

TELECOMUNICAZIONI I: I MEZZI DI COMUNICAZIONE

INDICE

INTRODUZIONE.....	pag.2
IL SEGNALE.....	pag.2
Il segnale sonoro.....	pag.2
Il segnale immagine.....	pag.3
Il segnale dato.....	pag.3
IL CANALE DI COMUNICAZIONE.....	pag.4
IL DOPPIO TELEFONICO.....	pag.6
Costanti primarie.....	pag.6
Costanti secondarie.....	pag.7
Impedenza caratteristica.....	pag.7
Costante di propagazione ($\gamma=\alpha+j\beta$).....	pag.7
Lunghezza d'onda ($\lambda=2\pi/\beta$).....	pag.8
Velocità di propagazione ($u=\lambda f=\omega/\beta$).....	pag.8
Coefficiente di riflessione.....	pag.8
Rapporto di onda stazionaria (ROS).....	pag.8
Considerazioni sul doppio telefonico.....	pag.9
IL CAVO COASSIALE.....	pag.9
LA FIBRA OTTICA.....	pag.10
Rapporto tra indici di rifrazione del core e del cladding.....	pag.11
Vantaggi e svantaggi delle fibre ottiche.....	pag.13
L'ETERE.....	pag.13
Propagazione a vista.....	pag.15
Propagazione di superficie.....	pag.15
Propagazione ionosferica.....	pag.15
I ponti radio.....	pag.15

INTRODUZIONE

La comunicazione è sempre stata una delle esigenze primarie dell'uomo per ragioni sociali, politiche ecc.

Con il termine telecomunicazione si intende la trasmissione a distanza di informazioni da una o più sorgenti a uno o più ricevitori.

Un sistema di trasmissione è un insieme di apparati, di dispositivi e di impianti che consentono la comunicazione a distanza.

Qualsiasi sistema di comunicazione può essere rappresentato con lo schema a blocchi di figura 1.

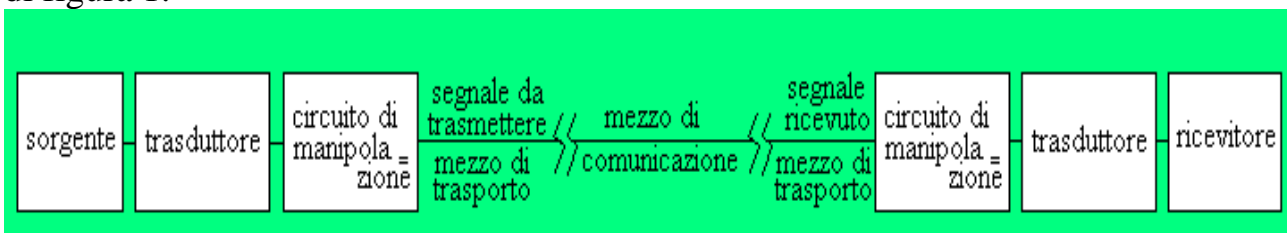


Figura 1 Schema a blocchi di un sistema di comunicazione

Nella tabella di figura 2 sono riportati alcuni esempi di tipologie di comunicazioni; sono posti in evidenza la natura del mezzo trasmissivo, il tipo di segnale, il tipo di trasmissione e il tipo di informazione.

Tipo di comunicazione	Tipo di informazione	Tipo di trasmissione	Tipo di segnale	Mezzo trasmissivo
Radiodiffusione	Suono	Analogica	Elettromagnetico	Etere
Telegrafia	Messaggi	Impulsiva	Elettromagnetico	Cavo
Telefonia	Vocale	Analogica	Elettrico	Cavo
Telematica	Dati	Digitale	Luce	Fibra ottica

Figura 2 Tipologie delle telecomunicazioni

IL SEGNALE

Come è stato già detto precedentemente, scopo dei sistemi di comunicazione è quello di trasmettere delle informazioni da una sorgente a un ricevitore o a più ricevitori.

Uno degli aspetti importanti del sistema di telecomunicazione è la natura dell'informazione. I messaggi sono tutti di natura fisica (voce, pressione, temperatura, immagine, ecc.) e per essere trasmessi devono essere trasformati in segnali elettrici analogici o digitali.

Il segnale sonoro

Il segnale sonoro (voce o suono musicale) è caratterizzato dall'estensione del suo spettro, cioè dalla banda di frequenze occupata.

I segnali sonori captati dall'orecchio umano sono compresi nella banda 20÷20KHz, quelli musicali invece nella banda 20÷12KHz e se sono di alta fedeltà fino a 15KHz. Per quanto riguarda la telefonia, la banda entro la quale la voce può essere trasmessa ed essere ancora riconoscibile è compresa tra 50Hz e 8KHz.

Il segnale immagine

Il segnale immagine per poter essere trasmesso viene suddiviso in tanti punti e a ognuno di questi è associato un contenuto di informazioni relativo alla sua luminosità (chiara o scura). Tali informazioni vengono trasformate in segnali elettrici che successivamente sono trasmessi in modo sequenziale.

Mediante un fascetto elettronico si esegue una scansione di tutti i punti dell'immagine che vengono così esplorati in successione per righe orizzontali. Il numero di righe, nelle quali viene suddivisa e scandita l'immagine, determina la nitidezza della sua riproduzione nel ricevitore.

Affinché l'occhio umano abbia la percezione di un movimento continuo, la scansione di tutta l'immagine deve avere una frequenza di almeno 20 volte al secondo.

Lo standard televisivo europeo prevede una frequenza di 25Hz e un numero di righe di 625 per immagine.

Il segnale dato

Il dato è un messaggio costituito da una combinazione binaria definita in un intervallo di tempo. In tale intervallo, chiamato T , la tensione assume un valore costante (bit). L'intervallo T rappresenta la durata del bit, mentre $1/T$ è la frequenza del segnale in bit al secondo (bit/s).

