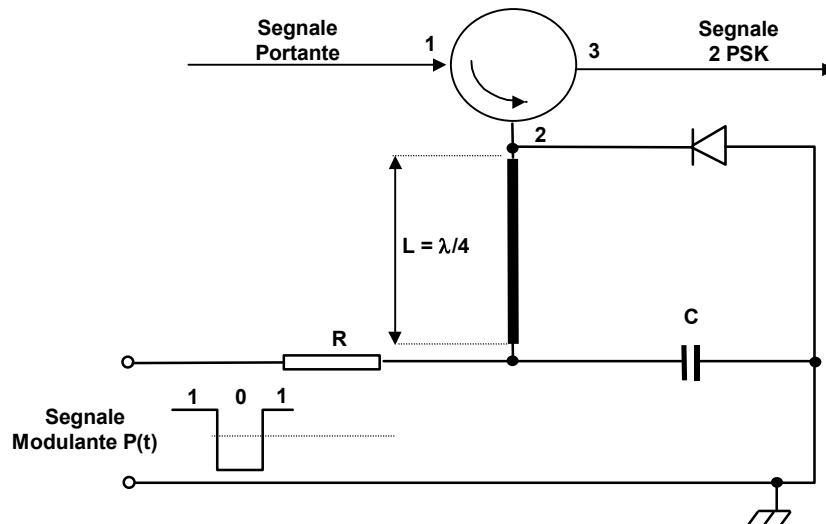
il segnale riflesso torna in entrata in fase;

per $L = \lambda/8$ si ha: $\Delta\varphi = (3/2)\pi = -\pi/2$: il segnale riflesso torna in entrata sfasato di -90° .

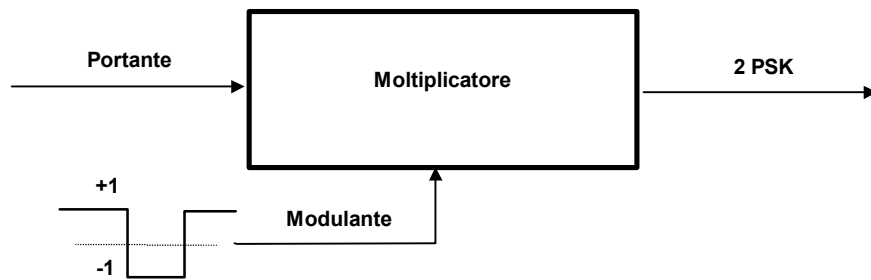
La lunghezza della linea per la tipica frequenza di 70 MHz è di circa 1m per $L = \lambda/4$.

3.1.1. Modulatore a circolatore

In fig.9 si riporta lo schema di principio di un modulatore 2PSK a radiofrequenza a circolatore.



a)



b)

Fig.9a) Modulatore a radiofrequenza 2 PSK a circolatore;
b) Schema a blocchi equivalente. E un circuito aperto per il segnale modulante

Il dispositivo è costituito da un circolatore, da un diodo PIN per alte frequenze e da una linea di lunghezza $L = \lambda/4$ alla cui uscita è inserito un condensatore C assimilabile ad un cortocircuito alla radiofrequenza del segnale portante. Il segnale binario modulante è in codice bipolare NRZ per cui al livello alto corrisponde una tensione positiva e a quello basso una tensione negativa.

In corrispondenza del livello alto 1 del segnale modulante il diodo è interdetto per cui il segnale a radiofrequenza che attraverso la porta 2 del circolatore percorre la linea in $\lambda/4$ chiusa in cortocircuito dal condensatore C e ritorna nella porta 2 in fase con il segnale

di entrata. Pertanto, sulla porta 3 di uscita del circolatore è presente un segnale a radiofrequenza in fase con la portante.

In corrispondenza del livello basso 0 del segnale modulante il diodo è in saturazione per cui la porta 2 del circolatore è in cortocircuito ed il segnale è immediatamente riflesso in opposizione di fase. In questo caso vale la formula (1) per $L = 0$ cioè $\Delta\varphi = \pi$. Tale segnale è trasferito sulla porta di uscita 3. Riassumendo:

- se $P(t) = 1$ il segnale di uscita è in fase con il segnale portante;
- se $P(t) = 0$ il segnale di uscita è in opposizione di fase con il segnale portante.

La resistenza R ha il solo compito di polarizzare il diodo e non influenza il funzionamento del circuito.

In definitiva il modulatore 2 PSK a circolatore si può rappresentare con lo schema equivalente di fig. 9b) costituito da un moltiplicatore per +1 se il bit del segnale modulante è al livello alto e per -1 se è al livello basso.

Un modulatore a radiofrequenza 4 PSK a circolatore si ottiene combinando opportunamente due modulatori 2 PSK come mostrato in fig.10.

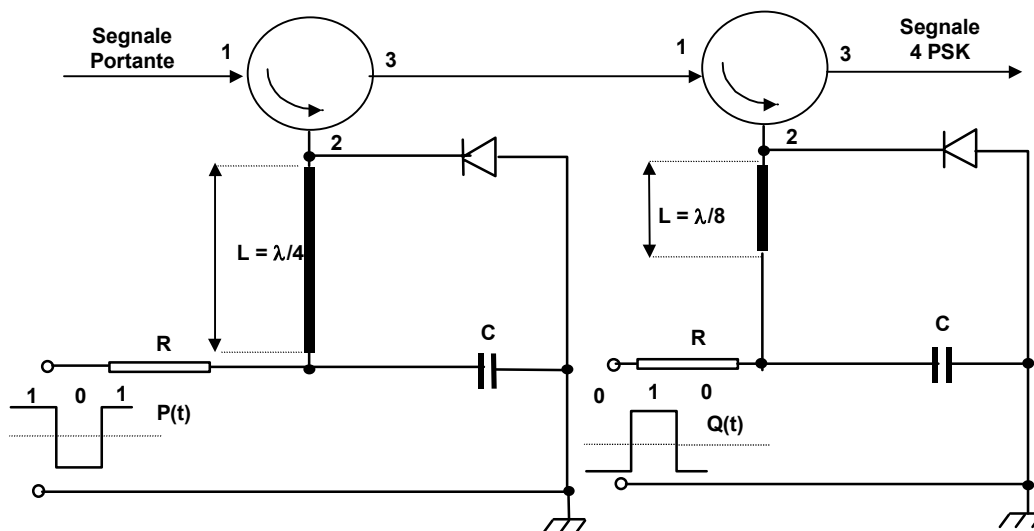


Fig.10 Modulatore a radiofrequenza 4 PSK a circolatore.

Tenendo conto del comportamento delle linee di lunghezza $\lambda/4$ e $\lambda/8$ chiuse in corto circuito è facile ricavare la seguente tabella di funzionamento relativa ai diti $P(t)$ e $Q(t)$ che evidenzia il salto di fase di 90° tra le diverse configurazioni binarie.

Tabella 3
Sfasamenti relativi al modulatore 4 PSK

$P(t)$	$Q(t)$	Sfasamento 1° circolatore	Sfasamento 2° circolatore	Sfasamento totale uscita/entrata
0	0	π	π	0
0	1	π	$-\pi/2$	$\pi/2$
1	0	0	π	π
1	1	0	$-\pi/2$	$-\pi/2$

Nello schema di fig.10 si suppongono nulli gli sfasamenti prodotti dai cavi di collegamento.

Estrapolando i concetti esposti è possibile realizzare modulatori PSK di ordine superiore.

3.1.2. Modulatore a radiofrequenza ad ibrido

Il modulatore ad ibrido a microonde è realizzato o con guide d'onda o su microstrip in tecnologia a film sottile caratteristica delle tecniche dei circuiti integrati. L'ibrido, mostrato in fig.11, è costituito da due tratti di linea a radiofrequenza con un tratto in comune e fessurato nella parte centrale. Il dispositivo è costruito in modo da realizzare il cosiddetto *scambio a metà potenza* tra i due tratti di linea mutuamente accoppiati dalla fenditura. Pertanto, un segnale con potenza P e tensione V inviato nella porta A si propaga nell'ibrido e in corrispondenza della fenditura la potenza si divide in due parti uguali: $P/2$ verso la porta C e $P/2$ verso la porta D. Le rispettive tensioni assumono il valore di $V/\sqrt{2}$ poiché, come è noto, la tensione è proporzionale alla radice quadrata della potenza.

Inoltre, la struttura è costruita in modo tale da produrre uno sfasamento di 90° ad un qualunque segnale che attraversa la fenditura.

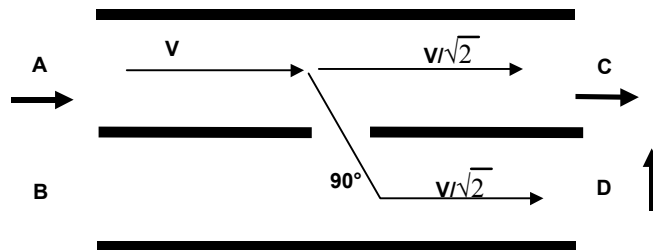


Fig.11 Struttura di base di un modulatore a radiofrequenza ad ibrido.

Se una tensione V a radiofrequenza è inviata nella porta A essa è trasferita sulla porta opposta C in fase e con ampiezza $V/\sqrt{2}$.

Sulla porta D, per effetto della fenditura, la tensione giunge sfasata di 90° e con ampiezza pari a $V/\sqrt{2}$. Supponendo nulle le riflessioni sulle porte C e D nessun segnale giunge sull'uscita della porta B.

In realtà, per ottenere un modulatore PSK, sulle porte C e D si devono produrre ad arte delle riflessioni totali tenendo i morsetti di C e di D o aperti o chiusi tramite due diodi comandati dal segnale modulante.

In fig. 12 si mostra lo schema di principio di un modulatore ad ibrido 2 PSK.

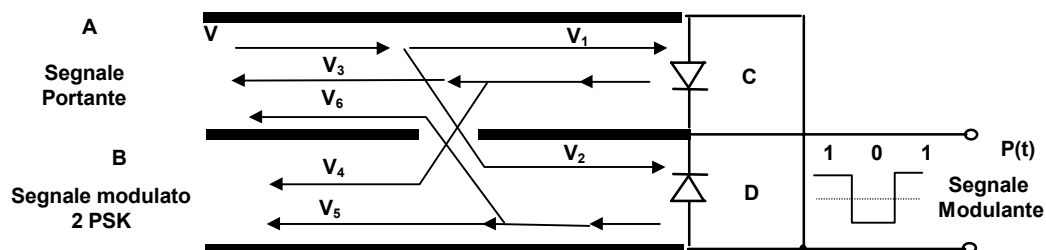


Fig. 12 Modulatore a radiofrequenza ad ibrido 2 PSK.

Se $P(t)$ è al livello logico alto 1 i due diodi sono interdetti e le porte C e D si comportano come i terminali di una linea aperta. In tal caso la tensione riflessa è in fase con quella diretta. Verifichiamo che in tali condizioni e trascurando le perdite

immettendo dalla porta A un segnale a radiofrequenza esso giunge in B con stessa ampiezza; inoltre sulla porta di ingresso A non ritorna alcun segnale.

Supponiamo di immettere nella porta A un segnale a radiofrequenza di ampiezza V e fase 0° indicata con $V[0^\circ]$.

Tale segnale giunto alla fenditura si divide in due parti $V_1 = \frac{V}{\sqrt{2}}[0^\circ]$ che prosegue verso

la porta C e $V_2 = \frac{V}{\sqrt{2}}[90^\circ]$ che attraversa la fenditura.

Il segnale V_1 è riflesso sulla porta C e torna in fase verso l'ingresso. In prossimità della fenditura si divide nuovamente in due parti $V_3 = \frac{V_1}{\sqrt{2}}[0^\circ] = \frac{V}{2}[0^\circ]$ che si propaga verso

la porta A e $V_4 = \frac{V_1}{\sqrt{2}}[90^\circ] = \frac{V}{2}[90^\circ]$ che giunge sulla porta di uscita B.

Anche il segnale V_2 è riflesso dalla porta D è giunto nuovamente in prossimità della fenditura si divide in due parti $V_5 = \frac{V_2}{\sqrt{2}}[90^\circ] = \frac{V}{2}[90^\circ]$ che si dirige verso la porta B e

$V_6 = \frac{V_2}{\sqrt{2}}[90^\circ+90^\circ] = \frac{V}{2}[180^\circ]$ che si dirige verso la porta A.

