

ORBITE DEI SATELLITI

Il moto di un satellite è regolato dalle leggi di Keplero e della gravitazione universale per cui in generale l'orbita descritta è un'ellisse di cui la terra è uno dei fuochi e la cui eccentricità dipende dalla velocità con cui viene messo in orbita ad una certa altezza.

Uguagliando forza centrifuga e attrazione gravitazionale si calcola la velocità v_0 con cui si deve immettere in orbita un satellite perché descriva un'orbita circolare di raggio r

$$v_0 = \frac{\sqrt{gR^2}}{\sqrt{r}} = \frac{631}{\sqrt{r}}$$

$$g=9.81 \text{ m/s}^2 \quad R=6370 \text{ km (raggio terrestre)}$$

Se n è il numero di giri che il satellite compie in un'ora attorno alla Terra

La formula che lega fra loro i parametri è $n = \frac{v_0}{2\pi r} 3600$

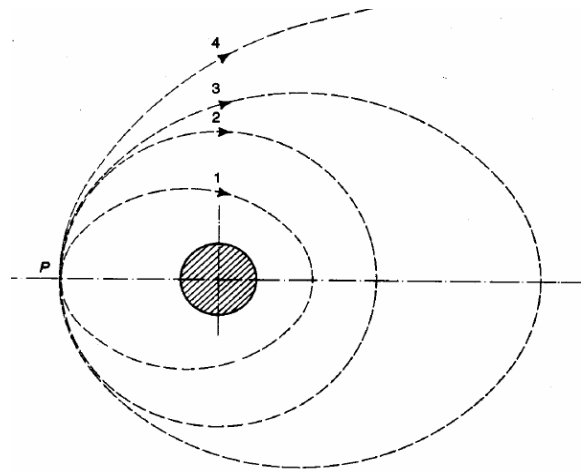
Tipi di orbita
(in funzione della velocità di immissione)

1) $v < v_0$ orbita ellittica

2) $v = v_0$ orbita circolare

3) $v > v_0$ orbita ellittica

4) traiettoria di fuga (parabolica)

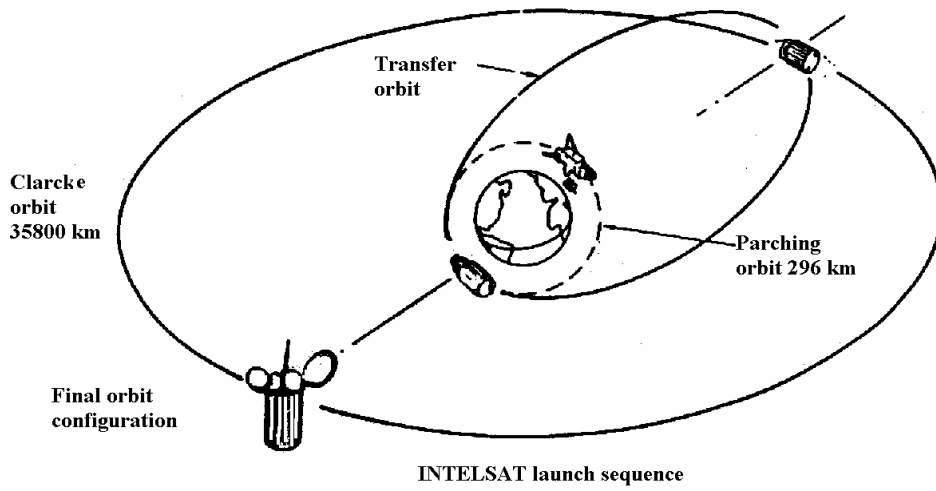
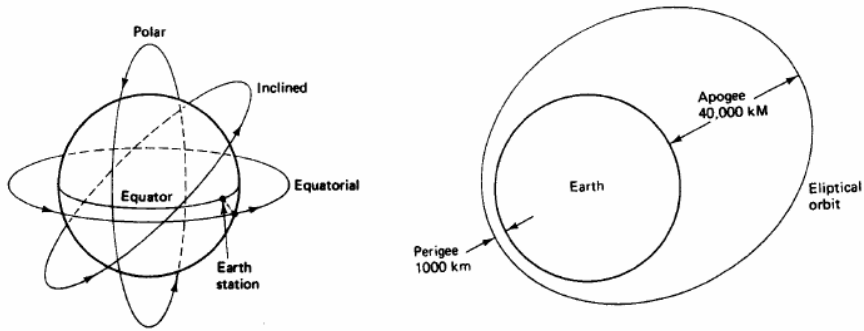


se si vuole che il satellite abbia la stessa velocità angolare della terra si ottiene che il raggio deve essere

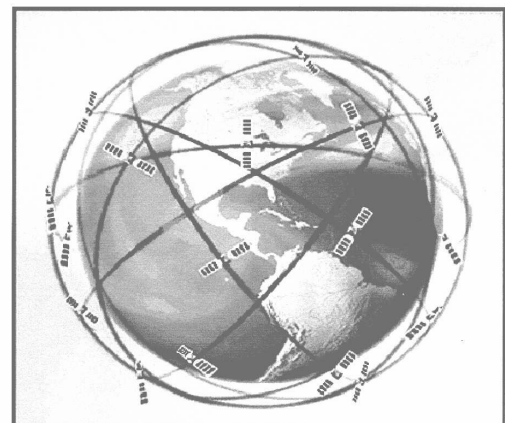
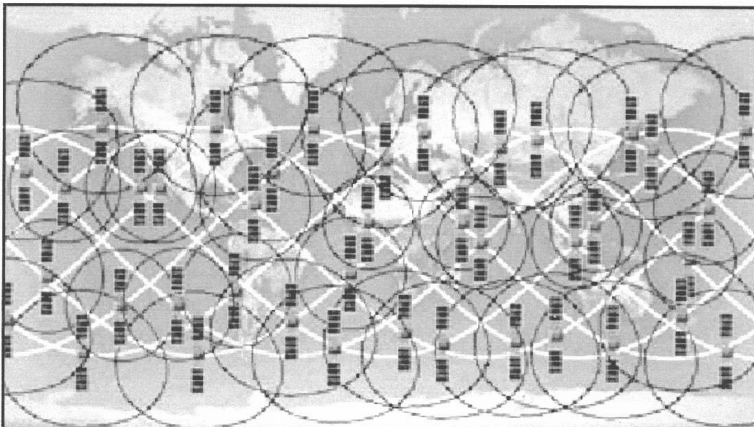
$r=42200 \text{ km}$ e quindi l'altezza del satellite $h=35800 \text{ km}$

Se l'orbita è contenuta nel piano equatoriale terrestre un osservatore vede dalla terra il satellite fermo per cui si dice geostazionario o sincrono.

TIPI DI ORBITE

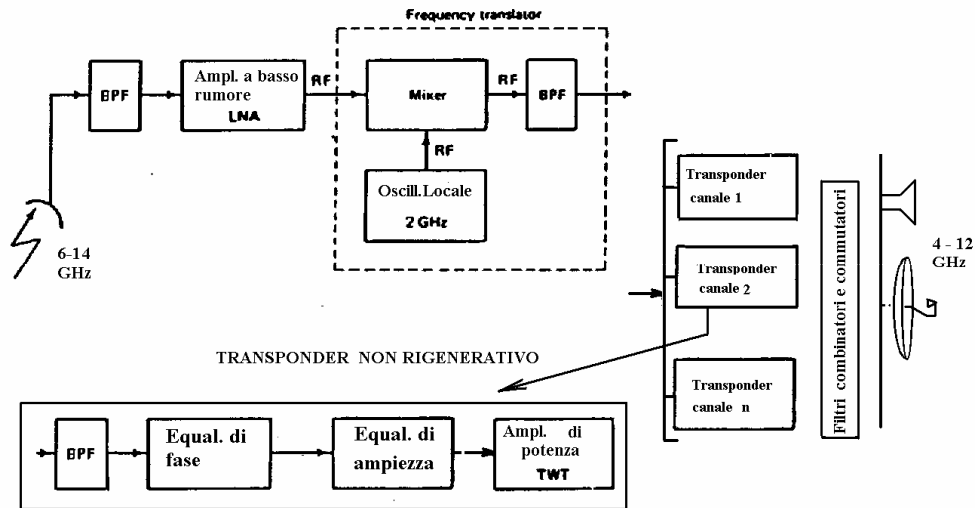


Costellazione satellitare LEO GLOBASTAR

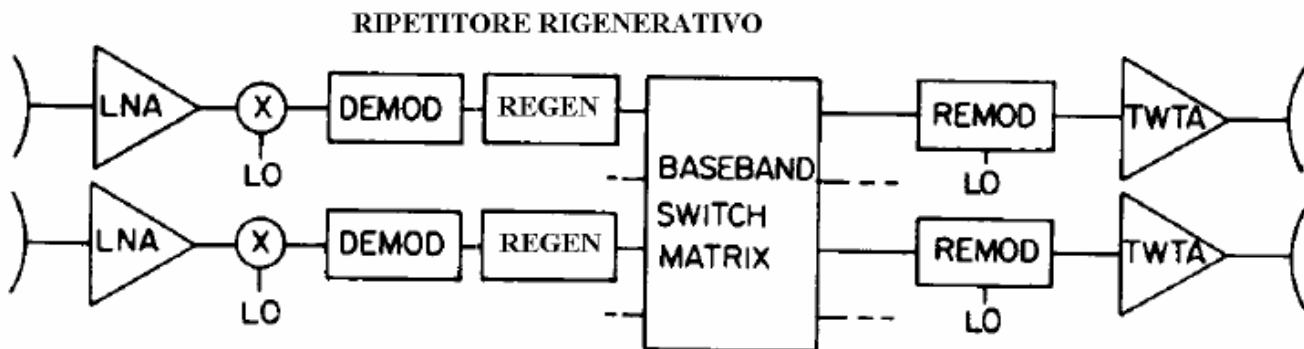


RIPETITORE SATELLITARE

Generalmente a bordo del satellite si fanno conversioni di frequenza e amplificazione dei canali trasmessi



Più recentemente i satelliti sono dotati di ripetitori rigenerativi e viene effettuata commutazione a bordo memorizzando i dati dei canali in ingresso ed instradandoli sui canali di uscita