Dalla figura 3, che rappresenta lo spettro di potenza, si nota che il dato binario è un segnale passa-basso, infatti la maggior parte della potenza del segnale si concentra alle basse frequenze minori di $1/T$. Il segnale è concentrato in una banda di frequenze che vanno dalla corrente continua fino a una frequenza massima f_{MAX} . Si può dimostrare che la larghezza di banda indispensabile per trasmettere il dato binario deve essere dello stesso ordine di grandezza della frequenza f_{MAX} del segnale stesso.

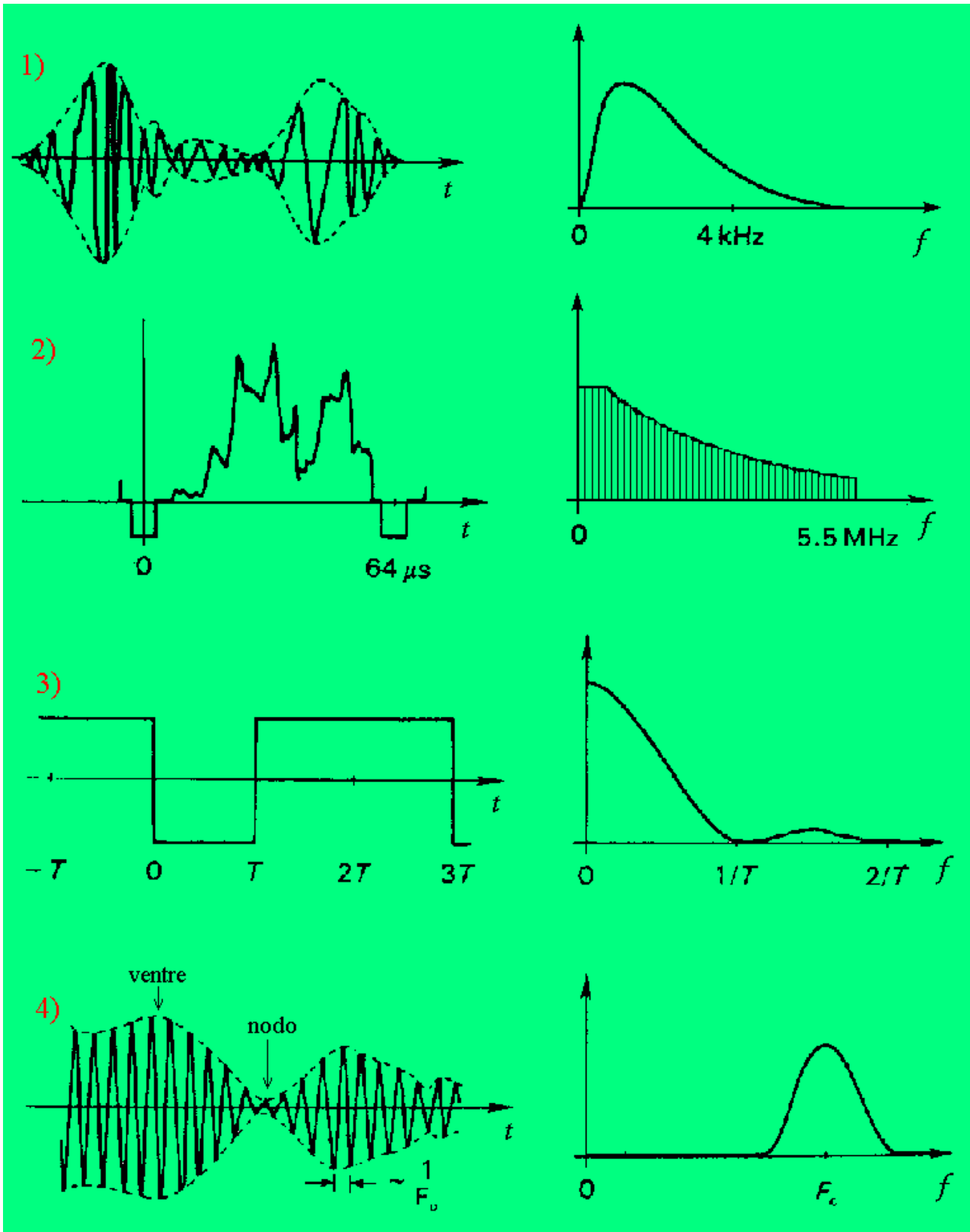


Figura 3 Segnali con relativi andamenti spettrali

IL CANALE DI COMUNICAZIONE

Il canale di comunicazione deve essere in grado di trasmettere i segnali integri dalla sorgente al ricevitore (o ai ricevitori). Naturalmente tutte le frequenze che

compongono il segnale devono essere trasmesse allo stesso modo e senza subire attenuazione all'arrivo. Inoltre il segnale deve essere libero da disturbi; in definitiva non ci devono essere interferenze nella comunicazione.

Si può dunque affermare che

la variazione dei parametri (attenuazione, contenuto in frequenza, ecc.) che caratterizzano un segnale dipende quasi esclusivamente dal canale di trasmissione.

Il canale di comunicazione può essere costituito da mezzi trasmissivi di due tipi:

- mezzi fisici
- mezzi non fisici (ponti radio)

In figura 4 è riportata una schematizzazione dei principali mezzi utilizzati nelle comunicazioni.