In definitiva sulla porta A giungono due segnali riflessi:

$V_3 = \frac{V}{2}[0^\circ]$ e $V_6 = \frac{V}{2}[180^\circ]$ che si elidono.

Sulla porta di uscita B sono invece presenti due segnali in fase:

$V_4 = \frac{V}{2}[90^\circ]$ e $V_5 = \frac{V}{2}[90^\circ]$ che si sommano. Per cui per $P(t) = 1$ si ha : $V_B = V[90^\circ]$.

Nel caso in cui il segnale modulante $P(t)$ è al livello logico 0 i due diodi sono in saturazione per cui le porte C e D hanno i terminali di uscita in cortocircuito.

In questo caso il segnale a radiofrequenza riflesso dalle porte C e D è in opposizione di fase con quello diretto.

In queste condizioni, procedendo come prima, si può facilmente verificare che il segnale in B è: $V_B = V[-90^\circ]$ mentre in A non giunge alcun segnale riflesso.

Concludendo si è dimostrato che, a meno di uno sfasamento costante di 90° , sull'uscita B è presente un segnale a radiofrequenza con due fasi possibili, distanti 180° , funzione dello stato logico di $P(t)$.

Per ottenere un modulatore 4 PSK ad ibrido è necessario collegare in cascata due modulatori 2 PSK secondo lo schema di fig.13.

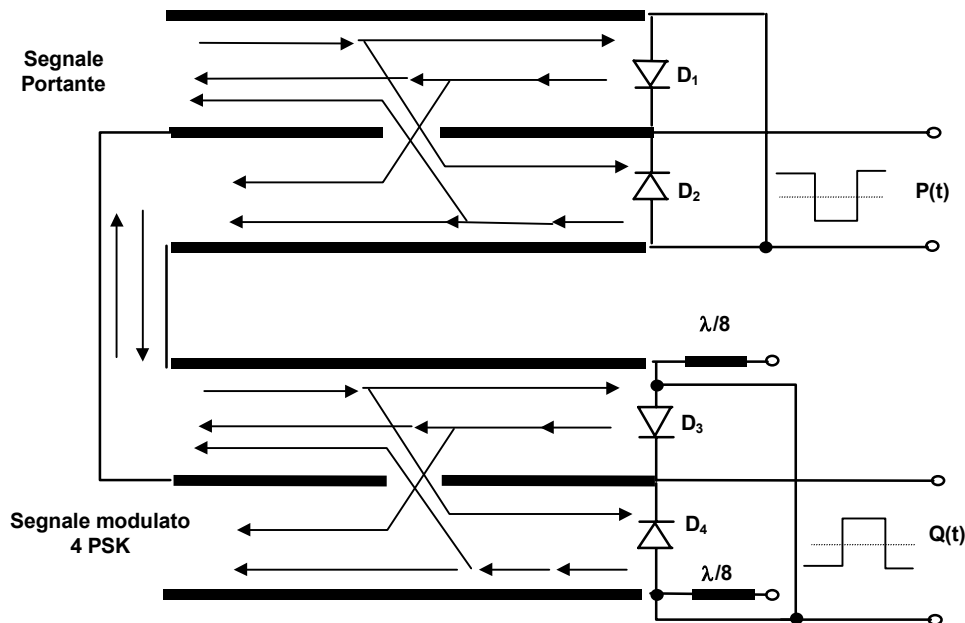


Fig. 13 Modulatore a radiofrequenza 4 PSK ad ibrido.

Il modulatore 2 PSK superiore è analogo a quello esaminato in fig.12, quello inferiore presenta in uscita due linee lunghe $\lambda/8$. Se i diodi D_3 e D_4 sono saturi tali linee non hanno alcun effetto mentre se sono interdetti producono un ulteriore sfasamento di 90° . Procedendo come nel caso del modulatore ad ibrido 2 PSK è possibile verificare che il segnale di uscita ha la stessa ampiezza del segnale portante a radiofrequenza ma con 4 salti di fase funzione delle 4 combinazioni dei bit $P(t)$ e $Q(t)$.

4. Sistemi a fasci multipli

Nelle zone ad elevato traffico i sistemi a Ponte Radio sono realizzati in modo che all'interno della stessa banda passante assegnata possono essere trasmessi più *fasci paralleli* che operano a frequenze diverse. In tal modo si hanno dei sistemi ad elevato numero di canali che impiegano lo stesso percorso radio e la stessa antenna.

La capacità complessiva del *sistema a fasci multipli* è la somma delle capacità trasmissiva dei singoli fasci.

Le frequenze di lavoro delle portanti radio, il numero di fasci, la banda passante di ciascun fascio e la banda passante complessiva sono definite da precise norme internazionali emanate dal CCIR e note come **piani di canalizzazione**.

In fig.14 si riporta la struttura generale dello spettro di frequenza di un sistema di canalizzazione.

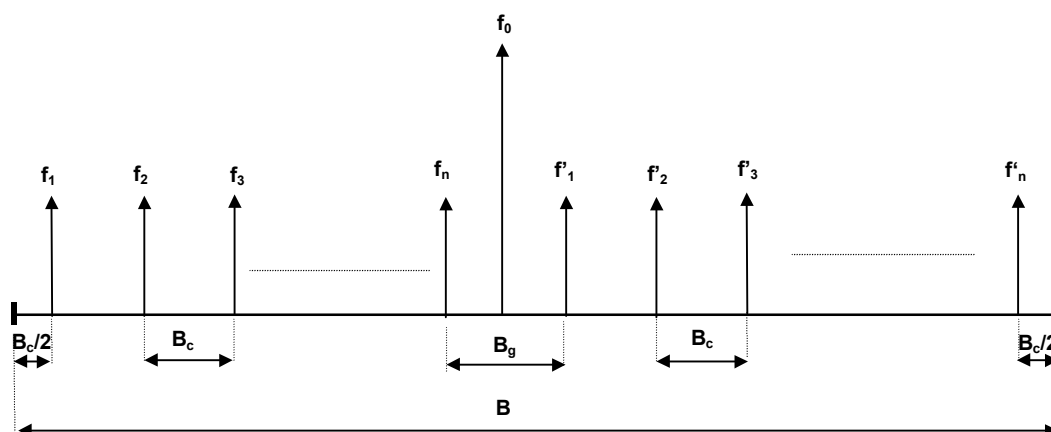


Fig. 14 Struttura generale di un sistema di canalizzazione per Ponte Radio.

La banda complessiva B assegnata al Ponte Radio è divisa in due sottobande di ampiezza $B/2$ ciascuna divisa in n parti. La prima sottobanda è utilizzata per la trasmissione la seconda per la ricezione. Le due sottobande sono separate da una *banda di guardia* B_g . La spaziatura tra le frequenze portanti $f_1, f_2, \dots, f_n$ individua la *banda di canale* B_c . Ciascuna banda B_c è ha un'ampiezza tale da contenere un fascio multiplato FDM o TDM e contemporaneamente evitare eventuali interferenze con fasci adiacenti.

Alle estremità della banda B sono lasciate due semibande di canale di ampiezza $B_c/2$ in grado di assicurare la separazione in frequenza tra fasci adiacenti.

A titolo di esempio si riportano i dati caratteristici di due sistemi di canalizzazione per Ponti Radio secondo la normativa del CCIR:

- 1) Canalizzazione FDM nella gamma degli 11GHz compresa tra 10.700GHz e 11.700GHz con $n=12$ fasci multiplati di capacità complessiva massima equivalente a 1800 canali telefonici.

$$f_0 = 11.200 \text{ GHz}$$

$$B = 1 \text{ GHz}$$

$$B_c = 40 \text{ MHz}$$

$$B_g = 90 \text{ MHz}$$

- 2) Canalizzazione PCM nella gamma dei 13GHz compresa tra 12.750GHz e 13.250GHz con $n=12$ fasci multiplati di capacità complessiva massima equivalente a 960 canali telefonici.

$$f_0 = 13 \text{ GHz}$$

$$B = 500 \text{ MHz}$$

$$B_c = 28 \text{ MHz}$$

$$B_g = 70 \text{ MHz}$$

Nei sistemi di canalizzazione a fasci multipli degli n fasci 1 o al più 2 sono impegnati come *canali di riserva* in modo che in caso di anomalia di funzionamento su un fascio il sistema possa commutare sul canale di riserva. Tale commutazione avviene automaticamente e simultaneamente in entrambe le stazioni terminali in collegamento.

5. Ponte Radio con ripetitore

Il collegamento tra le due stazioni terminali di un sistema a ponte radio può essere:

- 1) ad una tratta;
- 2) a più tratte.

Il collegamento ad una tratta si ha quando le stazioni terminali sono a “vista” e la distanza tra di esse è al più di 50 ÷ 60 Km, come mostrato schematicamente in fig.15.

Fig. 15 Collegamento a ponte radio ad una tratta.

Se le potenze, le attenuazioni e i guadagni delle antenne sono date in dB è possibile ricavare l'espressione della potenza ricevuta P_R dalla stazione terminale mediante la seguente relazione nota come *equazione di tratta*.

$$P_R = P_T + G_T + G_R - A_T - A_R - A_S \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

dove si è indicato con:

- P_T la potenza del trasmettitore;
- G_T il guadagno associato all'antenna trasmittente;
- G_R il guadagno associato all'antenna ricevente;
- A_T l'attenuazione introdotta dalla guida d'onda (feeder) di collegamento all'antenna trasmittente;
- A_R l'attenuazione introdotta dalla guida d'onda (feeder) di collegamento all'antenna ricevente;
- A_S l'attenuazione dello spazio: $A_S = 10 \log(4\pi R/\lambda)^2$ essendo R la distanza tra le antenne

Per quanto concerne il trasmettitore è importante definire i seguenti parametri:

- 1) *Potenza di trasmissione:*

$$P_{TE} = P_T - A_T \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

Indica la potenza effettiva disponibile all'antenna per la trasmissione

2) EIRP Equivalent Isotropic Radiated Power:

$$\text{EIRP} = P_T - A_T + G_T \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

Come è noto dalla teoria delle antenne, l'EIRP indica la potenza equivalente con cui si dovrebbe alimentare un'antenna isotropica ideale per ottenere la stessa intensità di campo elettrico nella direzione di massima irradiazione dell'antenna.

Per evitare interferenze con altri Ponti Radio il CCIR ha imposto dei limiti ai valori di P_{TE} e EIRP; deve essere: $P_{TE} < 13 \text{ dBW}^{(a)}$ (ovvero $P_{TE} < 20 \text{ W}$) e $\text{EIRP} < 55 \text{ dBW}$ (ovvero $\text{EIRP} < 300 \text{ KW}$)

Nel caso in cui le stazioni terminali da collegare sono molto distanti tra loro oppure sono presenti degli ostacoli naturali, come montagne, colline o grossi edifici, è necessario interporre delle stazioni intermedie denominate *ripetitori* come mostrato in fig.16 nel caso di un sistema a due tratte con un solo ripetitore.

I ripetitori possono essere *passivi* o *attivi*.

I **ripetitori passivi** sono costruiti utilizzando uno o più pannelli, normalmente di alluminio, a forma rettangolare disposti su un robusto traliccio metallico ancorato al terreno con fondazioni in cemento armato. Tali pannelli, con dimensioni tipicamente comprese tra 50 m^2 e 100 m^2 , si comportano nei confronti delle radiazioni elettromagnetiche come degli specchi. Pertanto, il principio di funzionamento di un ripetitore passivo si basa sulle note leggi di Snell dell'ottica geometrica.

L'inevitabile rugosità della superficie del pannello introduce un'attenuazione α [dB] valutabile mediante la seguente relazione approssimata:

$$\alpha = 20 \text{Logcos} \left(\frac{360 \cdot \Delta p}{\lambda} \right) \quad [\text{dB}] \quad (5)$$

dove λ è la lunghezza d'onda della radiazione incidente e Δp indica lo scostamento dalla planarità.

Ad esempio, se la frequenza di lavoro del Ponte Radio è di 13 GHz ($\lambda = 23 \cdot 10^{-3} \text{ m}$) e $\Delta p = 1 \text{ mm}$ si ricava: $\alpha = -0.32 \text{ dB}$.