ANTENNE DI BORDO

Il sistema di antenne del satellite caratterizza il suo impiego
Per coprire la superficie terrestre si usano

Antenne a fascio globale

Antenne a fascio sagomato

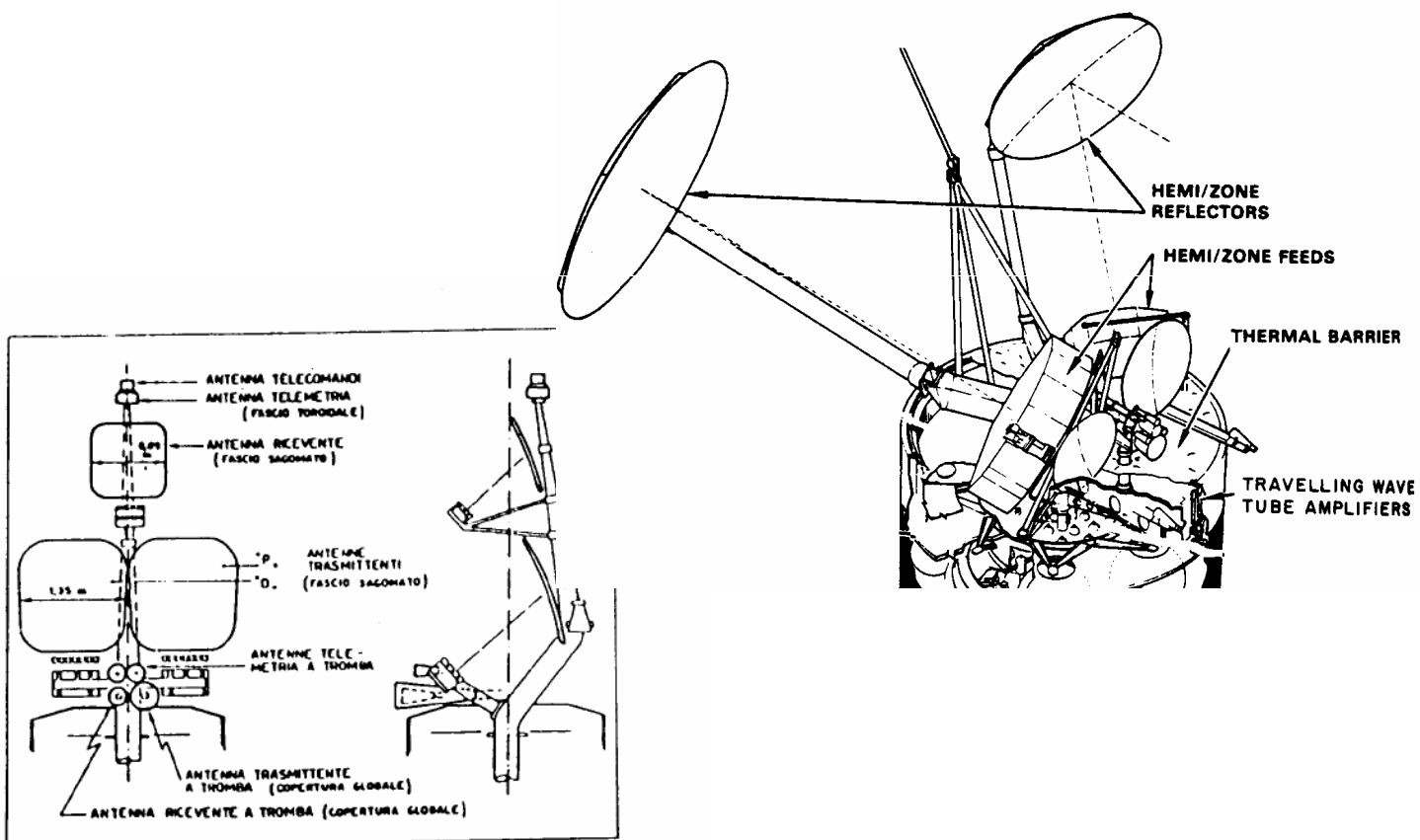
sono alimentate in offset da schiere di antenne in modo da realizzare la copertura desiderata

Antenne spot-beam

Antenne per comando e telemetria

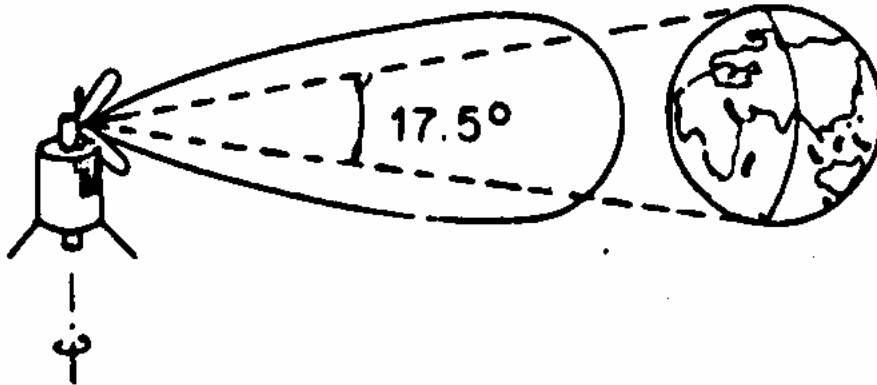
Antenne beacon

Le antenne beacon emettono con continuità una portante non modulata che una stazione a terra aggancia e usa per allineare le sue antenne e per determinare la posizione del satellite

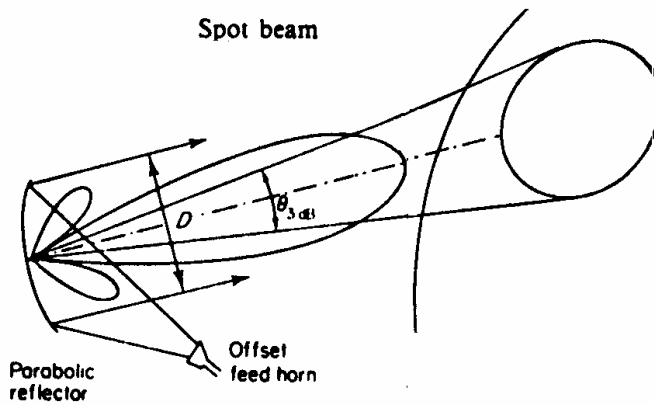


Configurazione delle antenne dell'Intelsat IV-A.

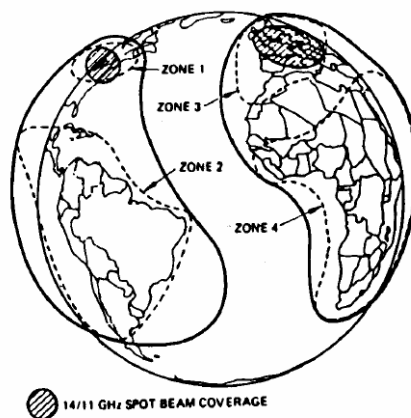
Copertura globale



Copertura a spot

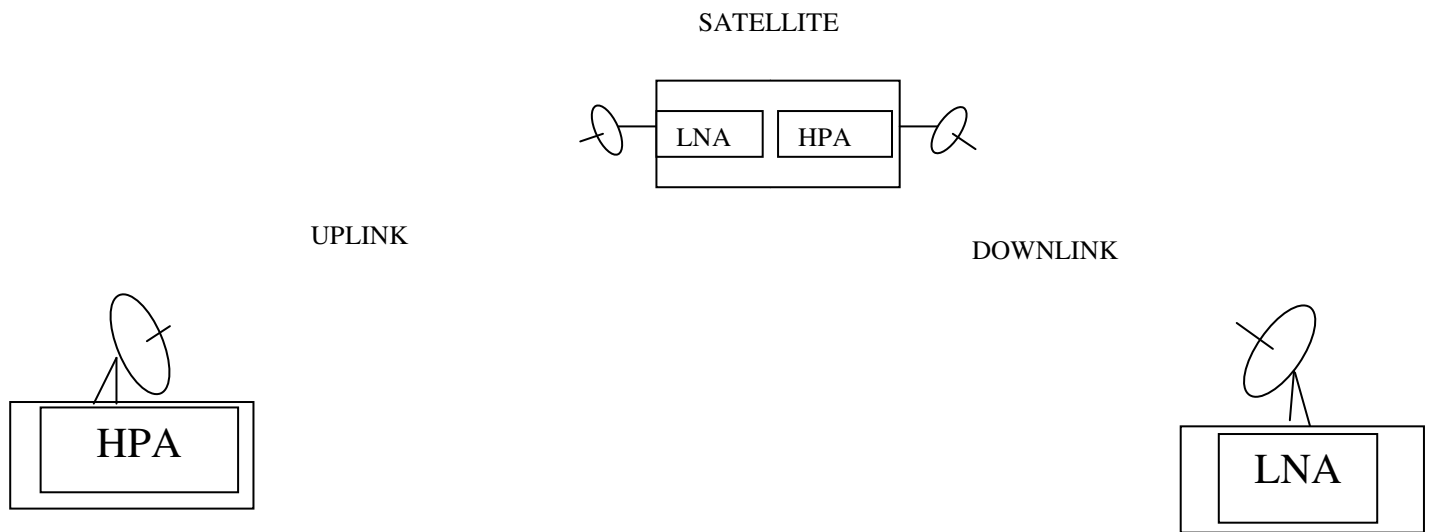


Copertura a fasci sagomati



La sagomatura del fascio si ottiene mediante illuminatori costituiti da schiere di antenne

COLLEGAMENTI VIA SATELLITE



In pratica si tratta di un ponte radio a due tratte con caratteristiche sostanzialmente diverse

L'equazione del collegamento per la singola tratta può essere scritta

$$\frac{C}{N} = \frac{P_T G_T}{L_g L_s} \frac{G_R}{k T_s B} = \frac{EIRP}{L_g L_s k_s B} \frac{G_R}{T_s}$$

N è il rumore all'ingresso del ricevitore $N = k(T_a + T_e) B = k T_s B$
 Che tiene conto del rumore introdotto dagli apparati di ricezione

$$\left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = L_g \quad \text{attenuazione geometrica}$$

$P_T G_T = EIRP$ (Effective Isotropic Radiated Power)