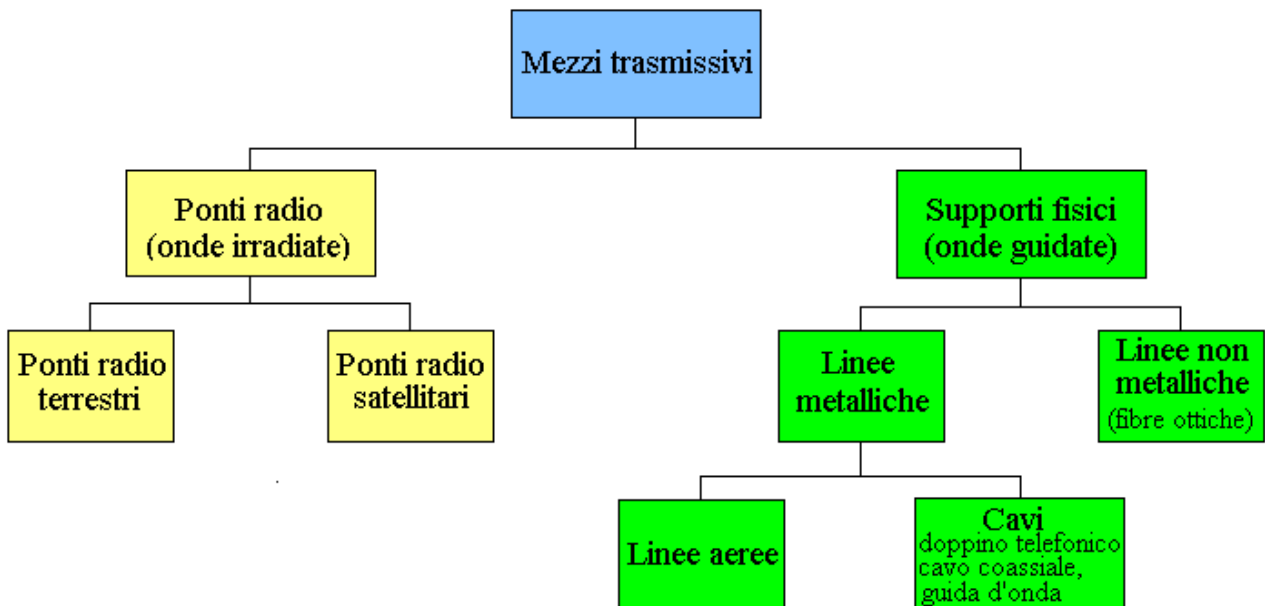


Figura 4 Classificazione dei canali di trasmissione

Nei canali di trasmissione che utilizzano i mezzi fisici, il funzionamento è ad onde guidate poiché le onde dal trasmettitore al ricevitore vengono convogliate da linee metalliche o non metalliche. Se invece i canali di comunicazione non prevedono mezzi fisici, le onde elettromagnetiche, che portano il messaggio, vengono irradiate nell'etere da un'antenna trasmittente verso le antenne riceventi.

Il campo di frequenze in cui avviene la trasmissione è piuttosto ampio in quanto si estende dalla frequenza zero (corrente continua) alle frequenze ottiche (onde luminose), come evidenziato in figura 5.

	frequenze (Hz)
Ottiche	$>10^{14}$
EHF (extra alte)	300G
SHF (superfreq)	30G
UHF (altissime)	3G
VHF (molto alte)	300M
HF (alte)	30M
MF (medie)	3M
LF (basse)	300K
VLf (molto basse)	$<30K$

Figura 5 Campo delle frequenze di comunicazione

Il segnale trasmesso è un segnale composito, ovvero è costituito dal messaggio originario combinato con un altro segnale. Questa operazione è definita multiplessaggio. Alla ricezione i segnali costituenti il messaggio sono identificati singolarmente.

IL DOPPIO TELEFONICO

Il doppino telefonico è costituito da una coppia di conduttori isolati in modo da formare un circuito bifilare.

Il cavo telefonico è invece un insieme di doppietti intrecciati e avvolti in strati concentrici in modo da costituire una corda. I conduttori sono intrecciati ad elica con passo costante per rendere minima la diafonia ovvero l'induzione magnetica ed elettrostatica fra coppie vicine.

I cavi telefonici possono essere di due tipi: urbani e interurbani.

I cavi urbani principali sono utilizzati per la distribuzione locale ovvero per collegare la centrale telefonica agli armadi di smistamento, mentre ***i cavi urbani secondari*** collegano gli armadi alle cassette di distribuzione.

I cavi interurbani sono utilizzati per la trasmissione a grande distanza, infatti collegano tra loro le centrali telefoniche di città diverse. Per quanto riguarda le caratteristiche elettriche questi ultimi hanno esigenze molto più restrittive di regolarità e di stabilità.

Ai fini della trasmissione del segnale per il doppino telefonico è possibile definire due tipologie di parametri: ***costanti primarie*** e ***costanti secondarie***.

Costanti primarie

Sono i tipici parametri distribuiti di tutte le linee elettriche:

- resistenza (r)
- induttanza (l)
- capacità (c)
- conduttanza (g)

Per poter analizzare quantitativamente il fenomeno della trasmissione si può rappresentare la linea con i parametri concentrati (fig.6).

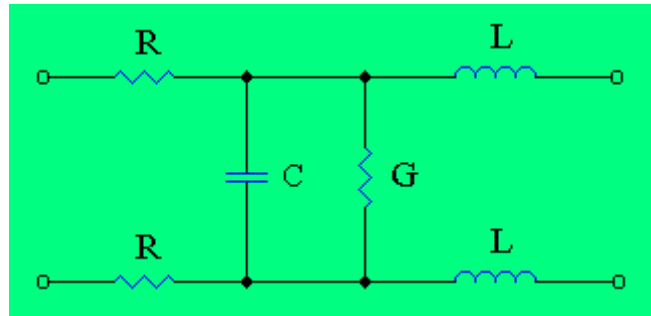


Figura 6 Schema equivalente di una linea con parametri concentrati

La resistenza $R[\Omega]$ rappresenta l'opposizione del conduttore al passaggio della corrente.

L'induttanza $L[\text{mH}]$ tiene conto dei fenomeni induttivi di un conduttore percorso da una corrente variabile nel tempo.

La capacità $C[\mu\text{F}]$ tiene conto dei fenomeni capacitivi dovuti all'accoppiamento tra i due conduttori del doppino e tra un conduttore e la massa. In entrambi i casi il dielettrico è costituito dall'isolante.

La conduttanza $G[\Omega^{-1}]$ rappresenta le dispersioni di corrente dovute a un non perfetto isolamento tra i due conduttori del doppino.