^(a) La potenza misurata in dBW è riferita al valore di 1 Watt. Il valore della potenza espressa in dBW si valuta mediante la relazione: $10 \text{Log} \frac{P}{1W}$

Fig. 16. Collegamento con ponte radio a due tratte.

I **ripetitori attivi** sono costituiti dall'insieme degli apparati ricetrasmittenti del Ponte Radio già esaminati nei paragrafi precedenti.

Le stazioni ripetitrici attive possono essere *semplici* o *composte*.

Nelle *stazioni ripetitrici semplici* il segnale radio ricevuto è semplicemente amplificato in modo da migliorare il rapporto segnale/rumore. Inoltre, per evitare interferenze isofrequenziali tra il segnale radio ricevuto e quello trasmesso i ripetitori lavorano con due frequenze di portante distinte f_1 e f_2 rispettivamente per la ricezione e per la trasmissione.

In fig.17 si mostra lo schema a blocchi di una stazione ripetitrice semplice con circolatori.

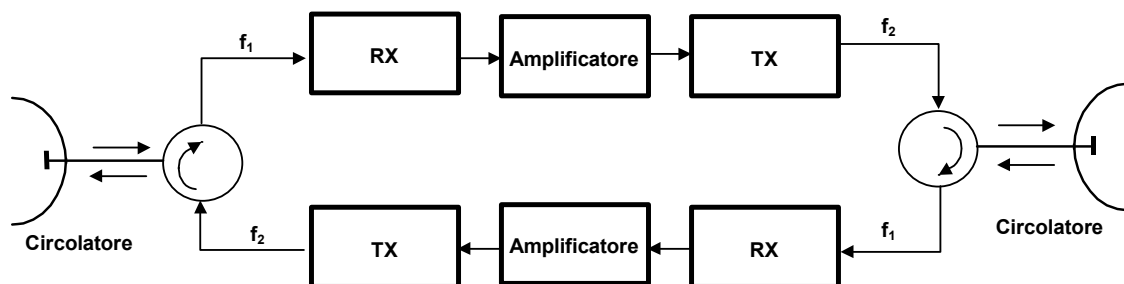


Fig.17 Schema a blocchi di una stazione ripetitrice semplice con circolatori.

Nelle *stazioni ripetitrici composte* è possibile sia estrarre dei flussi in banda base B.B. che inserirne di nuovi entro canali non occupati dal flusso primario in transito.

In fig.18 si mostra lo schema a blocchi di una stazione ripetitrice attiva composta in cui si evidenzia la possibilità dell'estrazione e dell'inserzione di flussi in banda base.

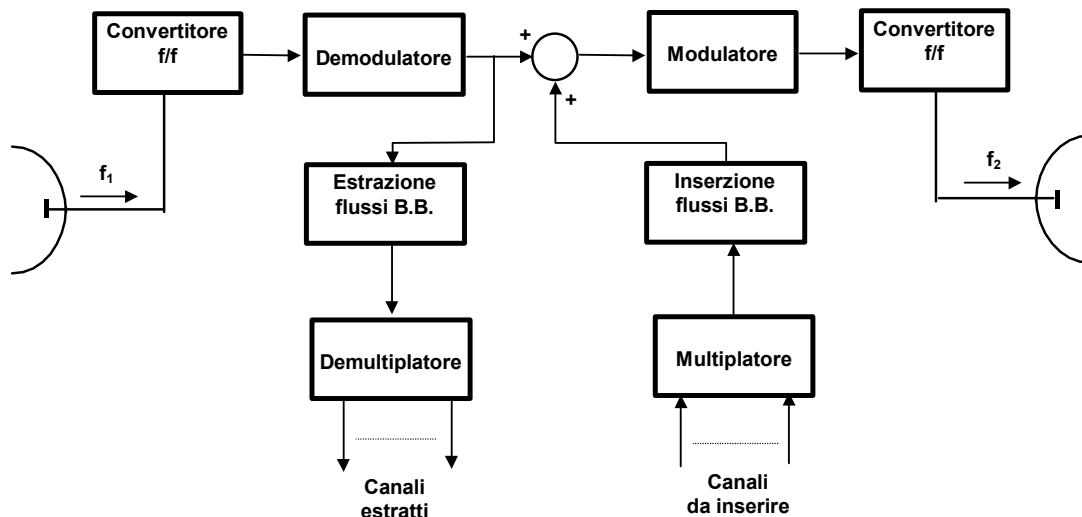


Fig. 18 Schema a blocchi semplificato di una stazione ripetitrice attiva composta.

Nel caso di collegamenti radio a più tratte sono necessarie più stazioni ripetitrici. In tali collegamenti per evitare interferenze le frequenze di lavoro f_1 e f_2 sono assegnate in modo che in ogni stazione ripetitrice le frequenze di ricezione e di trasmissione nei due versi siano uguali tra loro, come mostrato schematicamente in fig.19 per un collegamento con 3 ripetitori.

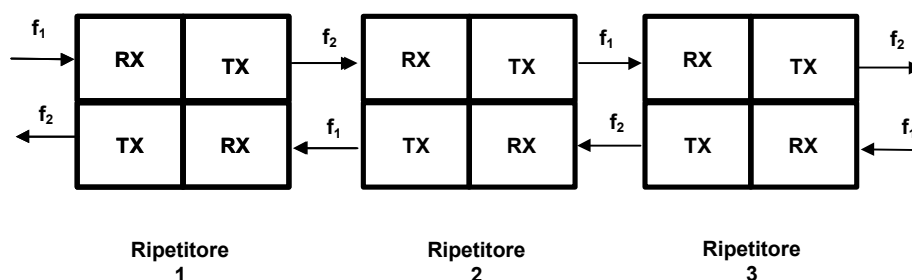


Fig.19 Distribuzione delle frequenze in un collegamento a più tratte.

6. Sistemi Satellitari

L'uso dei satelliti artificiali nel campo delle telecomunicazioni ha avuto inizio nei primi anni '60 soprattutto per scopi militari, meteorologici e di ricerca scientifica. Successivamente divennero chiare le enormi potenzialità commerciali dei satelliti per le telecomunicazioni telefoniche e radiotelevisive internazionali e intercontinentali. Intorno alla metà degli anni '60 nasce un consorzio di 11 paesi, tra cui l'Italia, denominato International Telecommunications Satellite Consorsum INTELSAT con lo scopo di coprire e gestire tutte le comunicazioni satellitari del globo. Il primo satellite della serie I, denominato INTELSAT 101, è stato lanciato nel 1965 e negli anni successivi sono stati messi in orbita altri satelliti sempre più sofisticati in termini di prestazioni, consumi, vita media, numero di canali telefonici disponibili, ecc. Gli ultimi appartengono alla serie VIII e sono denominati INTELSAT 801, lanciato nel marzo del

1997 e INTELSAT 802 lanciato nel giugno del 1997 e INTELSAT 803 lanciato nel settembre del 1997.

Ben presto nacquero nuove organizzazioni locali e mondiali per le comunicazioni via satellite. Le più importanti sono:

- Il sistema satellitare INMARSAT (International Maritime Satellite Organization) che si avvale di 4 satelliti geostazionari e consente il collegamento radiotelefonico e per trasmissione dati tra stazioni marittime o aeronautiche e la terra ferma. Tale sistema è inserito nel progetto organizzato dall'IMO (International Maritime Organization) per la gestione, a livello mondiale, del servizio di soccorso e salvataggio.
- Il sistema GPS di navigazione globale che si avvale di una ventina di satelliti in orbita bassa a 20000 Km uniformemente distribuiti intorno alla terra. Il ricevitore a terra è costituito da un apparecchio, analogo ad un telefonino, in grado di decodificare i segnali del satellite e mostrare su un display le coordinate geografiche del luogo con la precisione di alcuni metri.
- Il sistema satellitare EUTELSAT (European Telecommunication Satellite Organization) impiegato in ambito Europeo è nato nel 1983 e attualmente utilizza una decina di satelliti geostazionari per coprire gran parte del traffico telefonico e radiotelevisivo dei paesi europei.

Il numero di satelliti per telecomunicazioni è, in questi ultimi anni, notevolmente aumentato e si valuta che per la fine del secolo si potranno contare numerose centinaia di satelliti per telecomunicazioni in orbita geostazionaria.

I progressi della tecnologia elettronica e spaziale hanno consentito, tra l'altro, di ridurre notevolmente la complessità degli apparati di ricetrasmittente presenti sia nelle stazioni a terra che a bordo del satellite, il costo della messa in orbita, l'autonomia di funzionamento e la vita media del satellite.

Le bande di frequenza impiegate dai satelliti per comunicazioni commerciali sono:

- la banda L compresa tra 1 GHz - 2 GHz
- la banda C compresa tra 4 GHz - 8 GHz
- la banda K_u compresa tra 12 GHz - 18 GHz
- la banda K_a compresa tra 27 GHz - 40 GHz

Le bande di frequenza usate dai satelliti militari sono:

- la UHF compresa tra 225 MHz - 400 MHz
- la SHF compresa tra 5 GHz - 8 GHz
- la EHF compresa tra 20 GHz - 40 GHz

Attualmente esistono numerose costellazioni di satelliti per telecomunicazioni di media grandezza, con peso complessivo di circa 2 tonnellate operanti, principalmente, in banda C e K_u come INTELSAT, ARABAT, PANAMSAT, ASIASESAT ecc.

Specializzati per la diffusione di canali TV ricordiamo ASTRA, EUTELSAT, DIRECT TV, ACHOSTAR, ecc, mentre per i servizi mobili i satelliti INMARSAT, AMSC, ecc.

In campo militare esistono costellazioni di satelliti operanti in banda UHF, ad esempio il sistema FLEETSATCOM, in banda SHF, il sistema Defense Support Communications System DSCS e in banda EHF il sistema MILSTAR.

Per quanto concerne l'Europa si devono annoverare i sistemi satellitari TELECOM 2 per la Francia, HISPASAT per la Spagna, TURKSAT per la Turchia e ITALSAT per l'Italia.

Il programma italiano ITALSAT si avvale dei satelliti:

- ITALSAT F1 lanciato nel 1991 su un'orbita geostazionaria posizionata a 13° longitudine est con una precisione di $\pm 0.15^\circ$;
- ITALSAT F2 lanciato nell'agosto del 1996 a cura della TELECOM Italia dalla base europea di Kourou nella Guyana Francese con un missile lanciatore Ariane 4 e posizionato in un'orbita geostazionaria a 13,2° di longitudine est.

Il satellite ITALSAT F2 affianca e potenzia ITALSAT F1 fino alla fine della vita operativa di quest'ultimo.

ITALSAT F2 lavora nella banda K_u di frequenza compresa tra 20 GHz e 30 GHz e dispone di una vera e propria centrale telefonica in grado di operare e commutare fino a 12000 circuiti telefonici.

ITALSAT F2 opera con sistemi digitali ad una velocità di trasmissione di 147 Mbit/sec e copre l'intero territorio nazionale collegandosi con le stazioni di terra di TELECOM Italia tra cui: Roma, Torino, Bari, Palermo, Milano, Verona e Fucino

Il sistema ITALSAT F2 consente servizi di comunicazione di telefonia cellulare tra gran parte dei paesi del bacino del mediterraneo.

Il sistema satellitare ITALSAT si pone nell'ottica di un potenziamento della rete di TELECOM Italia ed è utilizzato sia per lo svolgimento del traffico telefonico che per la fornitura di servizi ad elevato valore aggiunto quali: Teletrasmissione di giornali, Videoconferenze, Videotelefono, Telemedicina, Teledidattica, ecc.

Le Aziende che a vario titolo operano nella gestione del sistema ITALSAT sono, tra le altre, l'Alenia Spazio del gruppo IRI/Finmeccanica e la Nuova Telespazio del gruppo STET che cura il controllo del corretto funzionamento del satellite.

6.1. Satelliti geostazionari

I satelliti per telecomunicazioni sono, normalmente, inseriti in orbite equatoriali geostazionarie con un periodo di rivoluzione intorno alla terra di 24 ore. In tal modo il satellite appare fermo (geostazionario) ad un osservatore fisso posto sulla terra.

Le leggi che regolano il moto di un satellite sono quelle della gravitazione universale di Newton. In particolare affinché il satellite possa rimanere in orbita circolare equatoriale intorno alla terra è necessario che la forza di attrazione gravitazionale che la terra esercita sul satellite sia equilibrata dalla forza centrifuga propria del satellite.