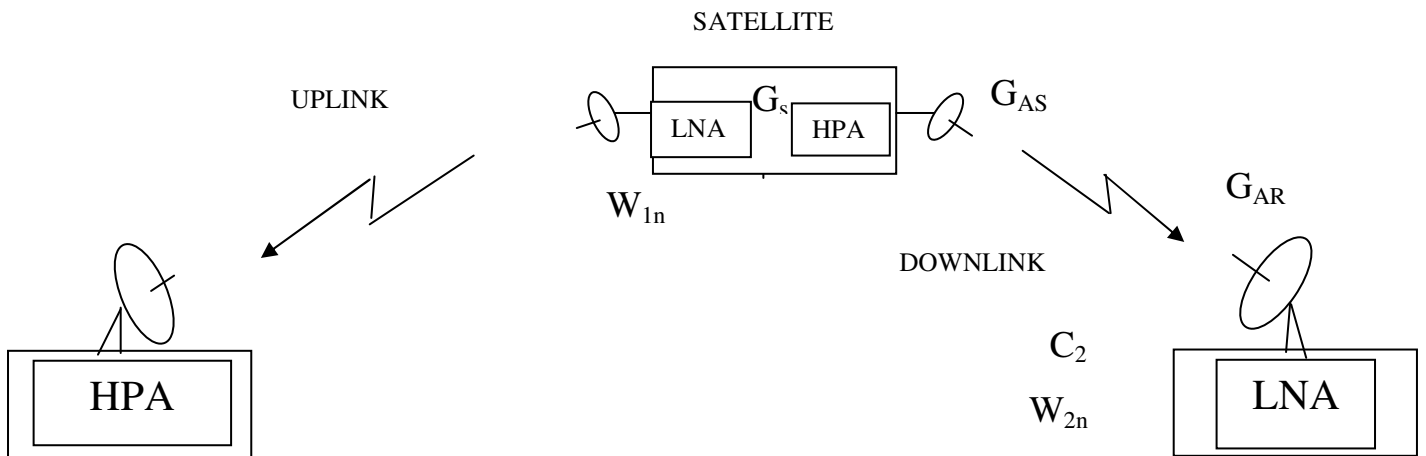
Dove P_T in pratica coincide con la potenza irradiata

G/T è la cifra di merito del ricevitore

Se si desidera un determinato $(C/N)_{IF}$
 vale la relazione

$$\left(\frac{C}{N} \right)_T = \frac{(C/N)_u (C/N)_d}{(C/N)_u + (C/N)_d} \quad o \quad \left(\frac{E_b}{N_o} \right)_T = \frac{(E_b/N_o)_u (E_b/N_o)_d}{(E_b/N_o)_u + (E_b/N_o)_d}$$

RAPPORTO S/N NEI COLLEGAMENTI SATELLITARI



Lavorando con le densità spettrali di rumore siano W_{1n} e W_{2n} i contributi relativi ai due diversi ricevitori satellitare e terrestre

$$W_{1n} = kT_{S1} \text{ e } W_{2n} = kT_{S2}$$

La densità spettrale di rumore totale al ricevitore è

$$W_n = W_{1n} (C_2/C_1) + W_{2n}$$

C_2/C_1 rappresenta il guadagno complessivo fra i punti 1 e 2 cioè G_s

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{G_s G_{AS} G_{AR}}{L_s}$$

Dividendo per la potenza ricevuta C_2 Si ottiene per il rapporto densità spettrale di rumore-potenza la semplice relazione

$$W_n / C_2 = W_{1n} / C_1 + W_{2n} / C_2$$

con riferimento a una banda comune e ad un rapporto segnale rumore ρ

$$1 / \rho = 1 / \rho_1 + 1 / \rho_2$$

La potenza trasmessa da terra può rendere trascurabile il contributo di rumore della tratta terra satellite

$$\frac{W_1}{C_1} \ll \frac{W_2}{C_2} \text{ per cui ad esempio se } \frac{W_2}{C_2} = -18 \text{ e } \frac{W_1}{C_1} \ll \frac{1}{5} \frac{W_2}{C_2} \text{ si ha } \frac{W_1}{C_1} = -25$$

Già in questo caso il collegamento può essere progettato considerando le due tratte separatamente e ottimizzando in particolare la tratta di discesa

Propagazione tra terra e satelliti:UPLINK

I satelliti per telecomunicazioni vengono sistemati in orbite al di sopra della ionosfera; pertanto le frequenze che possono essere utilizzate per collegamenti con i satelliti, devono essere sufficientemente elevate per evitare che vengano riflesse dalla ionosfera, cioè devono essere superiori ad alcune decine di MHz.

Nell'attraversamento della ionosfera sono da considerare anche fenomeni come la rotazione di Faraday e la scintillazione ionosferica

La rotazione di Faraday è la rotazione dell'asse di polarizzazione di un'onda causata da alcune caratteristiche dell'atmosfera

$$\Omega = \frac{2.36}{f^2} \int_{d} B_L N dl \quad \text{in radianti}$$

Dove B_L è la componente del campo magnetico terrestre lungo il percorso diretto d N è la densità di elettroni (elettroni per m^3) f la frequenza in Hz.

Si è verificato che nelle peggiori condizioni per il peggiore 1% del tempo di un anno la perdita introdotta è di 3dB.

La perdita può essere eliminata usando polarizzazioni circolari

La scintillazione ionosferica è prodotta da irregolarità nella densità di elettroni negli strati ionizzati della ionosfera. Queste non omogeneità creano riflessione e diffusione delle onde radio ma i contributi di questa diffusione decrescono rapidamente al crescere della frequenza per cui il loro contributo può essere ignorato

L'uso di frequenze alte è motivato anche dalla necessità di usare antenne di dimensioni contenute e con guadagno molto elevato che compensi la notevole attenuazione dovuta alle grandi distanze in gioco tenuto conto delle limitate potenze che sono disponibili sui satelliti.

Anche agli effetti del rumore proveniente dall'esterno è conveniente avere frequenze non troppo basse: la temperatura equivalente di rumore di un'antenna puntata allo zenith, con cielo chiaro diminuisce con la frequenza, finché non si fa sentire il rumore che si genera nell'atmosfera.

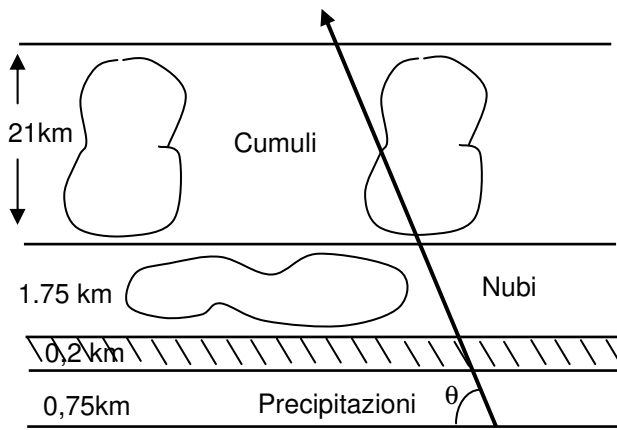
Quest'ultimo cresce decisamente a frequenze superiori a 10 GHz, esiste una gamma di frequenze ottime per il d'antenna che è quella compresa tra i 3 e 10 GHz.

Il rumore atmosferico è calcolato in condizioni di cielo chiaro.

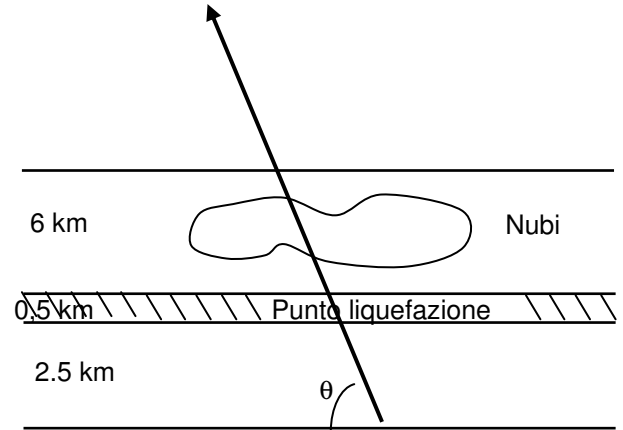
Quando il cielo non è chiaro, occorre tener conto che l'umidità più o meno concentrata nelle nubi e nell'atmosfera creano un rumore che in parte è dovuto a riflessioni e in parte è dovuto a vere e proprie dissipazioni, alle quali è associabile la generazione di un rumore di tipo termico attribuibile all'atmosfera stessa.

In condizioni di cielo nuvoloso e di pioggia si ha un incremento di questa rumorosità, che dipende dalla frequenza di lavoro e dal percorso effettuato dalle onde elettromagnetiche

Questa seconda parte di rumore cresce con la frequenza dato che le dissipazioni appunto crescono con la frequenza.



Regioni tropicali

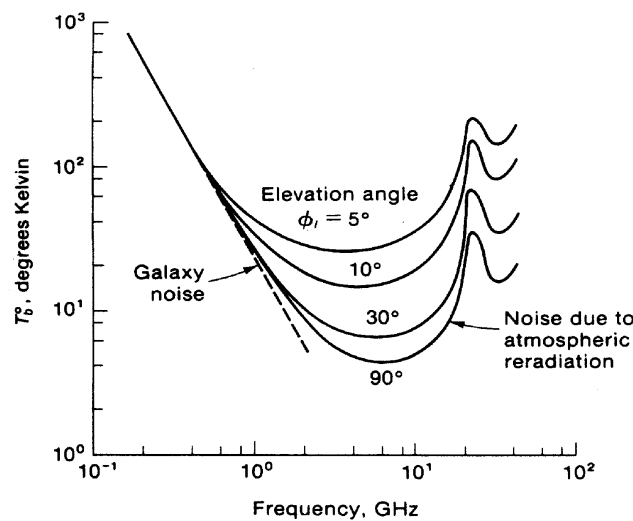


Zone temperate

E' evidente che il percorso nell'atmosfera delle onde viaggianti tra il satellite e la terra è tanto più grande quanto più il satellite è basso sull'orizzonte dell'antenna a terra

Da ciò deriva che la temperatura equivalente di rumore di cielo, cresce al diminuire dell'altezza sull'orizzonte .