Costanti secondarie

Queste costanti si definiscono secondarie perché il loro valore dipende dalle costanti primarie e dalla frequenza. Si possono così riassumere:

- impedenza caratteristica Z_0
- costane di propagazione γ
- lunghezza d'onda
- velocità di propagazione
- condizione di Heaviside

Impedenza caratteristica

Se la linea viene chiusa su un carico Z_C uguale all'impedenza caratteristica Z_0 , si ha un adattamento della linea.

Una linea adattata ha due peculiarità:

1. non dà luogo a segnali riflessi, ovvero segnali che dal ricevitore tornano al trasmettitore;
2. consente il massimo trasferimento di potenza dal trasmettitore al ricevitore.

Costante di propagazione ($\gamma=\alpha+j\beta$)

Questo parametro consente il calcolo dell'attenuazione dell'ampiezza (α) e del ritardo di fase (β) che il segnale introdotto all'ingresso subisce lungo la linea per unità di lunghezza.

Lunghezza d'onda ($\lambda=2\pi/\beta$)

È il tratto di linea nel quale il segnale si sfasa di 2π rispetto al segnale introdotto all'inizio della linea.

Velocità di propagazione ($u=\lambda f=\omega/\beta$)

È la velocità che impiega un segnale di pulsazione ω a percorrere un tratto di linea Δx nel tempo Δt .

Un segnale elettrico in un mezzo trasmissivo ideale si sposta con una velocità di propagazione uguale a quella della luce. Se invece il segnale si propaga in un mezzo trasmissivo reale, la velocità, che è funzione della natura del mezzo, è di poco inferiore a quella della luce.

Quanto affermato è valido nel caso semplice di segnale costituito da una sinusoide. Nel caso pratico di un segnale modulato, disegni 1 e 4 della figura 3, le varie armoniche si propagano lungo la linea con velocità e sfasamenti diversi dando luogo al fenomeno dei battimenti, ovvero a un'onda costituita da ventri (massimi dell'inviluppo delle armoniche) e da nodi (minimi dell'inviluppo).

Si definisce velocità di gruppo la velocità di propagazione dei ventri e dei nodi.

Analogamente si definisce il ritardo di gruppo.

Un segnale che si propaga lungo la linea non subisce distorsioni di ampiezza e di fase solo se la velocità di propagazione (u) e l'attenuazione di ampiezza (α) sono costanti per tutte le frequenze presenti nel segnale stesso. Tutto ciò è possibile se è soddisfatta la condizione di Heaviside: $RC=LG$. Per ottenere questa condizione si inseriscono lungo la linea delle bobine, chiamate di pupinizzazione.

Coefficiente di riflessione

Su una linea di trasmissione non adattata si propagano due onde: l'onda progressiva (o diretta) e l'onda regressiva (o riflessa).

Si definisce coefficiente di riflessione il rapporto tra il segnale regressivo e quello progressivo: $r = V_r / V_p$.

Rapporto di onda stazionaria (ROS)

Osservando l'andamento dell'onda stazionaria di tensione, riportata in figura 7, si può notare quanto segue:

1. l'onda è definita stazionaria perché i massimi e i minimi si trovano sempre negli stessi punti della linea;
2. i massimi si ottengono perché l'onda progressiva è in fase con quella regressiva;
3. i minimi si ottengono perché l'onda progressiva è in opposizione con l'onda regressiva.

Si definisce ROS (rapporto di onda stazionaria = SWR Standing Wave Ratio) il seguente rapporto: $S = V_{MAX} / V_{min}$.

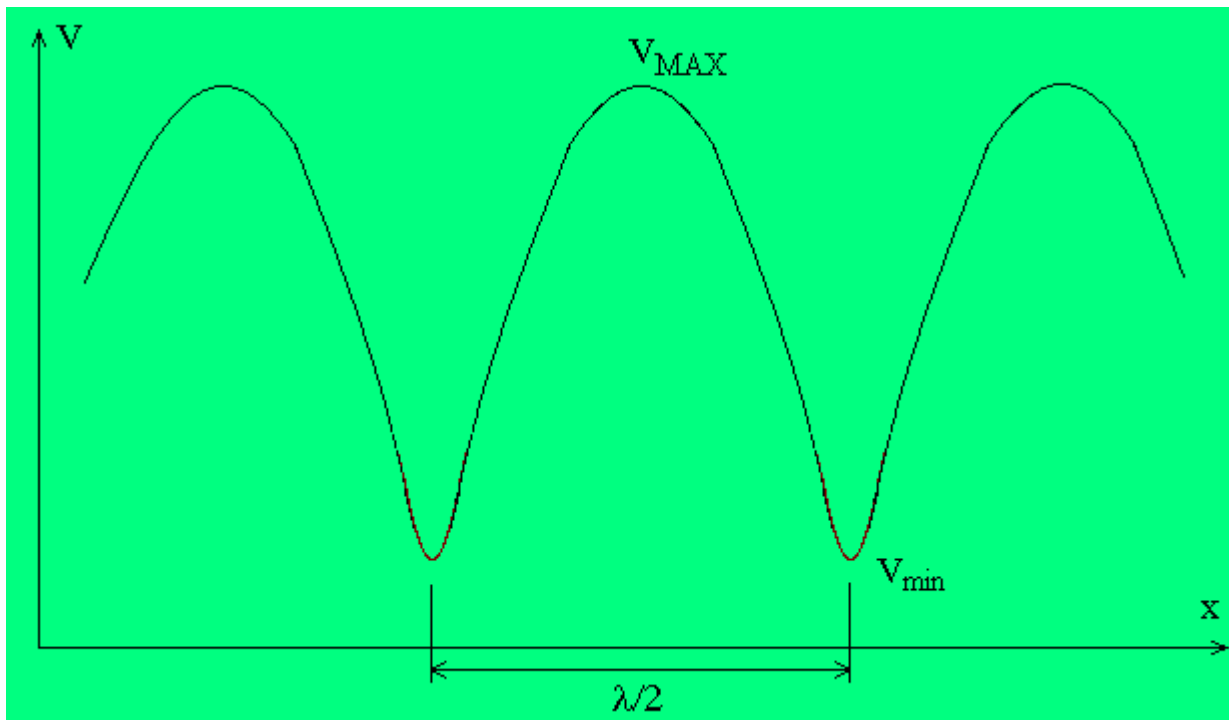


Figura 7 Andamento dell'onda stazionaria di tensione lungo la linea

Considerazioni sul doppino telefonico

Dopo aver elencato brevemente le caratteristiche dei doppini telefonici, possiamo affermare che l'uso di questo mezzo è particolarmente utile nella trasmissione dei segnali:

1. digitali modulati con tecnica PCM e multiplati con tecnica PDM, con velocità massima di qualche Mbit/s;
2. analogici multiplati con tecnica FDM, con frequenza massima di qualche centinaia di KHz.

Un aumento della frequenza del segnale digitale o del numero di canali trasmessi (nel caso di segnali analogici) implica un aumento della banda di frequenze occupate, pertanto le prestazioni del doppino telefonico vanno via via degradandosi. Il segnale trasmesso perde energia e subisce distorsione. Quando dunque le frequenze sono più elevate è necessario ricorrere ad altri mezzi trasmissivi quali ad esempio il cavo coassiale e la fibra ottica.

IL CAVO COASSIALE

Il cavo coassiale è costituito da una coppia di conduttori, ma non simmetrici come nel doppino telefonico. L'anima è costituita da un conduttore (di rame) posizionato

sull'asse. L'altro conduttore (coassiale al primo e posizionato all'esterno) è formato con nastri ed è sagomato in modo da costituire un cilindro chiuso. Questo conduttore esterno è separato dall'anima (primo conduttore) con un tubo di polietilene che ha la funzione sia di isolare sia di distanziare i due conduttori.

Il cavo coassiale è particolarmente indicato quando si desidera una maggiore larghezza di banda e una trasmissione più fedele.

Una banda più larga consente la trasmissione di un numero di canali più elevato e, nel caso di segnali digitali, una velocità più elevata.

La maggiore fedeltà nella trasmissione è possibile perché le interferenze esterne sono schermate dal conduttore esterno che è collegato a terra, mentre i campi elettrici e magnetici, prodotti dal segnale, sono confinati quasi esclusivamente all'interno del cavo.

LA FIBRA OTTICA

La fibra ottica è costituita da un core (nucleo centrale) di materiale vetroso del diametro di poche decine di μm (micron) con indice di rifrazione n_1 , da un cladding (mantello) di materiale dielettrico con indice di rifrazione $n_2 < n_1$ e infine da un racket (rivestimento esterno protettivo).

La fibra ottica viene utilizzata generalmente nel campo delle telecomunicazioni. Il segnale informazione da trasmettere è costituito da un raggio luminoso nel campo dell'infrarosso con una lunghezza d'onda tra 0,8 e 1,6 μm . Tale raggio luminoso è generato da opportuni dispositivi in grado di produrre luce monocromatica e coerente. Un esempio di tale tipo di sorgente è il diodo Laser.

Anche per la fibra ottica si definisce la costante di attenuazione, indice della quantità di luce persa durante il percorso.

Da una attenta analisi delle lunghezze d'onda dei segnali trasmessi è stata rilevata l'esistenza di finestre ottiche, ovvero di particolari lunghezze d'onda (1,3÷1,55 μm) per le quali le perdite sono minime. È per tale motivo che il segnale da trasmettere viene scelto nel campo dell'infrarosso.

L'onda elettromagnetica viene introdotta e si propaga nella fibra ottica per riflessioni successive. In figura 9 è stato disegnato come esempio un raggio che subisce riflessione quando dal core entra in contatto con il cladding.

Per avere una rifrazione minima e quindi minime perdite, è necessario rispettare le seguenti specifiche tecniche:

1. rapporto tra gli indici di rifrazione del core e del cladding;
2. angolo di incidenza della luce emessa sulla testa della fibra ottica compreso nel cono di emissione consentito;
3. posa in opera del cavo.

Rapporto tra indici di rifrazione del core e del cladding

In una fibra ottica con indici a gradino, disegnata in figura 8, l'ampiezza di banda effettiva dipende dalla lunghezza della fibra e dalla differenza tra gli indici di rifrazione del core e del cladding. Un cavo ottico di questo tipo è idoneo per la trasmissione a brevi distanze, per esempio reti di dati interne a un edificio, a un aereo, a una nave.

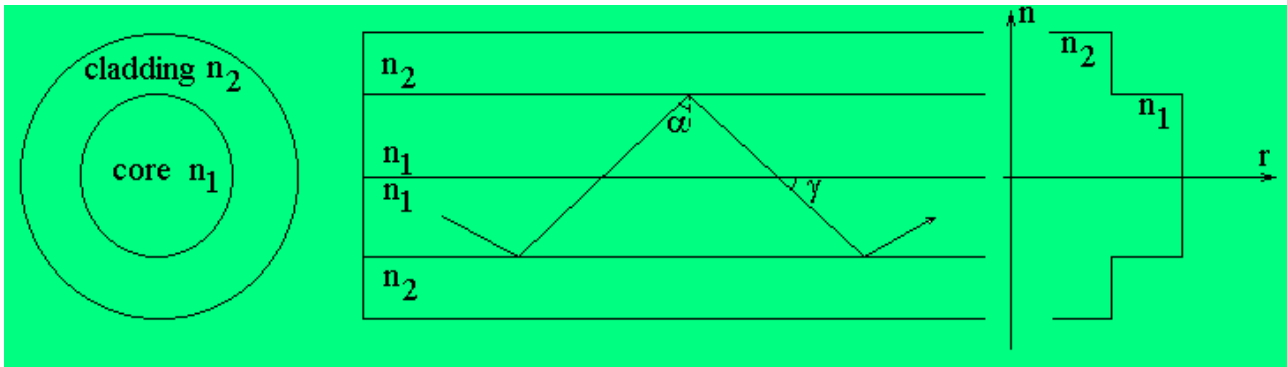


Figura 8 Fibra ottica con indici a gradino

Al fine di confinare il raggio luminoso all'interno del core è necessario che l'angolo di incidenza abbia un valore limitato rispetto all'asse della fibra. In figura 9 è riportato un esempio di due raggi che si propagano con angolo differente in mezzi con indici di rifrazione n_2 e n_1 con $n_2 < n_1$.