Supponendo che la massa M della terra sia concentrata nel suo centro e indicando con m e V_0 rispettivamente la massa e la velocità del satellite si ha, con riferimento alla fig.20:

$$G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2} = \frac{m \cdot V_0^2}{r} \quad (6)$$

ovvero:

$$r \cdot V_0^2 = G \cdot M \quad (7)$$

dove: $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{Kg}^2$ è la costante universale della gravitazione;

$M = 5.98 \cdot 10^{24} \text{ Kg}$ è la massa della terra.

$r = R_T + h$ è la distanza tra il satellite e il centro della terra.

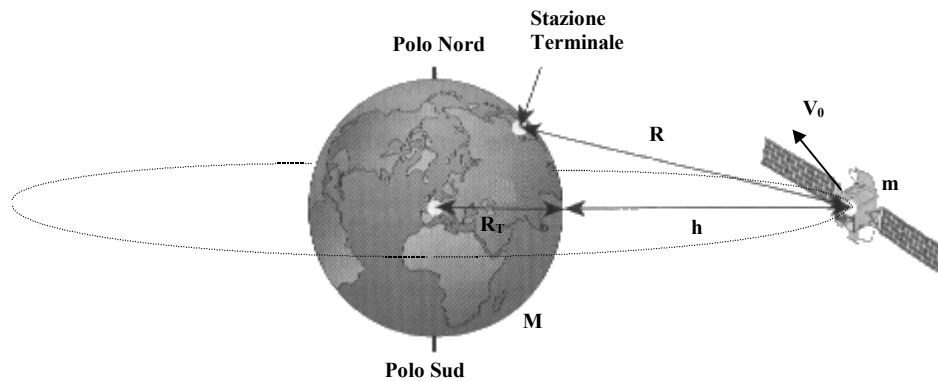


Fig. 20 Schematizzazione del moto di un satellite intorno alla terra.

Affinché il satellite sia geostazionario deve compiere un'orbita completa in 24 ore.

Pertanto il periodo di rivoluzione è:

$$T = 24 \cdot 3600 = 86.4 \cdot 10^3 \text{ sec}$$

la velocità di rotazione è:

$$V_0 = \frac{2\pi \cdot r}{T} \quad (8)$$

Sostituendo la (8) nella (7) si ricava:

$$r = \sqrt[3]{\frac{G \cdot M \cdot T^2}{4\pi^2}} \cong 42200 \text{ Km}$$

Dalla (8) si ricava per la velocità di rotazione il valore $V_0 = 3070 \text{ m/sec}$

Tenendo conto che il raggio della terra è $R_T = 6370 \text{ Km}$ si ricava che la distanza h dell'orbita del satellite dalla superficie della terra vale:

$$h = r - R_T \cong 35830 \text{ Km}$$

Da tale altezza la terra è vista dal satellite entro un angolo di $17^\circ 30'$ equivalente ad una copertura radio, detta *impronta*, di circa 17000 Km^2 corrispondente al 40% della superficie terrestre. Pertanto, tre soli satelliti geostazionari equidistanti tra loro sarebbero sufficienti per coprire l'intero pianeta.

Un satellite può ruotare intorno alla terra seguendo anche orbite diverse da quella circolare geostazionaria purché siano sempre soddisfatte le leggi della gravitazione. Ad esempio, se la velocità di rotazione è diversa da V_0 il satellite ruota su un'orbita ellittica

di cui la terra occupa uno dei due fuochi. In tal caso il punto dell'orbita più vicino è detto *perigeo* mentre quello più lontano è detto *apogeo*.

Le orbite diverse da quella circolare geostazionaria tipiche delle telecomunicazioni sono utilizzate, principalmente, per applicazioni meteorologiche, militari e di ricerca scientifica.

In tutti i casi la velocità di rotazione del satellite deve essere maggiore di una velocità minima $V_{\min}$ al disotto della quale ricade sulla terra e, contemporaneamente, minore di una velocità massima di fuga $V_{\max}$ oltre la quale il satellite sfugge all'attrazione gravitazionale della terra.

Nella realtà l'orbita di un satellite è influenzata da una serie di perturbazioni che possono modificarne la traiettoria. Ad esempio, si deve tenere conto dello schiacciamento dei poli terrestri, della diversa distribuzione degli oceani, delle catene montuose, dell'attrazione della luna, ecc.

Per poter compensare tali perturbazioni ogni satellite è provvisto di un opportuno equipaggiamento che consente il controllo automatico dell'orbita. Inoltre, la velocità e la traiettoria sono costantemente tenute sotto controllo dalle apparecchiature di telemetria delle stazioni a terra. In caso di necessità l'assetto del satellite può essere corretto mediante propulsori chimici comandati dalla stazione a terra.

Appare quindi chiaro che la vita media di un satellite, tipicamente di 10-20 anni, dipende, tra l'altro, dalla quantità di propellente disponibile a bordo.

6.2. I sistemi di bordo

Un sistema di telecomunicazioni che impiega un satellite è, a tutti gli effetti, un collegamento a Ponte Radio tra due stazioni terminali a terra. Il satellite deve svolgere il ruolo fondamentale di stazione ripetitrice attiva con funzioni di controllo e gestione di flussi informativi.

L'insieme delle apparecchiature utilizzate dal satellite per gestire tutte le operazioni di ricetrasmisione dei segnali radio prende il nome di **Trasponder**. Inoltre, si definisce *up-link* la tratta in salita di collegamento tra la stazione di terra e il satellite mentre si definisce *down-link* la tratta in discesa di collegamento tra il satellite e la stazione di terra. In fig. 21 si mostra la schematizzazione di un collegamento satellitare tra due stazioni terminali.

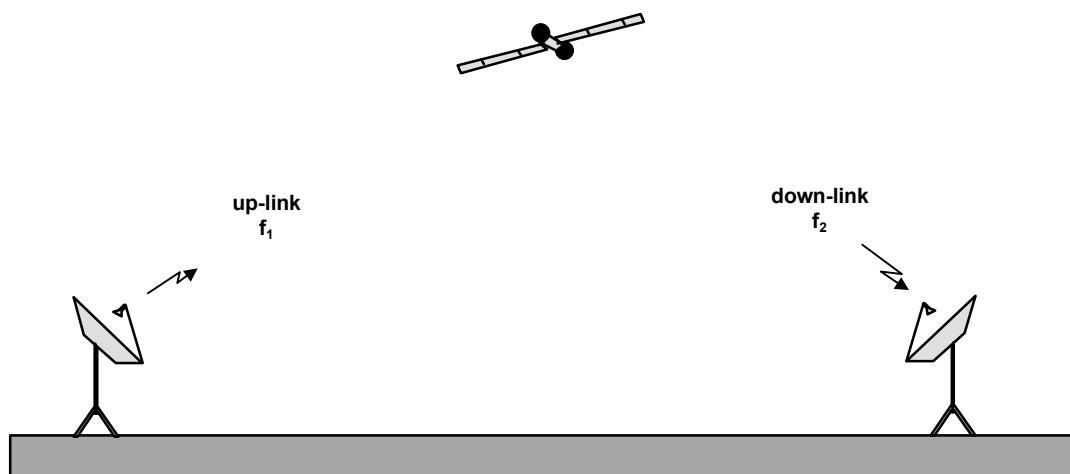


Fig. 21 Schematizzazione di un collegamento via satellite tra due stazioni terminali.

Un collegamento satellitare si può classificare in:

- *punto-punto* se le stazioni terminali in connessione sono solo due. E' questo il caso del collegamento tra due centrali telefoniche o radiotelevisive;
- *punto-multipunto* se da una sola stazione l'informazione è trasferita a più utenti. E' il caso della classica diffusione televisiva;
- *multipunto-punto* se più stazioni origine devono collegarsi ad una sola stazione di destinazione. E' questo il caso della raccolta di informazioni da parte di un centro di elaborazione dati.

In fig.22 si riporta lo schema a blocchi degli apparati fondamentali presenti a bordo di un satellite per telecomunicazioni.

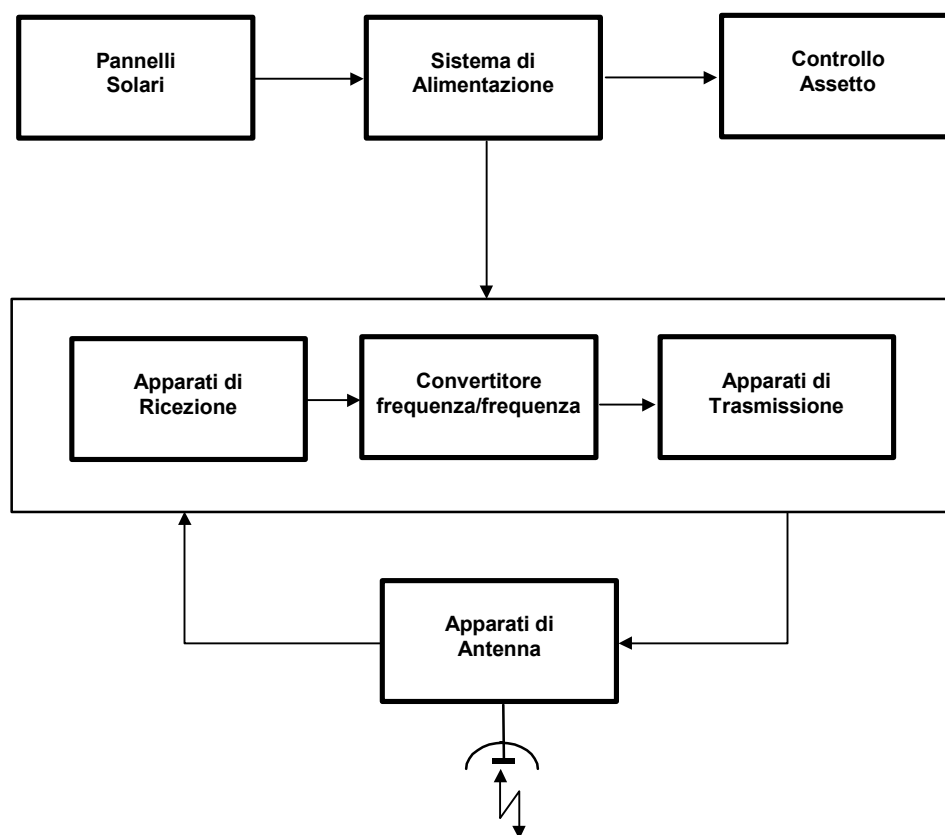


Fig. 22 Schema a blocchi degli elementi fondamentali presenti in un satellite per telecomunicazioni.

I pannelli solari hanno il compito di trasformare l'energia luminosa del sole in energia elettrica per poter generare tutte le f.e.m. necessarie al funzionamento degli apparati di bordo.

Nei satelliti di ultima generazione il numero di trasponder a bordo è di diverse decine operanti a frequenze diverse in modo da poter gestire decine di migliaia di canali telefonici. Ad esempio, il satellite INTELSAT 802 contiene 6 trasponder in banda K_u e 38 trasponder in banda C ed è in grado di gestire fino a 22500 canali telefonici più 3 canali televisivi.

Il trasponder deve assolvere, tra l'altro, alla fondamentale operazione di convertire il canale di ricezione a frequenza portante f_1 (up-link) in quello di trasmissione a

frequenza portante f_2 (down-link). La conversione di frequenza, come più volte detto, è necessaria in tutti i sistemi ripetitori per evitare interferenze tra i segnali in ricezione con quelli in trasmissione. Per rendere più semplici le apparecchiature di bordo del satellite si è stabilito che la frequenza più alta f_1 è impegnata per la tratta in salita mentre quella più bassa f_2 per quella in discesa.

I valori delle bande di frequenze utilizzate nei collegamenti via satellite sono state definite in ambito internazionale dall'ITU-T in funzione del tipo di servizio e dell'area geografica. A tale scopo il globo è stato suddiviso in tre grandi Regioni:

- la Regione 1 comprende L'Europa, l'Africa, il Medio Oriente e il nord dell'Asia;
- la Regione 2 comprende le due Americhe e il Giappone;
- la Regione 3 comprende l'India, la Cina e l'Australia.

Nella seguente tabella 4 si riportano i valori delle principali frequenze utilizzate in ambito Europeo per i collegamenti via satellite.

Tabella 4
Bande di frequenze utilizzate in ambito Europeo per ogni trasponder.