Per esempio a 4 GHz la temperatura equivalente di rumore del cielo in condizioni di cielo chiaro è di circa una decina di °K allo zenith e peggiora fino a 50 °K per angoli di elevazione di circa 5° (questi valori di temperatura di rumore tengono conto anche del rumore captato dai lobi secondari dell'antenna).

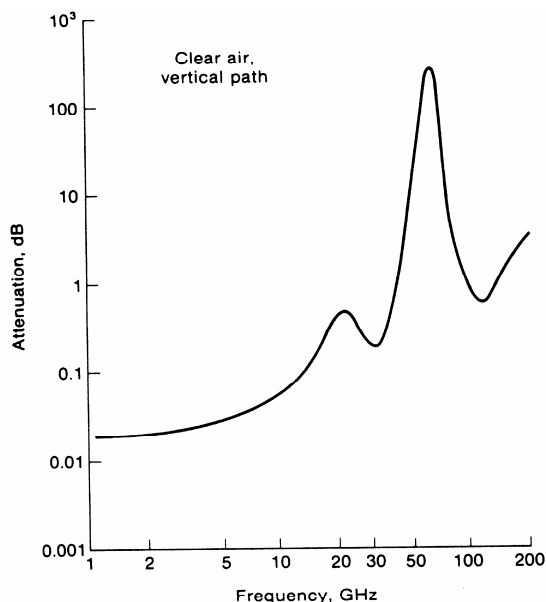


Background noise temperature for earth-based receivers.

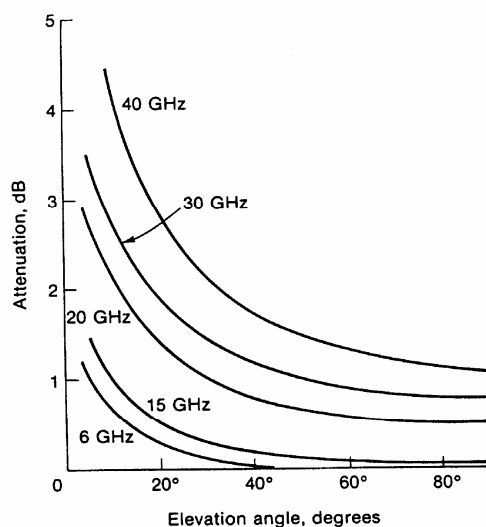
ATTENUAZIONE

Un'onda elettromagnetica viene attenuata quando si propaga attraverso l'atmosfera e l'attenuazione cresce con la frequenza.

Ci sono assorbimenti più intensi in corrispondenza di frequenze alle quali le molecole di alcuni gas dell'atmosfera presentano effetti risonanti



L'attenuazione varia inoltre con l'angolo di elevazione in quanto si è detto che il percorso nell'atmosfera delle onde viaggianti tra il satellite e la terra è tanto più grande quanto più il satellite è basso sull'orizzonte.



CANALE SATELLITARE DOWNLINK

Le caratteristiche del canale satellitare sono diverse per i diversi tipi di satelliti che possono essere geostazionari oppure orbitare su orbite ellittiche ad altezze diverse .

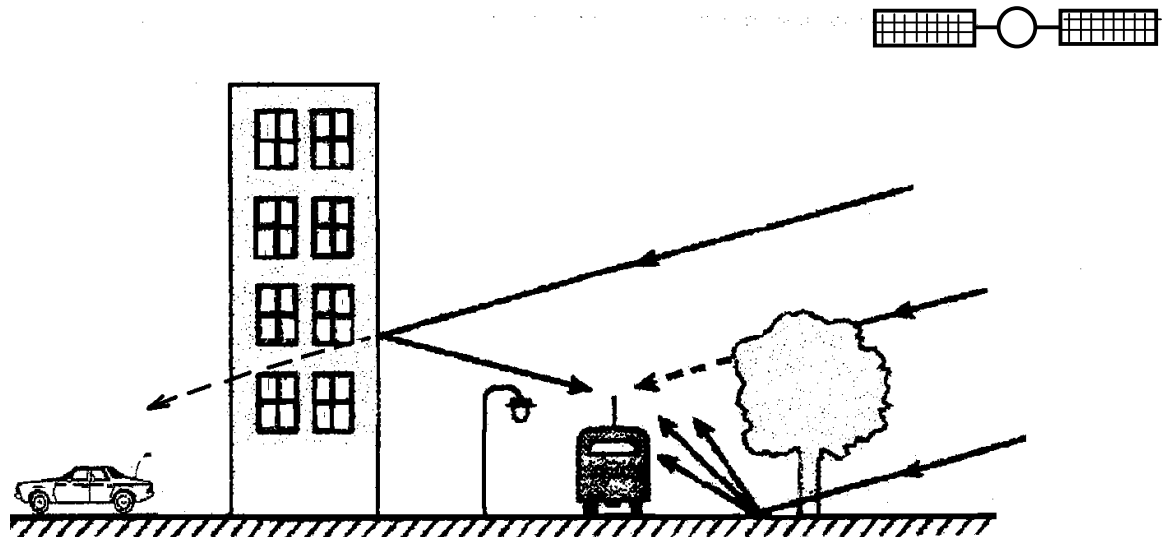
Il parametri fondamentali per caratterizzare il canale satellitare è l'angolo di elevazione sotto cui viene visto il satellite: infatti con il satellite molto alto sull'orizzonte è abbastanza improbabile che il segnale venga bloccato da ostacoli presenti sulla superficie terrestre. Quando l'orbita è bassa o il satellite non è geostazionario si ha variabilità del canale dovuta al fatto che il satellite viene visto spostarsi su differenti angoli di elevazione.

I principali fenomeni da cui è interessato un canale satellitare sono

Diffusione (scattering)

Fading da percorsi multipli

Shadowing



In aggiunta a quanto appena detto il canale satellitare spesso è anche tempo variante sia per il fatto che la stazione terrestre e il satellite possono spostarsi, sia perché possono mutare le condizioni atmosferiche

I satelliti possono essere classificati in base all'altezza dell'orbita nel seguente modo:

- LEO (low earth orbiting): sono satelliti che si trovano ad una distanza dalla superficie terrestre che può variare dai 300 km ai 2000 km ed hanno un periodo di rivoluzione intorno alla terra di pochissime ore (da 1 h e 30' in su),
- MEO (medium earth orbiting): si trovano ad una distanza dalla superficie terrestre compresa fra i 6000 km e i 20000 km ed eseguono un giro completo della terra in una decina di ore,
- GEO (geostationary orbiting): questi satelliti si trovano a circa 36000 km dalla superficie terrestre e sono fissi per un osservatore terrestre, cioè compiono il giro della terra in 24 ore nello stesso senso di rotazione della terra,
- HEO (highly elliptical orbiting): sono satelliti che percorrono un'orbita pesantemente ellittica con apogeo compreso fra 7000 km e 40000 km.

La descrizione del canale è quindi estremamente importante, sebbene molto difficoltosa: infatti le comunicazioni via satellite verso un terminale mobile terrestre hanno l'inconveniente di subire notevoli variazioni della potenza ricevuta sia perché il segnale, prima di arrivare alla stazione mobile terrestre, deve attraversare i vari strati dell'atmosfera, sia perché è soggetto ad affievolimento (**fading**) dovuto a cammini multipli e ad assorbimento (oscuramento) dovuto ad ostacoli (**shadowing**).

Il fading avviene quando il segnale non è ricevuto solo da un percorso diretto (LOS), ma presenta anche componenti riflesse. Questo significa che per certi periodi del collegamento il segnale ricevuto può presentare una potenza inferiore a quella prevista dal link budget teorico a causa delle varie componenti che si sommano al ricevitore in modo non coerente.

Dall'altro lato lo shadowing si verifica quando la via di propagazione fra satellite e stazione mobile terrestre è ostruita da elementi naturali (montagne, alberi,...) o da strutture costruite

I satelliti GEO hanno come caratteristica principale quella di presentare un angolo di elevazione costante ad un utente terrestre, a discapito però di notevoli attenuazioni a causa dell'ingente distanza che deve percorrere il segnale;

I satelliti LEO e MEO che orbitano molto più vicini alla superficie terrestre, ma nasce una difficoltà, cioè non si ha più la costanza dell'angolo di elevazione, visto che tali satelliti ruotano velocemente intorno alla terra (non sono geosincroni): quindi per servire con buona affidabilità una certa zona devono essere previsti più satelliti che a turno mi garantiscano la copertura.

Il ricevitore deve essere in grado di fornire buone prestazioni anche quando il satellite viene visto con bassi angoli di elevazione e quindi con elevate perdite di propagazione e probabilità di shadowing.

I satelliti HEO, che possono essere considerati quasi stazionari visto che l'azimut varia molto lentamente, sono stati introdotti per avere alti angoli di elevazione per lunghi periodi di tempo: infatti i satelliti GEO vengono visti con bassi angoli di elevazione (10° - 45°) dalla Europa e dal Nord America.

Il canale per collegamenti geostazionari (GEO) è il più facile da modellare infatti con il satellite molto alto sull'orizzonte è abbastanza improbabile che il segnale venga bloccato da ostacoli presenti sulla superficie terrestre.