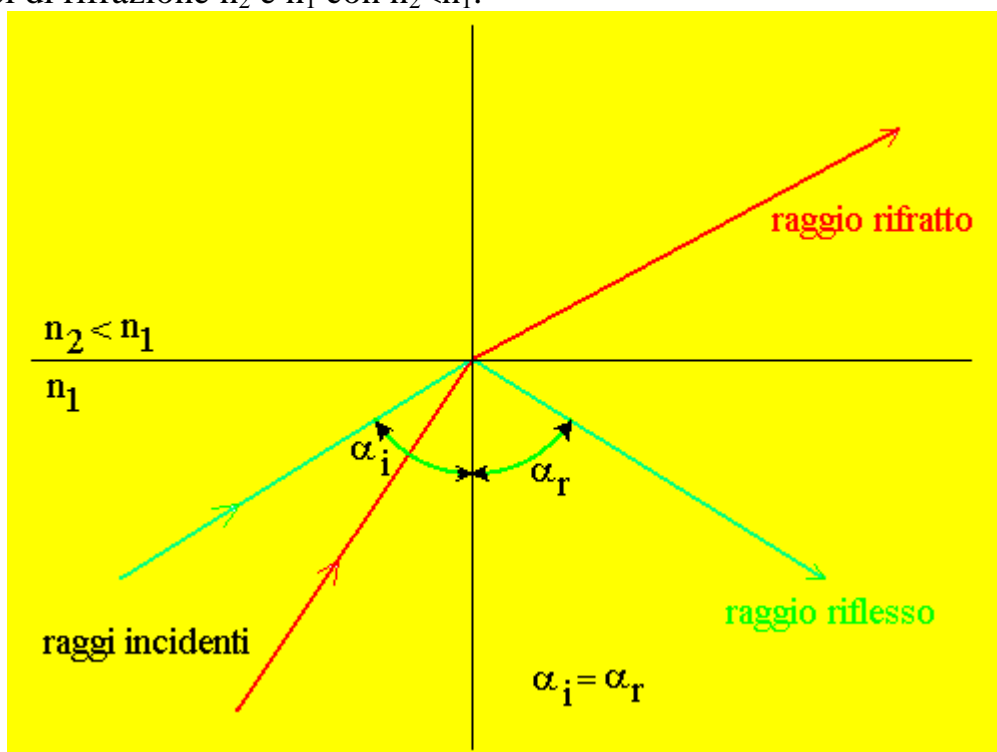


Figura 9 La riflessione interna totale avviene se l'angolo di incidenza è piccolo

È possibile dimostrare che il raggio luminoso viene riflesso (raggio verde in figura 9), quindi resta confinato nell'interno della fibra, se l'angolo di incidenza rispetto alla linea di separazione tra i due mezzi è inferiore ad un valore critico chiamato α_m . In

caso contrario il raggio viene semplicemente rifratto, quindi può uscire dalla fibra; è l'esempio del raggio rosso in figura 9.

La larghezza di banda aumenta notevolmente in una fibra ad indice di rifrazione graduale ovvero con indice di rifrazione che diminuisce gradualmente dal core verso il cladding, come riportato in figura 10.

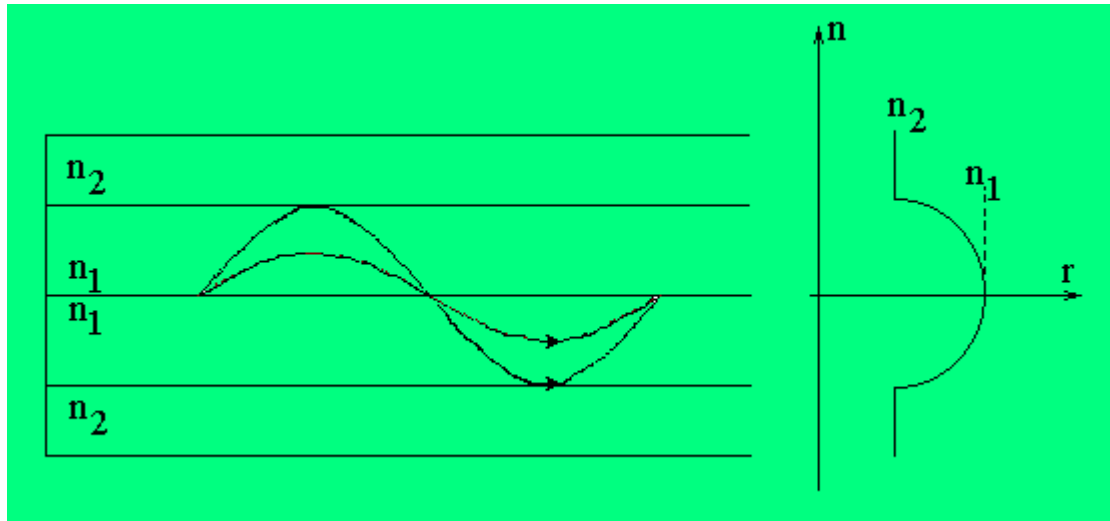


Figura 10 Fibra multimodale con indici di riflessione graduale

L'onda elettromagnetica segue una traiettoria approssimativamente sinusoidale, viene rifratta all'interno del core e non necessariamente in corrispondenza del cladding. Se la luce viene immessa con piccoli angoli di incidenza, percorre traiettorie più brevi con velocità più basse. Viceversa i raggi luminosi che entrano con angoli più elevati, percorrono traiettorie più lunghe con velocità maggiore e penetrano maggiormente nel core verso il cladding, cioè in definitiva vanno a interessare zone con indice di rifrazione più basso.