Bande di frequenza GHz	banda	Frequenza f_1 (GHz) up-link Terra-Spazio	Frequenza f_2 (GHz) down-link Spazio-Terra	Larghezza di banda (MHz)
2	S	2.655 - 2.690	2.500 - 2.535	35
4/6	C	4.4 - 4.7	3.4 - 3.7	500
		5.925 - 6.425	3.7 - 4.2	500
7/8	X	7.9 - 8.4	7.250 - 7.750	500
12/14	K _u	14.0 - 14.5	10.950 - 11.200	500
			11.450 - 11.700	500
			11.700 - 12.200	500
20/30	K _a	17.700 - 21.200	27.500 - 31.000	3500
40/50	Q	42.5 - 43.5	37.5 - 40.5	3000
		47.2 - 50.2		3000
		50.4 - 51.4		3000

Le antenne presenti a bordo di un satellite sono normalmente di tipo parabolico e il loro numero dipende dal numero di trasponder e dal tipo di applicazione.

In relazione al valore dell'angolo di apertura delle antenne e della relativa copertura radioelettrica i satelliti si classificano in *satelliti a copertura globale* e *satelliti multifascio*.

In fig.23 si mostra una schematizzazione relativa alla copertura radioelettrica.

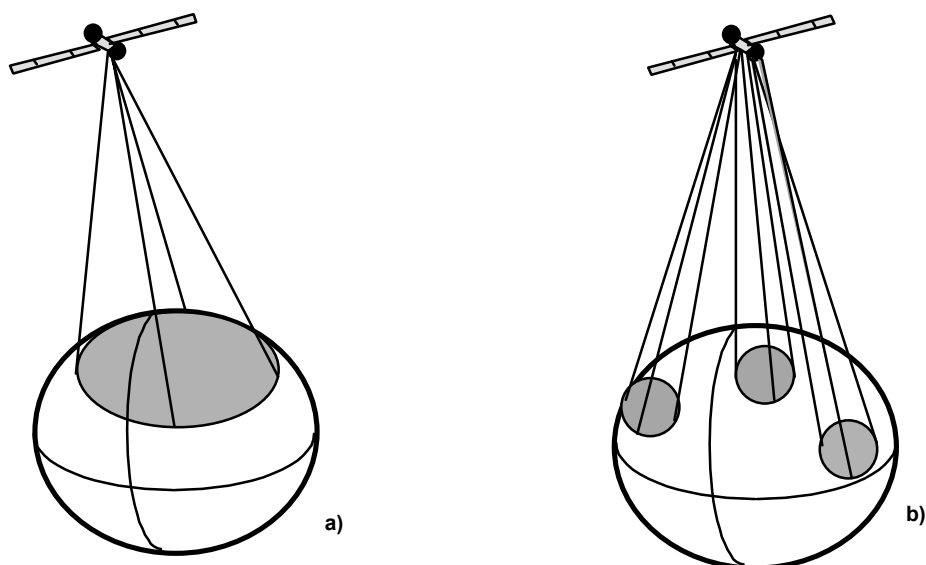


Fig.23 a) Satellite a copertura globale; b) Satellite multifascio.

Nei *satelliti a copertura globale* l'angolo con cui l'antenna vede la terra è quello massimo di $17^{\circ} 30'$ per cui il fascio radio copre circa il 40% della superficie terrestre.

A questa categoria appartengono i satelliti INTELSAT della prima generazione.

Nei *satelliti multifascio* è possibile, con una sola antenna parabolica opportunamente sagomata o con più antenne, realizzare fasci radio direzionali, detti *spot*, capaci di coprire limitate regioni geografiche.

Ad esempio, nei satelliti INTELSAT della serie V , VI, VII è presente:

- un sistema a copertura globale con EIRP massimo compreso tra 23 - 29dBW;
- un sistema, detto *Hemispheric mode*, che copre due lobi distinti ad Est ed a Ovest del satellite ognuno dei quali dispone di un EIRP massimo compreso tra 29- 3dBW;
- un sistema, detto *Zone mode*, che copre due lobi distinti a Nord.Est e a Nord-Ovest del satellite con un EIRP compreso tra 29 -33dBW;
- un sistema, detto *Spot Beam*, con copertura molto contenuta ed elevato EIRP compreso tra 32 - 36dBW.

Ovviamente la copertura della zona geografica interessata dal fascio non è uniforme. La potenza dell'onda radio è più intensa al centro e decresce allontanandosi verso la periferia. Per quantificare tali variazioni sono forniti dei particolari grafici detti **footprint** costituiti da un insieme di linee chiuse costruite unendo i punti a EIRP costante espresso in dBW.

In fig. 24 si riporta il footprint del satellite geostazionario per telecomunicazioni Hot Bird 1 noto anche come EUTELSAT 2F6. Tale satellite, lanciato nel marzo del 1995, è posizionato a 13° longitudine Est e copre gran parte dell'area europea, nord africana e asiatica. Gli elevati valori dell'EIRP presenti sulle regioni italiane consentono di collegarsi al satellite utilizzando antenne paraboliche di ridotte dimensioni tipicamente dell'ordine di 1 m di diametro.

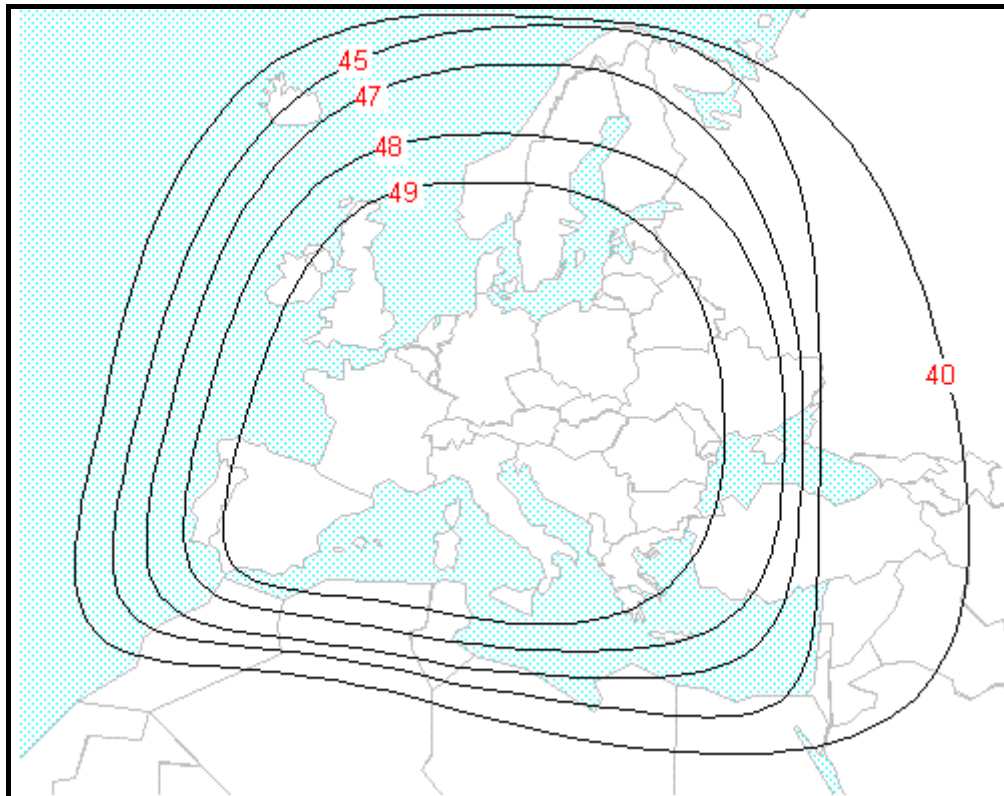


Fig. 24 Footprint del satellite Hot Bird 1 noto come EUTELSAT 2F6.

Per evitare possibili interferenze tra spot adiacenti l'intera banda di frequenza assegnata al satellite è suddivisa in sottobande con una tecnica a celle analoga a quella impiegata nella telefonia cellulare. In tal modo due spot adiacenti lavorano sempre in due bande diverse. Ciò comporta anche un *riuso delle frequenze* poiché spot sufficientemente separati nello spazio possono utilizzare le stesse frequenze di lavoro senza pericolo di interferenze.

Per aumentare ulteriormente il riuso delle frequenze si utilizzano segnali radio a stessa frequenza ma con diversa polarizzazione dell'onda elettromagnetica.

Ricordiamo che per polarizzazione di un'onda elettromagnetica si intende la direzione del piano di oscillazione del campo elettrico associato all'onda. In particolare la polarizzazione è detta *orizzontale*, indicata con **H**, se la componente del campo elettrico oscilla in un piano parallelo alla terra, *verticale* **V** se perpendicolare alla terra; inoltre è possibile anche la polarizzazione circolare di tipo destrorsa o sinistrorsa.

In tal modo, se la stazione a terra e il satellite sono equipaggiati con antenne direttive dotate di opportuni sistemi di polarizzazione, detti *Polarization Diplexer*, è possibile trasmettere simultaneamente nella stessa area geografica e alla stessa frequenza due distinti canali senza interferenza.

Nel satellite INTELSAT V i due spot oltre ad essere separati nello spazio sono separati anche per polarizzazione delle onde elettromagnetiche consentendo per ben 4 volte il riuso delle stesse frequenze.

Nelle trasmissioni satellitari riveste particolare importanza l'attenuazione dello spazio libero A_{sl} essendo le distanze in gioco molto grandi.

In prima approssimazione, trascurando i fenomeni meteorologici, l'attenuazione A_{sl} si può valutare applicando la seguente relazione:

$$A_{sl} = 10 \cdot \text{Log} \left(\frac{4\pi \cdot R}{\lambda} \right)^2 \quad [\text{dB}] \quad (9)$$

dove R è la distanza tra il satellite e il luogo di ricezione. Tale distanza vale:

$$R = \sqrt{R_T^2 + r^2 - 2r \cdot R_T \cdot \cos L \cdot \cos \Delta\ell} \quad (10)$$

avendo indicato con $R_T \cong 6370$ Km il raggio della terra e $r \cong 42200$ Km la distanza tra il satellite e il centro della terra.

Inoltre, $\Delta\ell = \ell_{RX} - \ell_{SAT}$ è la differenza tra la longitudine del satellite e quella del luogo di ricezione, assumendo positive le longitudini est e negative quelle ovest, mentre con L si indica la latitudine del luogo di ricezione.

Esempio n° 1

Calcolare l'attenuazione dello spazio libero per un segnale radio di lunghezza d'onda $\lambda = 2.5$ cm ($f = 12$ GHz) prodotta dal satellite geostazionario EUTELSAT posizionato a 13° longitudine Est e ricevuto da una stazione terminale situata a Roma. Sono note le coordinate geografiche di Roma: 41.9° latitudine Nord e 12.4° longitudine Est.

Risoluzione:

La longitudine relativa del satellite rispetto alla stazione di terra vale:

$$\Delta\ell = \ell_{RX} - \ell_{SAT} = 12.4^\circ - 13^\circ = -0.6^\circ$$

Dalla (10) si ricava:

$$R = \sqrt{R_T^2 + r^2 - 2r \cdot R_T \cdot \cos L \cdot \cos \Delta\ell} \cong 37700 \text{ Km}$$

Sostituendo tale valore nella (9) si ricava:

$$A_{sl} = 10 \cdot \text{Log} \left(\frac{4\pi \cdot R}{\lambda} \right)^2 \cong 205 \text{ dB}$$

Il valore trovato ci dà un'idea dell'enorme attenuazione prodotta dallo spazio libero. Ciò giustifica l'uso di antenne paraboliche ad elevato guadagno.

Per concludere si vuole accennare al problema degli echi dovuti ai notevoli tempi di propagazione, anche di 0.6 sec, tra stazioni terminali lontane. Tale inconveniente è stato superato grazie all'uso di opportuni sistemi elettronici di cancellazione dell'eco basati su sofisticati protocolli di comunicazione.

6.3. Tecniche di accesso multiplo

Si è detto che in un collegamento via satellite un certo numero di stazioni a terra si collegano tra loro inviando contemporaneamente al satellite i relativi segnali radio. Questi trasportano numerose informazioni sotto forma di canali multiplati con tecnica FDM o PCM.