Il canale per collegamenti Land –Mobile- Satellite(LMS) con satelliti in orbita bassa è il canale più difficile da analizzare e da modellare

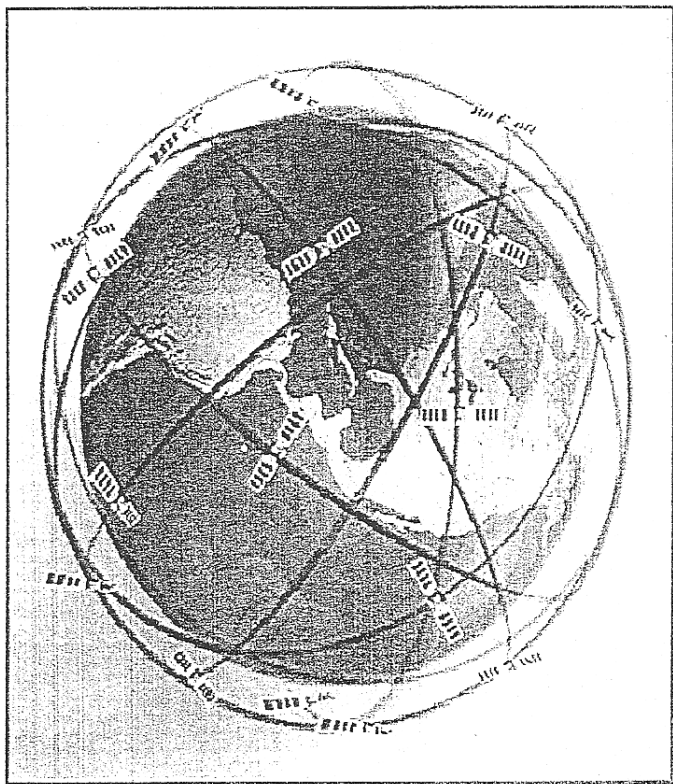
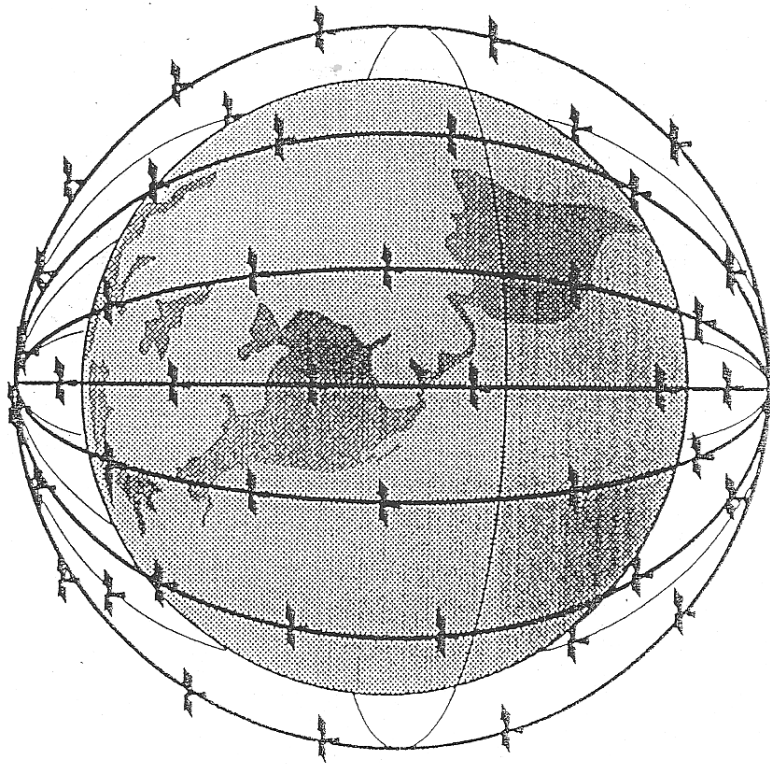
SISTEMI PER SERVIZI MOBILI

ORbite CIRCOLARI:

- LEO (Low-altitude Earth Orbit), $500 < H < 1700$ km;
- MEO (Medium-altitude Earth Orbit), $5000 < H < 10500$ km;
- GEO (Geostationary Earth Orbit), $H = 35800$ km.

PRINCIPALI CARATTERISTICHE DI ALCUNI SISTEMI N-GEO PER SERVIZI MOBILI:

Sistema	GLOBALSTAR	ICO	IRIDIUM
Tipo di orbite / Copertura	LEO / fino a 70° Lat.	MEO / globale	LEO / globale
Num. satelliti/Num. orbite/Inclinaz. (°)	48 / 8 / 52	10 / 2 / 45	66 / 6 / 86
Quota (km)	1400	10355	780
Numero di fasci per satellite	16	163	48
Servizi / Ritmo binario	Fonia, messaggistica, cercapersone / 4,8 kbit/s		
Bande per collegamento terminale-satellite (MHz)	1610-1621,35 (s) 2483,5-2494,85 (d)	1980-2010 (s) 2170-2200 (d)	1621,35-1626,5 (s) 2494,85-2500 (d)
Bande per coll. stazione-satellite (MHz)	5000 (d) 7000 (s)	5000 (d) 7000 (s)	18000 (d) 28000 (s)
Accesso multiplo	CDMA	TDMA	TDMA
Collegamenti intersatellite (ISL)	(No) ~ 50	(No) ~ 12	(Si) (23 GHz) ~ 15
Stazioni di terra	~ 50	~ 12	~ 15
Inizio operatività prevista	1999	1999	1998



LAND MOBILE SATELLITE CHANNEL

In ricezione sono presenti generalmente tutti i contributi indicati cioè shadowing e percorsi multipli per riflessione, diffusione, diffrazione (multipath).

Si può distinguere spesso

- una componente diretta (Line Of Sight) eventualmente affetta da shadowing,
- una componente speculare che rappresenta il campo che arriva all'antenna per effetto di una riflessione principale (generalmente quella costituita dalla riflessione sul terreno) che però viene spesso ricevuto secondo angoli per cui il diagramma verticale dell'antenna presenta guadagni trascurabili
- una componente indiretta costituita da tutti gli altri contributi chiamata talvolta componente diffusa

Il moto del veicolo provoca una variazione delle proprietà dell'ambiente conferendo al segnale ricevuto una statistica teoricamente non stazionaria, ma in pratica il canale può essere descritto come quasi stazionario in quanto le sue caratteristiche possono essere considerate lentamente variabili (angolo di elevazione, tipi di ostacoli, irregolarità delle superfici).

La portante subisce uno spostamento Doppler dovuto al movimento del terminale. Questo spostamento si può calcolare in base alla formula

$$f_d = \frac{v}{c} f_c \cos \theta$$

f_c è la frequenza della portante, v è la velocità del veicolo, c la velocità della luce e θ è l'angolo di elevazione della componente diretta.

Sempre per effetto di questo spostamento la fase del generico contributo della componente indiretta in ricezione avrà uno sfasamento $2\pi f_d t$.

La larghezza di banda di tale componente per velocità dei veicoli intorno ai 100 km/h vale circa 200 Hz.

Un modello statistico per l'involuppo del segnale ricevuto in un canale LMS è utile per prevedere le prestazioni di un sistema di comunicazione con vari schemi di modulazione e consente il progetto di un simulatore del canale di propagazione. Si deve operare una distinzione preliminare ambiente rurale e ambiente urbano.

Modello di canale per Ambiente rurale

Per la maggior parte del tempo una componente in visibilità diretta è disponibile al ricevitore.

Il modello statistico viene descritto mediante la funzione densità di probabilità. Si ipotizza inoltre che il fogliame non solo attenui ma anche diffonda le onde radio. A frequenze inferiori a 1GHz gli alberi sono virtualmente trasparenti al segnale, ma per frequenze più alte si usa un modello di rifrattore a lamina.

Il modello di canale prevede quindi che la componente diretta attenuata dal fogliame subisce uno

Shadowing e quindi ha una distribuzione lognormale mentre il fading per percorsi multipli ha una distribuzione di Rayleigh.

$$V e^{j\theta} = z e^{j\phi_0} + w e^{j\phi}$$

dove le fasi Φ_0 e Φ hanno una distribuzione uniforme fra 0 e 2π z ha una distribuzione lognormale e w ha una distribuzione di Rayleigh.

Modello di canale per aree urbane

Nell'area urbana il collegamento fra il mobile e il satellite è spesso completamente ostruito da alti edifici per cui la ricezione avviene attraverso una propagazione per scattering. Il segnale ricevuto è costituito da molte componenti indipendenti e con fasi casuali. L'involuppo del segnale ricevuto subisce un fading con una distribuzione statistica di Rayleigh. Le fasi ricevute hanno una densità di probabilità uniforme con valori fra 0 e 2π .

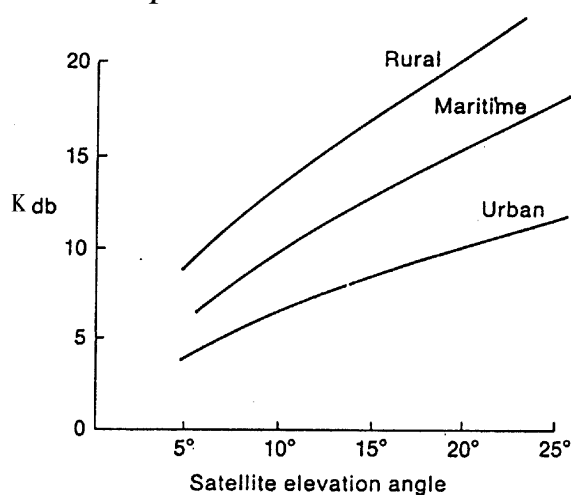
Quando le aree sono più aperte la statistica del segnale ricevuto è quella di RICE

Si introduce il fattore di Rice K definito come il rapporto fra la potenza della componente diretta e la potenza della componente indiretta del segnale ricevuto

$$K = \frac{V^2}{2\sigma_2^2}$$

Per $K = 0$ ho la densità di probabilità di Rayleigh

$K = \infty$ tutta la potenza nella componente diretta



Il movimento del mobile fa passare da una zona con il primo tipo di caratteristica a zone con il secondo tipo

Si può considerare che il canale si trovi in un numero finito di possibili stati. Il passaggio da una situazione all'altra può essere efficacemente descritto da un modello Markoviano che fornisce quindi un realistico modello di canale

Modello Markoviano

Per rappresentare il canale LMS (Land- Mobile –Satellite) si deve usare un modello più complesso. Questo modello cerca di caratterizzare le diverse condizioni cui può essere sottoposto il segnale ricevuto a terra a differenza di altri modelli di canale in cui l'effetto dell'ambiente sulla potenza ricevuta viene conglobato in una unica distribuzione con opportuni parametri statistici che tengano conto del tipo di fading cui è soggetto il segnale;

In pratica ciò che viene fatto per caratterizzare il canale fra satellite e stazione mobile terrestre è un modello differente per le varie condizioni di visibilità cui può essere sottoposto il segnale(stato); successivamente i singoli processi vengono riuniti in un unico processo globale in base alle probabilità di transizione degli stati.