Se si sceglie in modo opportuno l'andamento dell'indice di rifrazione si ottiene un tempo di propagazione praticamente costante per tutti i segnali luminosi e uno sfasamento degli impulsi molto ridotto. L'andamento che assicura i risultati migliori è quello parabolico.

Il segnale luminoso che si propaga nella fibra ottica è stato studiato con la teoria dell'ottica dei raggi poiché il diametro della fibra è molto grande rispetto alla lunghezza d'onda. Pertanto è possibile trascurare gli effetti della diffrazione dell'onda. Ma se si considera ugualmente la natura ondulatoria della luce ci si accorge che l'onda si può propagare nel cavo ottico solo per alcuni valori discreti dell'angolo. Ad ogni valore di angolo corrisponde un modo diverso di propagazione.

Si definisce multimodale una fibra con grande diametro interno.

In una fibra multimodale con grande differenza tra gli indici di rifrazione, ogni modo di propagazione ha una velocità differente.

In una fibra multimodale lo sfasamento tra gli impulsi è dovuto proprio ai diversi modi di propagazione.

In una fibra multimodale con indice graduale le velocità dei vari modi sono molto prossime tra loro.

Si definisce monomodale una fibra con piccolo diametro interno e piccola differenza tra gli indici di rifrazione.

In questo caso infatti esistono un solo angolo e una sola velocità di propagazione possibile. Naturalmente in questo caso non esiste lo sfasamento tra gli impulsi.

Vantaggi e svantaggi delle fibre ottiche

La fibra ottica è il mezzo trasmissivo che presenta innumerevoli pregi e pochi svantaggi.

I vantaggi possono essere così elencati:

1. grande larghezza di banda (GHz);
2. elevate velocità di trasmissione;
3. attenuazione bassa e indipendente dalla velocità;
4. ridotte dimensioni del cavo ottico;
5. grandi distanze di trasmissione.

Gli svantaggi sono invece:

1. gli elevati costi di produzione e installazione;
2. le difficoltà di montaggio;
3. la necessità di apparecchiature ausiliarie.

Indipendentemente dal tipo di segnale trasmesso, la fibra ottica utilizza il sistema PCM multiplexato in tecnica PDM.

Per concludere si può dire che ***il tipo di segnale trasmesso influenza la natura del mezzo trasmissivo*** che lo deve supportare. Naturalmente bisogna fare in modo che il massimo trasferimento del segnale avvenga con perdite minime. Per esempio il raggio luminoso può anche essere trasmesso nello spazio vuoto ma il rendimento risulta decisamente basso a causa della dispersione di buona parte dell'energia luminosa. Mentre se tale raggio viene incanalato nella fibra ottica, per riflessioni successive, giunge al ricevente senza eccessiva perdita.

L'ETERE

L'etere è lo spazio libero nel quale si propagano le onde elettromagnetiche comprese nel campo dei segnali radio ossia nel range delle frequenze che vanno dalle basse frequenze di un segnale vocale (decine di Hz) fino alle microonde (GHz), attraversando quindi tutto il campo delle onde radio (lunghe, medie, corte, VHF,

UHF, ecc.). Tutte queste frequenze sono inferiori alla più piccola frequenza percepibile dall'occhio umano e pertanto sono tutte invisibili.

Nell'etere, ossia nell'atmosfera terrestre, si possono distinguere due strati interessanti per la propagazione delle onde elettromagnetiche:

1. la **troposfera** che si estende dalla superficie terrestre fino ad una altezza di circa 20Km;
2. la **ionosfera** che inizia dai 50Km dalla superficie terrestre.

Lo strato intermedio, chiamato stratosfera, non riveste particolare interesse per la trasmissione delle onde radio.

Naturalmente la composizione chimico-fisica è differente da strato a strato, pertanto sono tanti i fattori che possono influenzare la trasmissione di un segnale: ora (diurna o notturna), periodo dell'anno, latitudine, attività solare, condizioni atmosferiche, escursione termica, pulviscolo, e per gli strati più bassi anche gli ostacoli naturali (alberi, montagne) e artificiali (case, fabbricati, ecc.)

La trasmissione dei segnali avviene con il seguente sistema: un'antenna trasmittente irradia il segnale elettromagnetico che viene captato da un'antenna ricevente. Il modo di propagazione delle onde è strettamente legato alla lunghezza d'onda delle onde elettromagnetiche stesse.

I vari metodi di propagazione, illustrati in figura 11, sono i seguenti:

1. a vista
2. di superficie
3. ionosfera

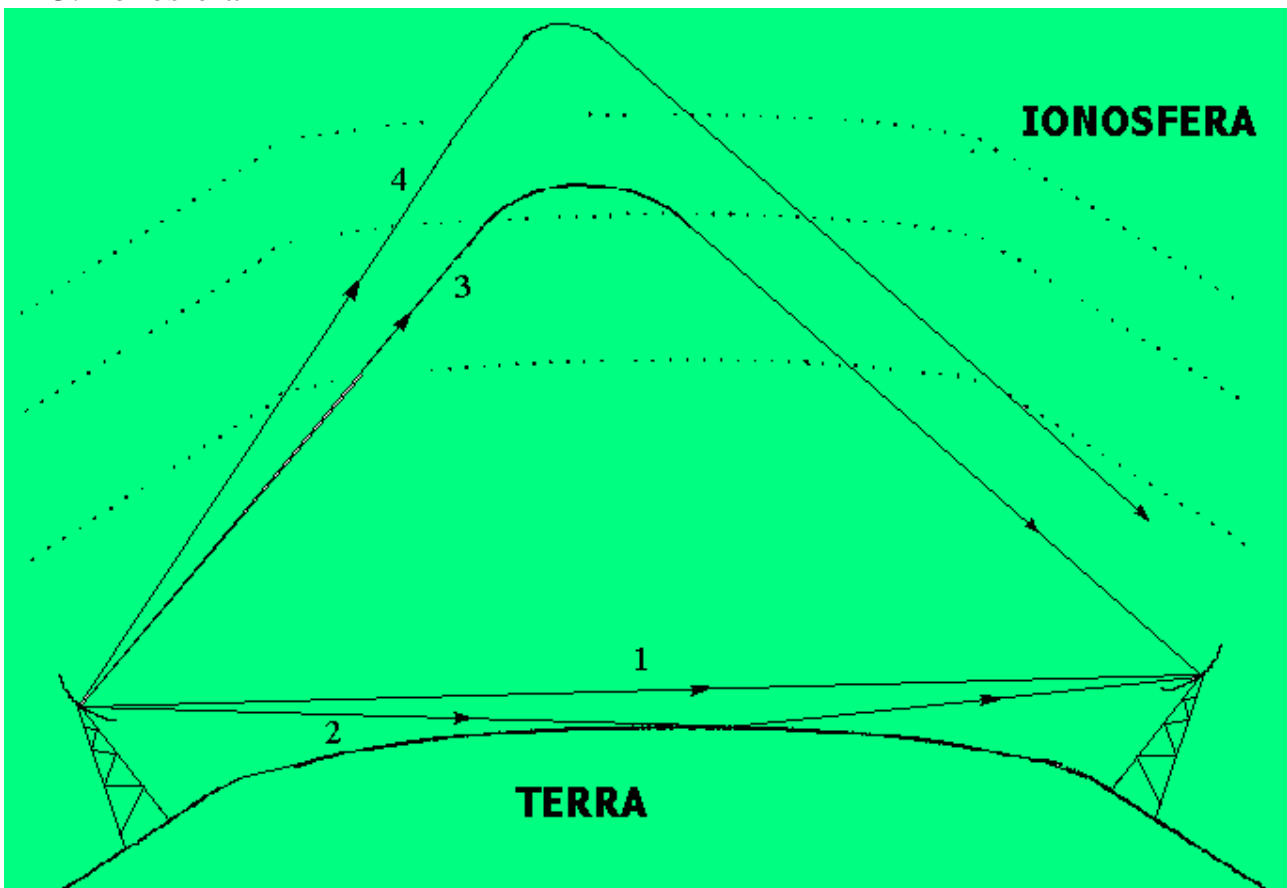


Figura 11 Modi di propagazione di un'onda da un Tx a un Rx

Propagazione a vista

È il metodo più semplice (onda 1 della figura 11), presuppone che l'antenna trasmittente e l'antenna ricevente siano in vista una rispetto all'altra. La propagazione può essere rettilinea se lo spazio tra le due antenne è libero, oppure curvilinea perché le onde seguono la curvatura terrestre grazie alla rifrazione degli strati atmosferici. Questo tipo di propagazione è indicato per le onde con frequenza superiore ai 30MHz (banda HF).

Propagazione di superficie

Con questo metodo (onda 2 della figura 11) le onde si propagano anche per migliaia di Km lungo la superficie della Terra seguendone la curvatura. Naturalmente la diversa conduttività del terreno influenza il processo di propagazione. Questo è un metodo utilizzato per le basse frequenze (fino a poche decine di KHz); per frequenze superiori l'attenuazione del segnale non è più accettabile.

Propagazione ionosferica

Per effetto della rifrazione continua dovuta alla riduzione graduale con l'altezza dell'indice di rifrazione nella ionosfera, le onde radio vengono riflesse e rinviate verso la superficie terrestre a grande distanza dal trasmettitore (onde 3 e 4 della figura 11).

L'onda per rimbalzi successivi tra la superficie terrestre e la ionosfera può percorrere lunghe distanze.

Affinché sia garantita la riflessione è necessario che le onde radio sia emesse dall'antenna trasmittente verso la ionosfera con un angolo non superiore ad un certo valore, definito angolo critico. Per angoli superiori a quello critico non è più garantita la riflessione.

Il comportamento della ionosfera è molto variabile fra il giorno e la notte e fra le diverse stagioni, e comunque dipende dalla lunghezza d'onda del segnale. Infatti il fenomeno della riflessione non si verifica a tutte le frequenze, per esempio le microonde, usate nella trasmissione satellitare, perforano la ionosfera senza subire riflessioni.

I ponti radio

Un problema legato alla trasmissione dei segnali è il numero di canali trasmissibili, di solito abbastanza limitato, che dipende dalla banda passante del mezzo. L'elevato numero di canali impone l'uso di frequenze molto elevate, dell'ordine dei GHz, ma d'altra parte le frequenze elevate comportano la condizione di visibilità tra le antenne. Per trasmettere i segnali a grandi distanze si ricorre al frazionamento, ovvero si dispongono lungo il percorso antenne, riceventi e trasmittenti allo stesso tempo, visibili tra loro. Questa è però una soluzione piuttosto costosa perché il numero delle antenne aumenta all'aumentare della frequenza, infatti la distanza tra le antenne diminuisce rapidamente all'aumentare della frequenza.

Una soluzione alternativa è costituita dal satellite geostazionario. È chiamato geostazionario un satellite che si trova su un'orbita a 36.000Km e che ruota solidalmente con la Terra.

Il satellite si comporta come un'antenna in grado di coprire una superficie pari a un terzo della Terra ed è visibile da molto altri punti di ricezione e trasmissione.

Tre satelliti disposti sulla stessa orbita e a 120° l'uno dall'altro sono capaci di coprire tutta la superficie terrestre. Attualmente sono in orbita i satelliti INTELSAT in grado di servire 35.000 canali telefonici e 4 canali televisivi comandati da Terra da 150 stazioni localizzate nei 110 paesi aderenti a questo sistema di trasmissione.