Si definiscono **tecniche di accesso multiplo** l'insieme delle regole e delle procedure atte a realizzare, senza interferenze, la condivisione ottimale del segmento spaziale da parte di più stazioni a terra.

I protocolli di accesso multiplo si distinguono in base ai parametri: frequenza, tempo, spazio o codice, utilizzati per realizzare la multiplazione dei canali.

Le tecniche fondamentali di accesso multiplo sono:

- FDMA Frequency Division Multiple Access
- TDMA Time Division Multiple Access
- SDMA Space Division Multiple Access
- CDMA Code Division Multiple Access

Esistono, inoltre, delle tecniche di accesso multiplo basate sulla combinazione di più tecniche fondamentali. La scelta del metodo da impiegare dipende da numerosi fattori quali: il tipo di utenza, la banda di lavoro, la capacità del collegamento, ecc.

6.3.1. Tecnica di accesso multiplo FDMA

Nella tecnica FDMA l'intera banda di frequenze assegnate a ciascun trasponder è suddivisa in un certo numero di *sottobande* ciascuna delle quali è assegnata ad una stazione terminale. Per evitare interferenze tra canali che impiegano sottobande adiacenti è necessario prevedere delle *bande di guardia* non utilizzate per la trasmissione, come mostrato in fig. 25.

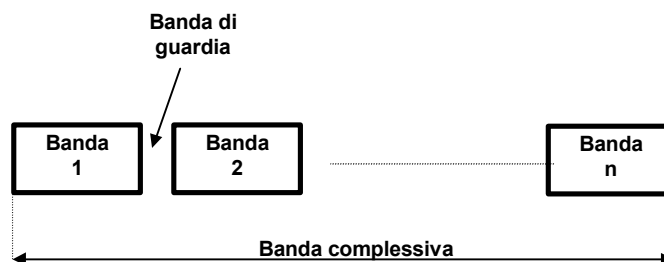


Fig. 25 Divisione della banda di frequenza nella tecnica di accesso multiplo FDM.

Il principale difetto della tecnica FDMA risiede nella non linearità e stabilità degli amplificatori del trasponder che introducono dei fenomeni di interferenza tra canali adiacenti.

Una variante della tecnica FDMA, molto utilizzata nella pratica, è la tecnica FDMA/PSK/SCPC (Single Carrier Per Channel) che consente di realizzare sistemi di comunicazione in grado di servire un elevato numero di stazioni con un buon rapporto

costo/prestazioni. Tale tecnica, utilizzata anche sui satelliti INTELSAT, consente una canalizzazione nell'intorno della frequenza intermedia $f_i = 70$ MHz di 800 canali a modulazione numerica PSK nella banda complessiva $B = 36$ MHz assegnata ad un trasponder.

Gli 800 canali, come mostrato in fig.26, sono affasciati nell'intorno della frequenza intermedia a partire da 52 MHz fino a 88 MHz. La spaziatura tra i canali è di 45 KHz ($800 \cdot 45 \text{ KHz} = 36 \text{ MHz}$).

In particolare i canali 400 e 401 sono *canali di guardia* e, pertanto, non utilizzati per la trasmissione delle informazioni.

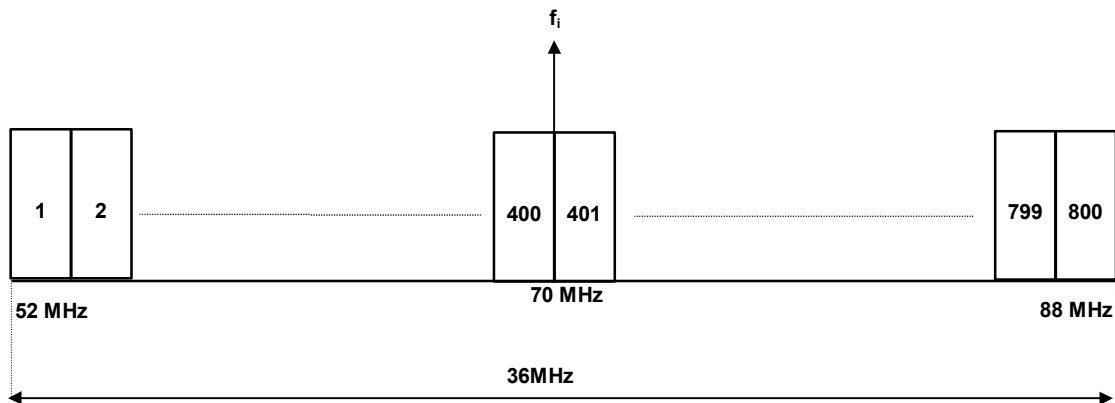


Fig.26 Schematizzazione dello spettro in frequenza di un sistema FDMA/PSK/SCPC.

La canalizzazione così ottenuta è successivamente traslata sulla frequenza di lavoro propria assegnata a ciascun trasponder.

Ogni canale è modulato ad una frequenza di cifra di 64 Kbit/sec e può contenere sia informazioni dati che di fonia. Nel caso di un canale dati a velocità inferiore a 64 Kbit/sec, ad esempio 9.6 Kbit/sec o 56 Kbit/sec, si raggiunge ugualmente la velocità di 64 Kbit/sec inserendo dei bit di ridondanza in grado di realizzare, tra l'altro, una correzione automatica degli errori.

Il flusso numerico a 64 Kbit/sec pilota un modulatore 4 PSK per cui la velocità effettiva è di 32 Kbaud con riduzione della banda effettiva che, per ciascun canale, diventa di soli 37.5 KHz.

I sistemi FDMA più recenti ed evoluti consentono l'assegnazione di un canale trasmissivo solo quando ne viene richiesta la disponibilità. Tali sistemi sono denominati FDMA/PSK/SPADE dove SPADE indica la procedura Single channel per carrier PCM multiple Access Demand Equipment gestita da una opportuna unità computerizzata detta Demand Assigned Signalling and Switching unit DASS che gestisce l'assegnazione dei canali.

6.3.2. Tecnica di accesso multiplo TDMA

Nella tecnica di accesso multiplo TDMA le stazioni collegate al satellite trasmettono le informazioni sotto forma di pacchetti numerici detti *burst* per un tempo

limitato con una metodologia sostanzialmente analoga a quella impiegata per la formazione di una trama PCM.

I burst delle diverse stazioni, indicati schematicamente in fig.27, sono strutturati in una ben determinata *trama temporale* gestita da opportune apparecchiature di sincronizzazione.

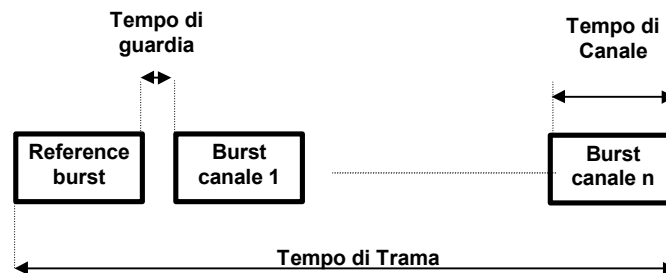


Fig. 27 Struttura temporale della trama nella tecnica di accesso multiplo TDMA.

Nell'intero tempo di trama, normalmente di 2 msec, sono allocati i canali informativi più un canale di servizio per la gestione delle sincronizzazioni denominato *Reference Burst*. Inoltre, per evitare interferenze i diversi burst sono separati da *intervalli di guardia* privi di contenuto informativo. Ciascun burst di canale contiene, oltre ai bit informativi veri e propri, anche un insieme di bit detti di *preambolo* necessari per ricostruire la portante, le tempificazioni, le posizioni dei burst, identificare la stazione in operazione e gestire le segnalazioni.

Le modalità di accesso TDMA si suddividono in tre classi fondamentali:

- ad accesso su prenotazione
- ad accesso predefinito
- ad accesso casuale

Nell'accesso su prenotazione detto DAMA Demand Assignment Multiple Access, una *stazione di riferimento* della rete gestisce le richieste di utilizzo da parte di tutte le *stazioni di traffico* ad essa collegate.

Nell'accesso predefinito ogni stazione dispone sempre in modo fisso e continuativo di una parte delle risorse del satellite. Tale tecnica trova applicazione nei casi in cui il volume di traffico delle singole stazioni si può ritenere costante nel tempo.

Nell'accesso casuale, noto come tecnica ALOHA, i terminali si contendono simultaneamente le risorse del satellite trasmettendo in tempo reale le proprie informazioni. Ciò può provocare delle *collisioni* per cui un terminale potrà inviare informazioni solo se il ricevente ha generato un opportuno messaggio di riconoscimento (Acknowledgement). In caso di collisione la stazione trasmittente si pone in attesa per un tempo casuale e quindi ritenta la trasmissione.

La tecnica ad accesso casuale si dimostra efficace in trasmissioni con limitato numero di terminali a basso traffico non costante nel tempo.

Nel caso di reti con elevato numero di terminali e con traffico intenso la elevata probabilità di collisione rende il metodo inaccettabile per cui si preferisce utilizzare la tecnica TDMA con prenotazione.

6.3.3. Tecnica di accesso multiplo SDMA

La tecnica ad accesso multiplo SDMA si basa sulla separazione geografica delle diverse stazioni che intendono accedere alle risorse del satellite. Tale tecnica si avvale di antenne direttive multifascio in grado di produrre spot di stessa frequenza dirette in diverse e separate zone della terra.

Per aumentare il numero di stazioni e limitare le possibili interferenze si impiega il metodo del riuso delle frequenze, discusso nel precedente paragrafo, basato sulla suddivisione in sottobande della banda assegnata al trasponder e sulla polarizzazione delle onde elettromagnetiche.

6.3.4. Tecnica di accesso multiplo CDMA

Nella tecnica CDMA ad ogni stazione è assegnata una *determinata banda di frequenza* in un *determinato intervallo di tempo*. Pertanto, la tecnica CDMA si può rappresentare con un insieme di celle in un diagramma tempo-frequenza, come mostrato in fig. 28.

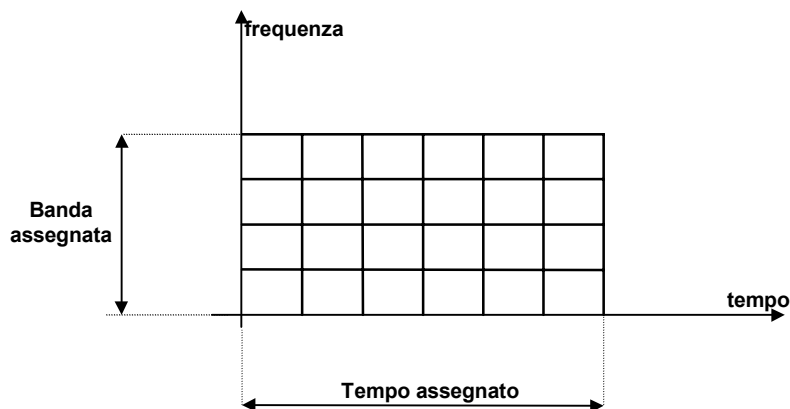


Fig. 28 Rappresentazione tempo - frequenza nella tecnica ad accesso multiplo CDMA.

Ogni utente è caratterizzato da un opportuno *codice informativo* che ne individua la posizione sia nel tempo che nella frequenza. Questa tecnica garantisce alti livelli di segretezza nella connessione per cui è utilizzata prevalentemente in applicazioni militari e di ricerca scientifica. In campo commerciale la CDMA è impiegata in applicazioni broadcasting in cui una stazione Master invia i segnali radio ad una moltitudine di stazioni riceventi.

Il ricevitore di un sistema CDMA è programmato in modo da poter ricevere solo i canali corrispondenti al codice assegnato. Stabilita la corrispondenza del codice entra in funzione un particolare *decoder* del ricevitore in grado di estrarre correttamente le informazioni utili.

7. Satelliti Meteorologici

I satelliti meteorologici, utilizzati dai vari servizi meteorologici nazionali e internazionali, consentono di inviare, alle stazioni di terra, immagini e dati relativi alla situazione meteorologica della zona in osservazione.

Tali satelliti sono posti, normalmente, in orbite polari o geostazionarie.

I satelliti meteorologici polari, come NOAA, Met, Tiros, ecc, ruotano intorno ai due poli terrestri percorrendo orbite diverse nel tempo. Normalmente, una stazione ricevente è in grado di rilevare il satellite per un tempo, detto *tempo di visibilità*, pari a 12-15 minuti da 4 a 6 volte al giorno. I satelliti polari ruotano su orbite più basse di quelle dei satelliti geostazionari, note come *Low Earth Orbit* LEO, tipicamente comprese tra 700 e 1000 Km.