L'idea di base è quella per cui un sequenza aleatoria può essere generata da differenti 'sorgenti' ognuna descrivibile con un ben preciso modello statistico e rappresentante un diverso 'stato' del segnale

Il legame fra i vari stati può essere espresso attraverso una catena di Markov con tanti stati quanti sono i diversi modelli statistici, quindi con la catena di Markov si descrive il processo di commutazione fra i vari modelli di canale.

Viene utilizzato di solito un modello a due stati. Indichiamo con S_1, S_2 i valori che possono essere assunti da un campione del processo al passo n : quando $x(n) = S_i$ si dice che si trova nello stato i -esimo, mentre la probabilità condizionata

$$P_{ji}(n) = \Pr[x(n)=S_j|x(n-1)=S_i]$$

viene chiamata probabilità di transizione dallo stato i -esimo allo stato j -esimo ed è di fondamentale importanza nella caratterizzazione di una catena di Markov.

Una catena di Markov viene detta stazionaria quando le probabilità di transizione dello stato non dipendono da n , o dal tempo t se sto considerando processi tempo continui:

MODELLO A DUE STATI

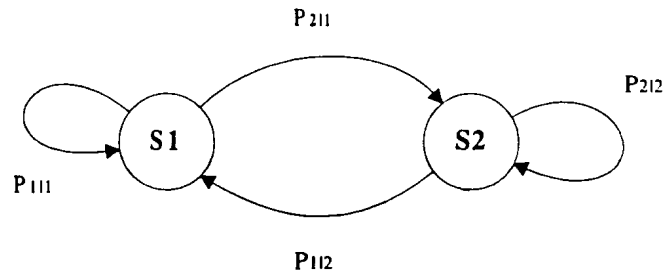


Diagramma di transizione degli stati

Col modello a due stati, si cerca di utilizzare diversi tipi di densità di probabilità per modellare differenti condizioni di fading cui può essere soggetto il segnale.

Generalmente vengono presi in considerazione due diversi stati: una situazione in cui il segnale diretto arriva al ricevitore senza che sia bloccato da strutture fisiche, cioè in condizioni di visibilità (stato 1: LOS), e una situazione in cui il livello medio del segnale è molto al di sotto rispetto alle condizioni dello stato LOS, a causa della presenza di edifici che impediscono la ricezione del raggio diretto (stato 2: fading, NLOS).

Stato 1: questa condizione viene modellata in modo molto semplice con una densità di probabilità di Rice che è un ottimo modello di canale quando si ha un contributo dominante sovrapposto a componenti diffuse:

$$p_I(V) = \frac{V}{\sigma_I^2} e^{-\frac{V^2 + A^2}{2\sigma_I^2}} I_0\left(\frac{VA}{\sigma_I^2}\right) \text{ per } V \geq 0$$

$$I_0(z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{(z \cos \phi)} d\phi$$

è la funzione di Bessel modificata di prima specie e ordine 0

Stato 2: questa situazione può essere modellata con una densità di probabilità di Rayleigh che, oltre a presentare una forma matematica facilmente trattabile, consente di modellare situazioni in cui il segnale ricevuto è costituito da contributi incoerenti provenienti da tutte le direzioni:

$$p_2(V) = \int_0^{2\pi} p(V, \phi) d\phi = \frac{V}{\sigma_2^2} e^{-\frac{V^2}{2\sigma_2^2}} \text{ per } V \geq 0$$

Le due diverse condizioni cui può essere sottoposto il segnale vengono legate in modo statistico attraverso un catena di Markov a due stati, che deve modellare il processo di commutazione (switching) fra le due condizioni di visibilità.

Per questo modello è quindi di fondamentale importanza una corretta stima del tempo medio in cui persistano condizioni di visibilità, poiché tale parametro (indicato con D =disponibilità) determina il legame fra le due diverse distribuzioni e quindi fornisce di per sé una indicazione sul tipo di canale che sto trattando e sulla sua potenziale affidabilità. La densità di probabilità complessiva del modello a due stati è perciò la seguente:

$$p(V) = D p_1(V) + (1-D) p_2(V) = \\ = D \frac{V}{\sigma_1^2} e^{-\frac{V^2 + A^2}{2\sigma_1^2}} I_0\left(\frac{VA}{\sigma_1^2}\right) + (1-D) \frac{V}{\sigma_2^2} e^{-\frac{V^2}{2\sigma_2^2}}$$

Il parametro D non è altro che la probabilità di restare nello stato 1, mentre $1-D$ rappresenta la probabilità di rimanere nello stato 2, che sono espresse dalle frazioni di tempo per cui si verifica la condizione prevista dallo stato. E' anche possibile trovare un' espressione in forma a chiusa del rapporto fra potenza di segnale e potenza associata al multipath:

$$\frac{S}{M} = \frac{DA^2}{D2\sigma_1^2 + (1-D)2\sigma_2^2}$$

Come si vede dall' espressione precedente, lo stato NLOS contribuisce solo alla potenza di multipath, mentre lo stato LOS è il solo che fornisce un contributo alla potenza del segnale.

Si può esprimere la p_2 in funzione del fattore di Rice K definito come il rapporto fra la potenza della

componente diretta e la potenza della componente diffusa del segnale ricevuto $K = \frac{V^2}{2\sigma_2^2}$

Per una data velocità v (m/s) ed una bit rate R_b (bit/s) le probabilità di transizione possono essere relate alla durata del bit e forniscono la durata media di un periodo di stato (talvolta distinti fra sfavorevole e buono)

$$D_1(\text{bit}) = (1/P_{112}) = (R_b/v) D_1(\text{m})$$

$$D_2(\text{bit}) = (1/P_{211}) = (R/v) D_2(\text{m})$$

La frazione di tempo per cui si verifica lo stato 1 sarà

$$D = \frac{D_1}{D_1 + D_2}$$

CARATTERIZZAZIONE DOPPLER

Per le comunicazioni via satellite a mezzo di satelliti in orbita bassa (LEO) le unità mobili (terminali) o le stazioni a terra, osservano un significativo effetto DOPPLER che deve essere stimato e compensato per assicurare della comunicazioni affidabili. Si vuole caratterizzare lo spostamento Doppler osservato a terra affinché i terminali mobili, all'inizio della fase di visibilità del satellite siano in grado di predire la variazione Doppler nel tempo per il resto del periodo di visibilità.

Questa informazione è utile per migliorare le prestazioni dei circuiti ad aggancio di fase del terminale. Il terminale è anche in grado di stimare la durata della visibilità e il momento di massima elevazione.

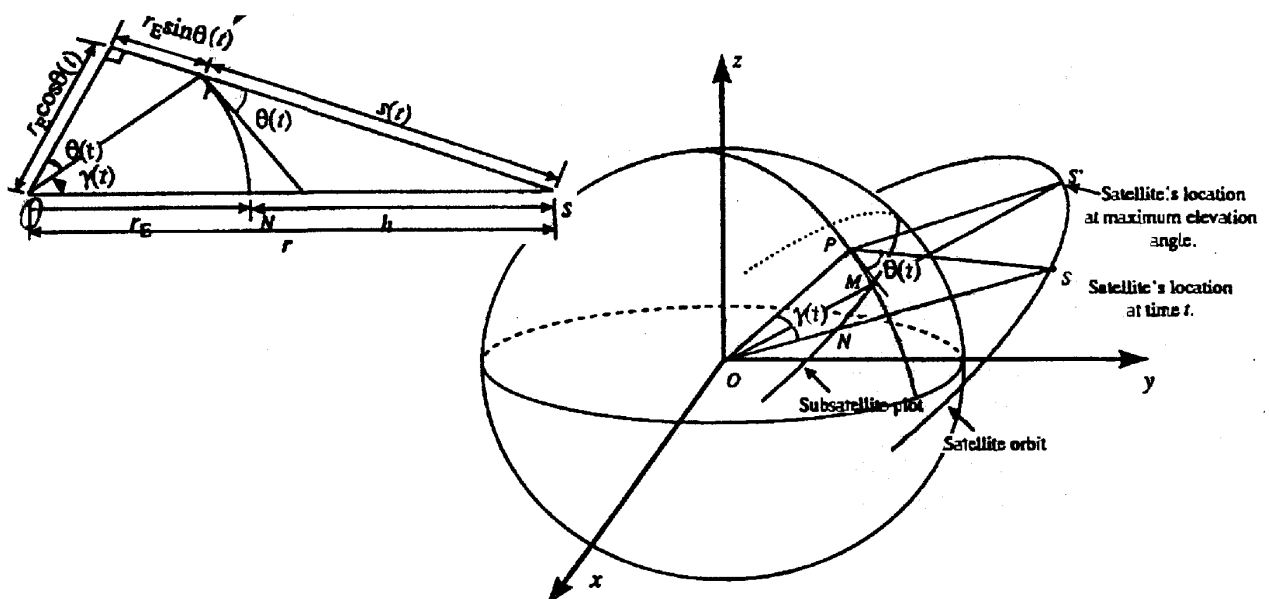
In questo modo si può programmare la trasmissione dei pacchetti di dati agli angoli di elevazione maggiori e quindi organizzare l'accesso multiplo.

Lo spostamento doppler è misurato dal rapporto v/c dove v è la velocità relativa satellite terminale, c è la velocità della luce.

Si definisce un istante di zero Doppler che è il tempo durante la finestra di visibilità al quale l'angolo di elevazione dal terminale al satellite è al suo valore massimo e il satellite è nella posizione più vicina al terminale.

La variazione dello spostamento Doppler con il tipico andamento ad S è indicato in figura e si riferisce a un terminale posizionato a una latitudine di 39° N e 77° W. Il satellite segue un'orbita circolare di altitudine 1000 km e inclinazione 53° .

Si assume che l'angolo minimo per la visibilità sia 10° . Il sistema di coordinate è un sistema di coordinate ECF (Earth Centered Fixed).



La finestra di visibilità è piccola comparata con il periodo dell'orbita. Per un'orbita circolare all'altitudine di 1000 km è minore di 14 minuti mentre il periodo dell'orbita è di 1.75 h. La velocità del satellite può essere considerata approssimativamente costante.

Si può ricavare un'equazione che fornisce lo spostamento Doppler per una assegnata posizione del terminale ed un angolo massimo di elevazione.