Per quanto concerne i satelliti geostazionari operanti sull'Europa, il sistema più importante è il METEOSAT. Tale sistema è stato messo in orbita dall'ESA (Agenzia Spaziale Europea) ed è gestito dall'EUMESAT (European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites) un consorzio di 17 paesi europei.

In questi ultimi anni sono stati lanciati numerosi satelliti METEOSAT, l'ultimo dei quali, il METEOSAT 7, è stato messo in orbita il 2/07/1997 utilizzando il razzo Ariane4. Il satellite è in orbita geostazionaria a 0° di longitudine cioè, esattamente all'incrocio tra l'equatore e il meridiano di Greenwich e copre una vasta area geografica che si estende dall'Europa all'Africa e al Sud America. La vita media è valutata intorno a 5 anni. Lo stesso razzo Ariane 4 ha messo in orbita anche il satellite per telecomunicazioni Hot Bird 3 dell'EUTELSAT.

I satelliti meteorologici montano potenti videocamere in grado fornire immagini sia in alta HRI che in bassa risoluzione. In particolare le immagini sono riprese nello spettro del visibile, dell'infrarosso e del vapor acqueo e infrarosso. Le immagini che normalmente si vedono nei notiziari televisivi sono quelle all'infrarosso. In fig.29 si riporta un tipica immagine ripresa dal satellite METEOSAT 6.

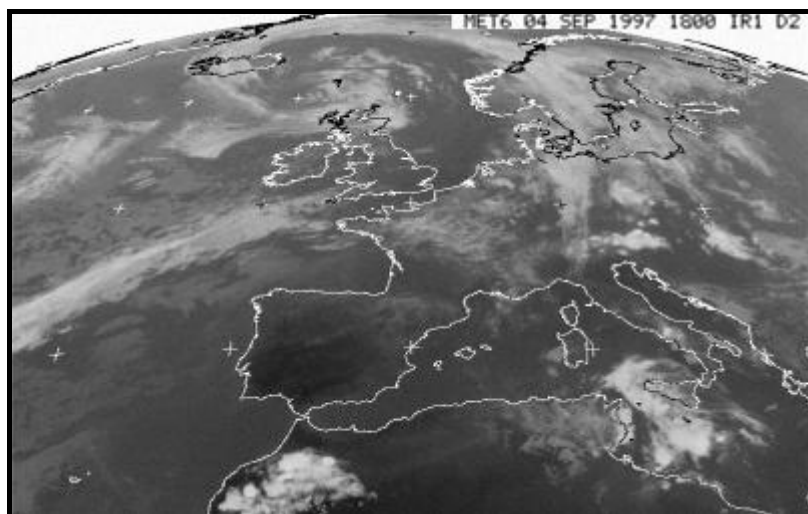


Fig. 29 Immagine del satellite METEOSAT 6.

Le immagini nel visibile sono disponibili solo nelle ore diurne. Quelle nel vapor acqueo consentono di analizzare in maggior dettaglio l'evoluzione delle masse nuvolose.

Le immagini ad alta risoluzione HRI sono inviate criptate dal METEOSAT al centro di elaborazione dati con sede a Darmstadt in Germania. Tali immagini, dopo un processo di decodifica ed elaborazione, sono convertite in formato analogico a bassa risoluzione 800x800 pixel detto *formato wefax*. Successivamente le immagini wefax sono ritrasmesse al satellite che le mette a disposizione per l'utenza privata.

I segnali wefax sono trasmessi su due canali diversi A_1 e A_2 operanti, rispettivamente, a 1691 MHz e a 1694.5 MHz.

Le immagini del METEOSAT sono reperibili, senza l'impiego di un'antenna parabolica, su Internet collegandosi ad uno dei numerosi siti disponibili da cui prelevare immagini in formato GIF o JPEG aggiornate ogni 30 minuti. Tali immagini sono disponibili a livelli di grigio o a falsi colori con una occupazione di memoria compresa tra 10 e 100 Kbyte, tipicamente.

8. Satelliti per diffusione televisiva

In questi ultimi anni si è andata rapidamente sviluppando la trasmissione dei segnali TV mediante l'uso di satelliti geostazionari. I satelliti per diffusione TV irradiano nella gamma di frequenze comprese tra 10.7 GHz a 12.75 GHz.

Tale banda è teoricamente divisa in due parti: la *banda bassa* compresa tra 10.7 GHz e 11.7GHz e la *banda alta* compresa tra 11.7 GHz e 12.75 GHz; inoltre nella banda di lavoro si distinguono 3 zone operative:

- la banda tra 10.7 GHz e 11.7 GHz utilizzata nella tecnica *Fixed Satellite Service* FSS. Questa gamma di frequenze è utilizzata, tra l'altro, per il collegamento tra grandi centri di distribuzione televisiva che successivamente irradiano i programmi TV nel proprio territorio. La potenza tipica di lavoro è al più di 20 W con un EIRP massimo di 40 dBW;
- la banda compresa tra 11.7 GHz e 12.5 GHz utilizzata nella tecnica *Direct Broadcasting Satellite* DBS. In questo caso il satellite è caratterizzato da una elevata potenza di trasmissione che può giungere fino ad alcune centinaia di Watt con un EIRP massimo di circa 65 dBW;
- la banda compresa tra 12.5 GHz e 12.75 GHz utilizzata nella tecnica *Satellite Multi System* SMS per applicazioni con utenza affari e commerciale.

In tutti i casi le condizioni operative dei satelliti sono regolate dal WARC che fissa, tra l'altro, le posizioni orbitali dei satelliti e le bande di lavoro.

Per quanto concerne l'Italia i satelliti TV più utilizzati sono quelli del sistema EUTELSAT con i satelliti di ultima generazione Hot Bird 1, lanciato nel marzo del 1995, Hot Bird 2 dell'ottobre 1996 e Hot Bird 3 del settembre 1997 e quelli del sistema ASTRA 1A, ASTRA 1B.....ASTRA 1F.

I satelliti EUTELSAT sono collocati su un'orbita geostazionaria a 13° longitudine EST mentre i satelliti ASTRA si trovano a 19,2° longitudine EST.

Entrambi i sistemi diffondono canali TV sia analogici che digitali e consentono di collegarsi alle più note emittenti televisive come RAI, Mediaset, Eurosport, Euronew, CNN, ecc.

I canali analogici TV sono a modulazione di frequenza con indice di modulazione $m_f \approx 2$. Si ricordi che nelle trasmissioni TV terrestri la modulazione impiegata è quella di ampiezza per il segnale video e di frequenza per quello audio. Grazie alla modulazione FM impiegata nelle trasmissioni analogiche via satellite è possibile ottenere una buona qualità nelle immagini TV.

I canali digitali utilizzano la modulazione QPSK (Quaternary Phase Shift Keying) che, come è noto, impiega 2 bit/simbolo. I sistemi digitali, inoltre, fanno uso di una tecnica di compressione dei dati, nota come *compressione MPEG II* (Motion Picture Expert Group) normalizzata dall'ISO/IEC che consente di trasmettere su ogni trasponder satellitare fino a 8 canali TV e più di 10 canali radio stereo.

Con la tecnica di compressione MPEG II è possibile un trasferimento dati equivalente a 15 Mbit/sec per le immagini a più elevata qualità e di 192 Kbit/sec per la trasmissione audio stereofonica.

In tabella 5 si riportano le frequenze operative di down link del satellite EUTELSAT 2F6 noto come Hotbird 1.

Tabella 5
Frequenze di downlink per il satellite Hotbird 1

Trasponder	Horizontal Downlink (GHz)	Vertical Downlink (GHz)
1	11.221	
2		11.242
3	11.262	
4		11.283
5	11.304	
6		11.325
7	11.345	
8		11.366
9	11.387	
10		11.408
11	11.428	
12		11.449
13	11.471	
14		11.492
15	11.513	
16		11.534

Il satellite Hotbird è, inoltre, caratterizzato da:

- 16 trasponder principali e 8 di backup operanti in banda K_u compresa tra 11.2 GHz e 11.56 GHz;
- banda di frequenza di up link compresa tra 12.89 GHz e 13.25 GHz;
- potenza di trasmissione di 70 W;
- banda passante di 36 MHz;
- EIRP massimo di 49 dBW;
- polarizzazione lineare.

Esempio n°2

Calcolare la banda di frequenza B occupata da una trasmissione analogica TV satellitare in modulazione FM sapendo che la frequenza massima del segnale modulante è $f_m = 5.5$ MHz e che la deviazione di frequenza vale $\Delta f = 12.5$ MHz.

Risoluzione

Per definizione l'indice di modulazione m_f è:

$$m_f = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{12.5}{5.5} = 2.27$$

La banda passante complessiva del segnale FM si può valutare applicando la formula di Carson:

$$B = 2f_m(m_f + 1) = 2 \cdot 5.5 \cdot 10^6 \cdot (2.27 + 1) = 35.97 \text{ MHz}$$

Un impianto d'antenna individuale di ricezione di trasmissioni TV via satellite consta di alcuni elementi fondamentali facilmente reperibili sul mercato:

- l'antenna parabolica;
- il convertitore/amplificatore a basso rumore LNB per microonde;
- ricevitore satellitare.

Gli impianti d'antenna centralizzati utilizzano un numero maggiore di componenti (centraline di amplificazione, partitori d'utente, ecc), disponibili in commercio in diversi Kit distribuiti da case costruttrici specializzate.

In fig. 30 si mostra lo schema a blocchi di un impianto individuale di ricezione da satellite.

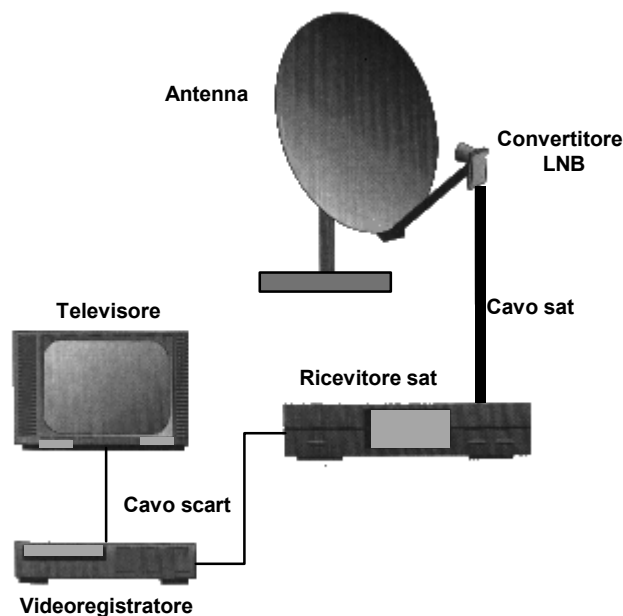


Fig. 30 Schema a blocchi di un impianto individuale per TV via satellite.

Antenna parabolica

Come è noto, l'antenna parabolica è impiegata in tutte quelle applicazioni in cui è richiesta una elevata direttività del fascio radio con elevati guadagni d'antenna. Tale antenna è normalmente realizzata in alluminio o in acciaio con sezione circolare o ovale. Può essere con un solo fuoco, cioè puntata su un solo satellite a su un gruppo di satelliti adiacenti, bifocale o motorizzata in modo da poter ricevere segnali radio da diverse e variabili porzioni dello spazio.

Il diametro del riflettore parabolico dipende dalla potenza del segnale da ricevere. Ovviamente a potenze più alte corrispondono diametri più piccoli. In tabella 6 si riportano alcuni dati caratteristici relativi alle antenne paraboliche impiegate negli impianti TV.

Tabella 6
Relazione tra potenza e diametro per un'antenna parabolica TV

Potenza a terra [dBW]	Diametro [m]
30	6.40
35	3.60
40	2
45	1
50	0.66
55	0.35
60	0.20

L'installazione di un'antenna parabolica richiede la perfetta conoscenza della direzione di puntamento. Per realizzare un corretto puntamento dell'antenna parabolica sia di tipo fisso che motorizzata è necessario determinare due angoli: l'angolo di l'*azimut* e l'angolo di *elevazione*.

L'azimut indica di quanto ruotare l'antenna sul piano orizzontale rispetto alla direzione EST-OVEST. Tale angolo si valuta, semplicemente, mediante una bussola e un goniometro. Si tenga conto che, per definizione, l'angolo di azimut nel ruotare da Est verso ovest varia da 90° a 270°. Pertanto, un a angolo di azimut di 180° indica il SUD., come mostrato in fig.30b.

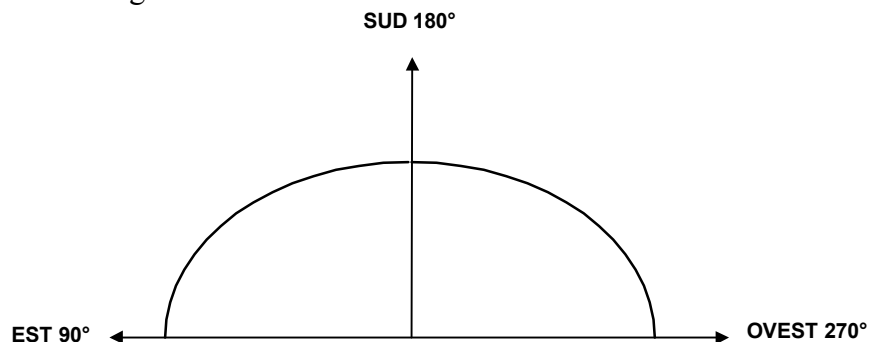


Fig. 30b Disposizione angolare per la valutazione dell'azimut.

Da un punto di vista analitico l'angolo di azimut AZ , per un'antenna parabolica a sezione circolare, si valuta mediante la seguente formula:

$$AZ = 180^\circ + \arctg\left(\frac{\operatorname{tg}\Delta\ell}{\operatorname{sen}L}\right) \quad (11)$$

dove: $\Delta\ell = \ell_{RX} - \ell_{SAT}$ è la differenza tra la longitudine del satellite e quella del luogo di ricezione, assumendo positive le longitudini est e negative quelle ovest.
Con L si indica la latitudine del luogo di ricezione.

L'elevazione indica di quanto si deve ruotare l'antenna dal basso verso l'alto. Tale angolo, variabile tra 0° e 90° , si valuta mediante un particolare strumento denominato inclinometro costituito fondamentalmente da un filo a piombo e da un goniometro. In commercio sono disponibili diversi strumenti analogici e digitali per la corretta valutazione dell'azimut e dell'elevazione.

L'angolo di elevazione EL si valuta mediante la seguente formula:

$$EL = \arctg\left(\frac{\cos\beta - \sigma}{\sin\beta}\right) \quad (12)$$

dove: $\beta = \arccos(\cos\Delta\ell \cdot \cos L)$ e $\sigma = \frac{R_T}{R_T + h} = 0.15$ essendo $R_T = 6370$ Km il raggio

della terra e $h = 35830$ Km la distanza dell'orbita geostazionaria dall'equatore.

A titolo orientativo, in tabella 7, si riportano i valori delle coordinate geografiche per alcune città italiane.

Tabella 7
Coordinate geografiche di alcune città italiane

Città	Latitudine	Longitudine
Torino	45.2 N	7.8 W
Milano	45.5 N	9.2 W
Venezia	45.4 N	12.3 W
Ancona	43.6 N	13.5 W
Roma	41.9 N	12.4 W
Bari	41.2 N	16.9 W
Napoli	40.9 N	14.2 W
Cagliari	39.2 N	9.2 W
Palermo	38.8 N	13.2 W

Esempio n°3

Calcolare l'angolo di azimut e di elevazione per un'antenna parabolica di Roma che deve puntare il satellite Hotbird 2 posizionato a 13° longitudine EST.

Le coordinate geografiche di Roma sono: 41.9° latitudine Nord e 12.4° longitudine Est.

Risoluzione

Si valuta la variazione di longitudine tra la stazione a terra e il satellite:

$$\Delta\ell = \ell_{RX} - \ell_{SAT} = 12.4^\circ - 13^\circ = -0.6$$

Applicando la formula (11) si ricava:

$$AZ = 180^\circ + \arctg\left(\frac{\tg\Delta\ell}{\sin L}\right) = 179.1^\circ$$

Il valore di azimuth trovato ci dice che l'antenna è, praticamente, orientata verso il Sud geografico.

Per valutare l'elevazione si deve applicare la formula (12). Si ha:

$$\beta = \arccos(\cos\Delta\ell \cdot \cos L) = 41.9^\circ$$

$$EL = \arctg\left(\frac{\cos\beta - \sigma}{\sin\beta}\right) = 41.6^\circ$$

I valori dell'azimut e dell'elevazione trovati utilizzando le precedenti relazioni, forniscono la direzione di puntamento dell'antenna parabolica. Nel montaggio pratico, però, si deve procedere ad una serie di piccolissime rotazioni dell'antenna fino a trovare, sperimentalmente, l'esatta posizione spaziale.

Tali regolazioni sono necessarie poiché le formule utilizzate per valutare l'azimut e l'elevazione non tengono conto di alcune situazioni pratiche e teoriche.

Ad esempio, se il palo di sostegno dell'antenna non è perfettamente verticale rispetto al suolo si possono introdurre notevoli errori di puntamento.

Inoltre, nella trattazione precedente non si è tenuto conto del fatto che i poli geografici della terra non coincidono con quelli magnetici per cui le linee dei meridiani geografici, che forniscono la longitudine, non si sovrappongono con i meridiani magnetici indicati dalla bussola. Se si vuole correggere analiticamente l'indicazione fornita dalla bussola si devono utilizzare particolari mappe geografiche costituite anche da un insieme di linee, dette *isogone*, che uniscono tutti i punti aventi la stessa declinazione magnetica.

Comunque, l'errore sull'esatta valutazione dell'azimut è limitato a non più di 2°.

Attualmente, le operazioni di puntamento si sono notevolmente semplificate poiché i ricevitori hanno già i canali TV sintonizzati.

Convertitore per microonde LNB

Nel fuoco del paraboloide dell'antenna è collocato un modulo denominato **Low Noise Block LNB** o anche Low Noise Converter LNC, con la funzione di amplificatore e convertitore di frequenza a basso rumore.

Il segnale radio ricevuto dall'antenna parabolica TV, tipicamente compreso tra 10.7 e 12.5 GHz, è convertito nella gamma delle frequenze intermedie denominate *First Intermediate Frequency 1° IF* comprese tra 950 MHz e 2150 MHz. Questa gamma di frequenze è facilmente trasportabile al ricevitore TV collocato spesso anche a decine di metri dall'antenna. Il collegamento tra il convertitore LNB e il ricevitore si realizza utilizzando un cavo coassiale di ottima qualità, denominato *cavo sat*, di impedenza caratteristica di 75 Ω e attenuazione tipica di 0.35 dB/m.

La conversione di frequenza nelle immediate vicinanze dell'antenna è fondamentale poiché sarebbe impossibile trasferire al ricevitore TV segnali radio dell'ordine di diversi GHz mediante cavi coassiali. Il ricorso a guide d'onda sarebbe impraticabile in termini di praticità di installazione e costi.

In commercio sono disponibili numerosi modelli di convertitori LNB con caratteristiche elettriche e meccaniche sostanzialmente simili tra loro.

I modelli maggiormente utilizzati nella pratica sono:

- 1) LNB universale normale impiegato in impianti individuali;
- 2) LNB twin out impiegato per collegare ad una stessa antenna parabolica due ricevitori satellitari;
- 3) LNB a 4 uscite impiegato in impianti centralizzati.

Le caratteristiche elettriche comuni alla maggior parte dei convertitori LNB sono:

- Banda di frequenza di ingresso: $10.7 \div 12.5$ GHz;
- Banda di frequenza di uscita: $950 \div 2150$ MHz;
- Amplificazione: $40 \div 60$ dB;
- Figura di rumore: $0.7 \div 1.1$ dB;
- Livello del segnale di uscita: $-20 \div -60$ dBm;
- Impedenza di uscita 75Ω

I convertitori LNB, comandati dal ricevitore, consentono di operare con segnali radio a doppia polarità (verticale o orizzontale) e a doppia banda (bassa o alta).

La selezione dell'onda radio polarizzata si realizza, normalmente, mediante l'invio di un segnale a corrente continua al modulo LNB. In particolare alimentando il modulo con una tensione di 13/14 V si selezionano i segnali radio con polarizzazione verticale V, mentre con 17/18 V quelli a polarizzazione orizzontale H.

La selezione della banda bassa ($10.7 \div 11.7$ GHz) o di quella alta ($11.7 \div 12.75$ GHz) si ottiene inviando al modulo LNB un tono 0/22 KHz. In particolare inviando 0 KHz si seleziona la banda bassa, mentre inviando il tono a 22 KHz si seleziona quella alta.

I segnali di alimentazione e di comando del convertitore LNB sono inviati dal ricevitore satellitare utilizzando lo stesso cavo coassiale dei segnali RF. Questa tecnica, nota come *telealimentazione*, non introduce alcuna interferenza poiché i segnali in gioco operano a frequenza molto diverse tra loro.

Per concludere si vuole accennare alla possibilità, attualmente molto utilizzata, di impiegare due LNB montati sulla stessa parabola. Tale sistema detto **dual feed** consente di ricevere contemporaneamente i segnali provenienti da due satelliti vicini come EUTELSAT e ASTRA.

Esempio n°4

Determinare la lunghezza massima di un cavo coassiale che deve collegare un convertitore LNB ad un ricevitore satellitare che opera correttamente se il segnale di ingresso è non inferiore a -60 dBm.

È noto che il livello di uscita dal convertitore LNB è di $70 \text{ dB}\mu\text{V}^{(b)}$ e che il cavo coassiale presenta, nella banda di frequenza 1° IF, un'attenuazione di 0.35 dB/m.

Si suppone, inoltre, che le impedenze delle apparecchiature e del cavo coassiale siano normalizzate a $Z = 75\Omega$.

Risoluzione

^(b) Il livello di tensione espresso in dB μ V, utilizzato negli impianti satellitari, si valuta esprimendo le tensioni in μ V mediante la seguente relazione $20\text{Log}V$. Sicché, ad esempio, una tensione di $10\mu\text{V}$ equivale a 20 dB μ V.

Ricordiamo che il livello di una potenza P in dBm è relativo alla potenza di riferimento di 1mW secondo la relazione $10 \log \frac{P}{1 \text{ mW}}$.

Pertanto, il livello minimo di -60 dBm di ingresso del ricevitore equivale ad una potenza $P = 10^{-6}$ mW. Tale potenza sviluppa su una impedenza resistiva di $Z = 75\Omega$ una tensione:

$$V = \sqrt{P \cdot Z} = 273.86 \mu\text{V}$$

Esprimendo la tensione V in dB μ V si ricava:

$$V_{\text{dB}\mu\text{V}} = 20 \text{ Log} 273.86 = 48.75 \text{ dB}\mu\text{V}$$

L'attenuazione complessiva ammessa risulta:

$$A = 70 - 48.75 = 21.25 \text{ dB}\mu\text{V}$$

La lunghezza L complessiva del cavo deve, pertanto essere minore di:

$$L = 21.25/0.35 = 60.7 \text{ m}$$

Per tenere conto delle perdite di invecchiamento del cavo è opportuno ridurre di un 10%-15% il valore trovato per L . Si può assumere come valore di lunghezza massima $L \cong 50 \text{ m}$.

Ricevitore

Il ricevitore satellitare ha un aspetto simile a quello di un videoregistratore e deve essere collocato nelle immediate vicinanze del televisore a cui è collegato. Il suo compito principale è quello di convertire i segnali radio in 1° IF, provenienti dal modulo LNB, in una banda, normalmente VHF, idonea al funzionamento dell'apparecchio TV.

Tipicamente possiede 3 prese scart per TV, videoregistratore e decoder con collegamenti audio ausiliari per impianti Hi-Fi.

L'ingresso a radio frequenza in 1° IF è caratterizzato da una banda passante di 36 MHz con impedenza d'ingresso normalizzata di 75Ω .

Il decoder che si collega al ricevitore ha il compito di *decriptare* i segnali inviati dalle televisioni a pagamento. L'attivazione del decoder avviene mediante l'inserimento di una particolare carta magnetica, detta *Smart Card*, sostanzialmente simile ad una carta di credito.