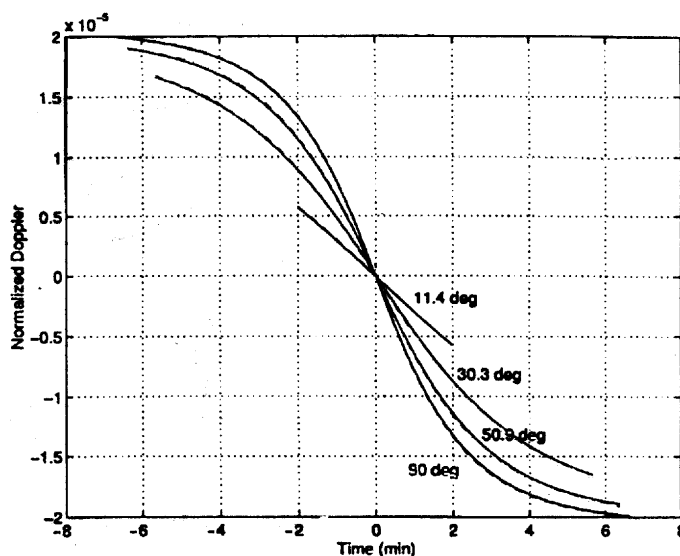
P indica la posizione del terminale che osserva un angolo di elevazione θ

Si rappresenta un segmento dell'orbita e della traccia a terra

$$s(t) = \sqrt{r_E^2 + r^2 - 2r_E r \cos \gamma(t)}$$

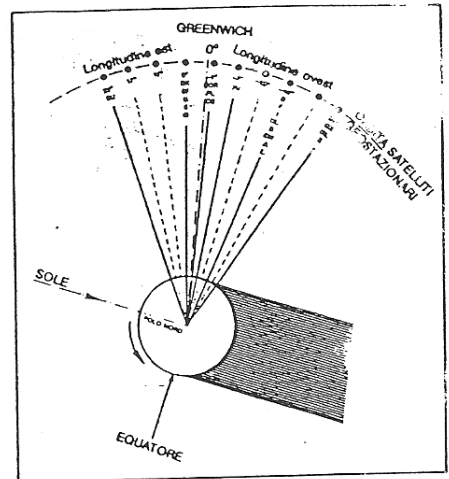
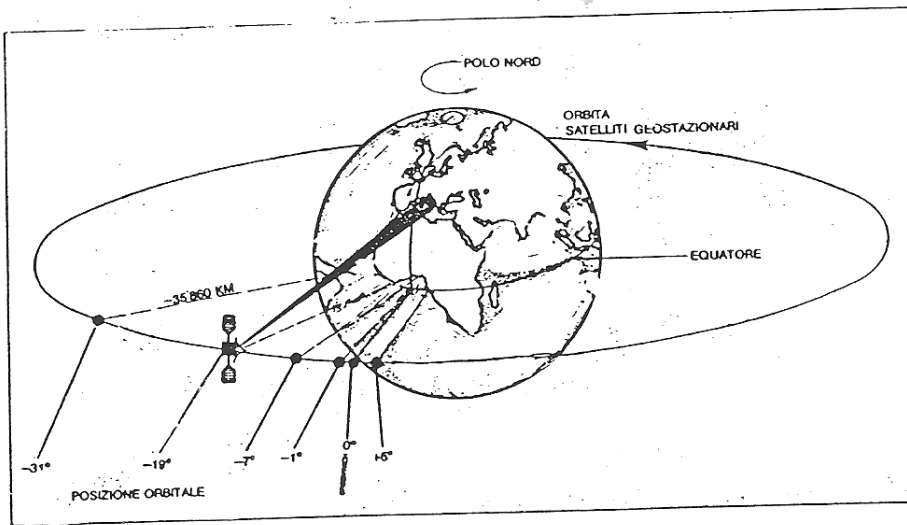
derivando l'espressione precedente e ricordando che lo spostamento Doppler normalizzato

$$\frac{\Delta f}{f} = -\frac{\dot{s}}{c} \quad \text{per cui} \quad \frac{\Delta f}{f} = f(\theta_{MAX}, \omega_F(t))$$



Doppler-time S-curve for maximum elevation angles 11.4°, 30.3°, 50.9°, and 90°.

Satelliti D B S (DIRECT BROADCASTING TELEVISION from SATELLITE)

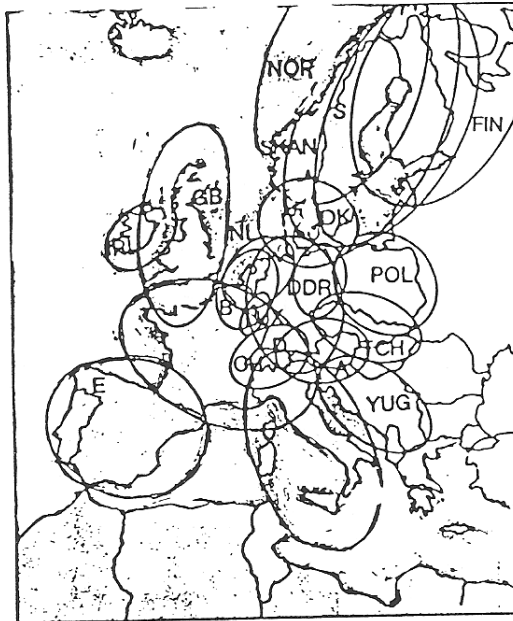


Visione "polare" dei satelliti geostazionari

Visione "spaziale" dei satelliti geostazionari.



AREA COPERTURA - 103 dBW/Mq



Sovrapposizione aree di servizio.

Nazione	Stgla	Orbita long.	Polar.	Canali	No
Germania (Occ.)	D	-19	2	2 6 10 14 18	C
Austria	AUT		2	4 8 12 16 20	
Svizzera	SUI		2	22 26 30 34 38	
Italia	I		2	24 28 32 36 40	
Francia	F	-1	1	1 5 9 13 17	C
Lussemburgo	LUX		1	33 7 11 15 19	
Belgio	BEL		1	21 25 29 33 37	
Olanda	HOL		1	23 27 31 35 39	
Polonia	POL	+5	2	1 5 9 13 17	C
Cecoslovacchia	TCH		2	3 7 11 15 19	
Germania (Or.)	DOT		2	21 25 29 33 37	
Ungheria	HNG		1	27 26 30 34 38	
Finlandia	FNL	-31	2	2 6 10 22 26	C
Svezia	S		2	4 8 34 30 40	
Norvegia	NOR		2	14 18 38 28 32	
Danimarca	DNK		2	24 28 32 36 40	
Gran Bretagna	G	-37	1	4 8 12 16 20	C
Irlanda	IRL		1	2 6 10 14 18	
Spagna	E		2	23 27 31 35 39	
San Marino	SMR		1	1 5 9 13 17	
Liechtenstein	LIE	-7	1	3 7 11 15 19	C
Monaco	MCO		1	21 25 29 33 37	
Città del Vaticano	CVA		1	23 27 31 35 39	
Jugoslavia	YUG		1	21 25 29 33 37	C

1 = Polarizzazione destrorsa

2 = Polarizzazione sinistrorsa

Canale	Freq. portante video (MHz)	Canale	Freq. portante video (MHz)
1	11727,28	21	12111,08
2	11748,66	22	12130,26
3	11765,84	23	12149,44
4	11785,02	24	12168,62
5	11804,20	25	12187,80
6	11823,38	26	12206,98
7	11842,56	27	12226,16
8	11861,74	28	12245,34
9	11880,92	29	12264,52
10	11900,10	30	12283,70
11	11919,28	31	12302,88
12	11938,46	32	12322,06
13	11957,64	33	12341,24
14	11976,82	34	12360,42
15	11996,00	35	12379,60
16	12015,18	36	12398,78
17	12034,36	37	12417,96
18	12053,54	38	12437,14
19	12072,72	39	12456,32
20	12091,90	40	12475,50

Passo canali 19,18 MHz
Larghezza banda canale 27 MHz

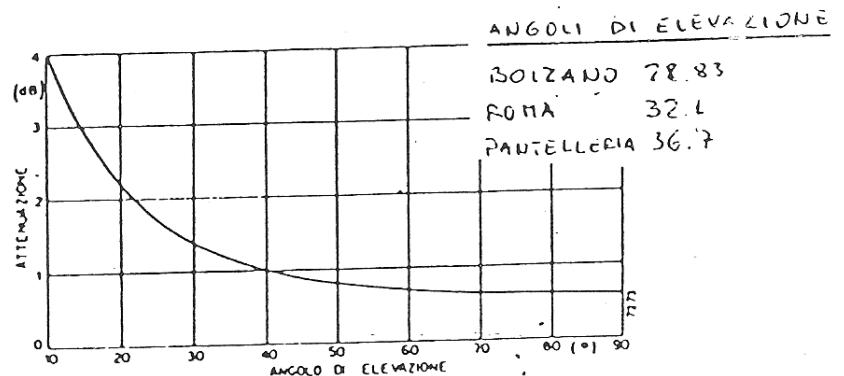


Fig. 1. Attenuazione supplementare non superata per il 99% del mese precisa per le zone del Centro e del Sud Europa in funzione dell'angolo di elevazione del satellite sull'orizzonte.

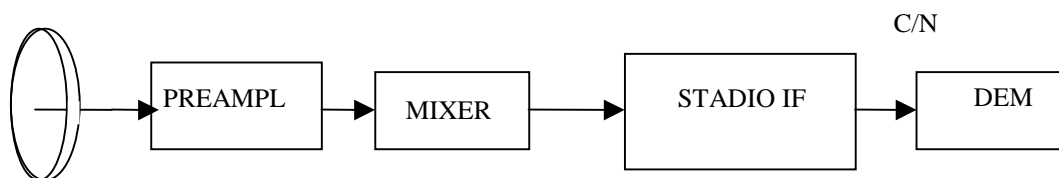
PROGETTO COLLEGAMENTO SATELLITARE DVB –S

Per la distribuzione broadcast di canali televisivi ad un centro residenziale si consideri il sistema digitale costituito da una rete di distribuzione locale e una tratta satellitare.

La tratta di discesa dal satellite fornisce a una testata satellitare il segnale costituito da un multiplex TDM di 10 canali televisivi trasmessi in digitale con compressione (standard DVB MPEG2 a 2Mbps). Il satellite che irradia il segnale è geostazionario (35800 km) e opera alla frequenza di 20.2GHz (Banda Ka) con una modulazione QPSK. L'EIRP dal satellite è di 40 dBW. La banda del trasponder del satellite è di 36MHz.

Sapendo che la qualità accettabile è 10^{-3} Calcolare il fattore di merito della stazione a terra (G/T)

e progettare l'apparato d'antenna e il ricevitore (testata satellitare) della stazione a terra del tipo indicato nello schema.



Calcolo della banda del ricevitore

Risulta $R_b = 20 \text{ Mb/s}$

$$R_b = R_s * \log_2 M \quad (M \text{ numero di simboli}=4)$$

$$R_s = B_{\text{NRF}} = 10 \text{ MHz}$$

B_{NRF} = Banda di Nyquist a radio frequenza

$$BW = B_{\text{NRF}} (1+\alpha) = 10 * 1.6 = 16 \text{ MHz} (72.04\text{dB})$$

Possiamo fissare alcune caratteristiche del ricevitore in base ai valori tipici dei parametri dei blocchi funzionali coinvolti.

MIXER perdita di conversione $L_M = 3\text{dB}$ (2), $F_M = 8\text{ dB}$ (6.3)

AMPLIF IF $F_{\text{IF}} = 13\text{dB}$ (20), $G_{\text{IF}} = 40\text{ dB}$ (10^4)

Il PREAMPLIFICATORE ha un guadagno $G_{\text{PRE}} = 20\text{dB}$ (100) e una cifra di rumore

FET $F = 2$ (300°K), Param $F = 1.24$ (70°K)

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{20.2 \cdot 10^9} = 0.01485 \text{ m}$$

$$F_R = F_{PRE} + \frac{F_M - 1}{G_{PRE}} + \frac{F_{IF} - 1}{G_{PRE} \frac{1}{L_M}} = 2 + \frac{(6.3 - 1)}{100} + \frac{(20 - 1)2}{100} = 2.433 \quad (3.86 \text{ dB})$$

$$T_{eR} = (F_R - 1)T_0 = 1.433 \cdot 290 = 415.57 \text{ (26,18 dBK)}$$

$$\text{con parametrico } F_R = 1.67 \quad T_{eR} = 0.67 \cdot 290 = 195 \text{ o } 22.90 \text{ dB (-3.27 dB)}$$

La probabilità di errore teorica per una QPSK è esprimibile in funzione di E_b/N_0

$$P_e = 2Q\left(\sqrt{2 \frac{E_b}{N_0}}\right)$$

$$P_e = 10^{-3} \quad Q(3.3) = 0.5 \cdot 10^{-3} \quad 3.3 = \sqrt{2 \frac{E_b}{N_0}} \quad \frac{E_b}{N_0} \cong 5.44$$

Bisogna calcolare la potenza minima in ingresso che possa garantire la qualità tenendo conto di eventuali interferenze per cui il peggioramento può assumere valori anche di 3dB nel caso di rapporto C/I = 10 dB

Si vuole $E_b/N_0 = 5.44 + 3 = 8.44 \text{ dB}$

Il rapporto C/N all'ingresso del demodulatore

(Rapporto fra la potenza della portante e il rumore nella banda del ricevitore)

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{dB}} = \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\text{dB}} + 10 \log R_b - 10 \log BW = 8.44 + 73 - 72 = 9.44 \text{ dB} \quad (8.79)$$

All'ingresso del ricevitore ho un'antenna che posso sopportare a temperatura $T_a = 30^\circ \text{K}$ per cui ho

$$N = k(T_a + T_{eR}) BW = k T_s BW$$

(si ricorda che $(F_R - 1)T_0 = 1.433 \cdot 290 = 415.57 \text{ (26.18 dBK)}$)

$$T_s = 415.57 + 30 = 445.57^\circ \text{K} \text{ (26.48 dB}^\circ \text{K)}$$

Con parametrico $195 + 30 = 225^\circ \text{K} \text{ (23,52 dBK cioè } -2.95)$

$$kT_s = 1.38 \cdot 10^{-23} (415.57 + 30) = 614.88 \cdot 10^{-23} \text{ W/Hz (} -202.1 \text{ dB(W/Hz))}$$

con il parametrico -205

$$N = 6.149 \cdot 10^{-21} \cdot 1.6 \cdot 10^7 = 9.83 \cdot 10^{-14} \text{ W (-130.07 dBW)}$$

Lavorando in decibel $N(\text{dBW}) = -202.1 + 72 = -130,1 \text{ dBW}$

$$C_{\min} = \left(\frac{C}{N}\right)_{\text{IF}} N$$

B banda del ricevitore e C Potenza della portante

$$C_{\min} = 8.79 \cdot 9.83 \cdot 10^{-14} = 86.40 \cdot 10^{-14} \text{ W (-120.63 dBW)}$$

$$\text{o anche } C_{\min}(\text{dBW}) = 9.44 - 130.07 = -120.63 \text{ dBW (-123.58 dBW param)}$$

TRATTA SATELLITARE

L'equazione del collegamento di discesa (down link budget) è

$$\frac{C}{N} = \frac{P_T G_T G_R}{L_g L_s k T_s BW} = \frac{EIRP}{L_g L_s k BW} \frac{G_R}{T_s}$$

usando l'espressione logaritmica

$$\frac{C}{N} = EIRP + \frac{G}{T_s} - k - BW - L_T$$

C/N è il rapporto della potenza della portante ricevuta con la potenza di rumore all'ingresso del demodulatore

EIRP il prodotto potenza-guadagno del sistema trasmittente

k la costante di Boltzmann

L_T la perdita totale comprensiva dei prevedibili contributi di attenuazione supplementare(3 dB o altri valori prevedibili statisticamente).

L'EIRP sia 40 dBW

La perdita del percorso di trasmissione a 20.2 GHz($\lambda = 0.01485$ m) (D=35800km, $L_s=3$ dB) è

$$L_T = [20 \log (4 \pi D/\lambda)] + L_s = [20 \log ((4 \pi 35.8 \cdot 10^6)/(1.485 \cdot 10^{-2}))] + 3 = [20 \log 302.946 \cdot 10^8] + 3 = 160 + 49.627 + 3 = 209.627 + 3 \text{ dB}$$

$$k = -228.6 \text{ dBW/Hz}^\circ\text{K} (1.38 \cdot 10^{-23})$$

$$(G_R/T_s)_{\text{dB}} = 9.44 - 40 - 228.6 + 72.04 + 209.6 + 3 = 25.48 \text{ dBK}^{-1}$$

$$T_s = 415.57 + 30 = 445.57^\circ\text{K} \quad T_{s_{\text{dB}}} = 10 \log T_s = 26.489 \text{ dBK}$$

Con parametrico $195 + 30 = 225^\circ\text{K}$ (23.52 dBK cioè -2.95)

$$G_{R_{\text{dB}}} = 25.48 + 26.489 = 51.969 \text{ dB} (15.73 \cdot 10^4)$$

Con parametrico $25.48 + 23.52 = 49 \text{ dB} (7.94 \cdot 10^4)$

$$G = A_{\text{eff}} \frac{4\pi}{\lambda^2} = A_{\text{eff}} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G = \frac{(0.01485)^2}{4\pi} 15.73 \cdot 10^4 = \frac{2.205 \cdot 10^{-4}}{4\pi} 15.73 \cdot 10^4 = 2.76 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{eff}} = 0.65 A_g \quad A_g = 4.24 \text{ m}^2$$

$$A_g = \pi r^2 \quad r = 1.16 \text{ m}$$

$$\text{con parametrico } G = \frac{(0.01485)^2}{4\pi} 7.94 \cdot 10^4 = \frac{2.205 \cdot 10^{-4}}{4\pi} 7.94 \cdot 10^4 = 1.39 \text{ m}^2$$

$$A_g = 2.14 \text{ m}^2 \quad A_g = \pi r^2 \quad r = 0.82 \text{ m}$$

Si progetti un collegamento satellitare LEO (780 km) alla frequenza di 1,6 GHz da effettuare mediante un telefono satellitare mobile le cui caratteristiche sono

Potenza di trasmissione 400 mW. Guadagno dell'antenna 5 dB

La banda del canale di uplink sia di 40 kHz

Il satellite presenta una cifra di merito tipica di -5.3 dBK^{-1} e trasmette a terra una potenza massima di 10W con un guadagno d'antenna di 20 dB

Si tratta di calcolare il fattore di merito a terra (G/T) e progettare il ricevitore mobile della stazione a terra in modo che il rapporto C/N all'ingresso del demodulatore sia di 15 dB, tale da garantire una P_e di 10^{-7}

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{1.6 \cdot 10^9} = 1.8710^{-1} \text{ m}$$

TRATTA SATELLITARE UPLINK

L'equazione del collegamento di salita è (usando l'espressione logaritmica)

$$\frac{C}{N_o} = EIRP + \frac{G}{T} - k - L_T$$

C/N_o è il rapporto della potenza della portante ricevuta con la densità di rumore all'ingresso del transponder satellitare

EIRP il prodotto potenza-guadagno del sistema trasmittente

k la costante di Boltzmann

L_T la perdita totale teorica (senza i prevedibili contributi di attenuazione supplementare)

$P_T = 26 \text{ dBm}$ (-4 dBW) per cui l'EIRP sarà 31 dBmW o 1 dBW

La perdita del percorso di trasmissione a 1.6 GHz ($\lambda = 18.7 \text{ cm}$)

($D = 780 \text{ km}$) è

$$L_T = [20 \log (4 \pi D / \lambda)] + L_s = [20 \log ((4 \pi 780 \cdot 10^3) / (0.187))] + 3 = [20 \log 5241.58 \cdot 10^4] + 3 = 80 + 74.39 = 154.39 \text{ dB}$$

$$k = -228.6 \text{ dBW/Hz}^\circ\text{K} (1.38 \cdot 10^{-23})$$

$$\frac{C}{N_o} = 1 + (-5.3) - (-228.6) - 154.39 = 69.9 \text{ dB}$$

Il valore di C/N_o da richiedere a terra non dovrà essere superiore a questo e essendo la banda del canale di 40 kHz (46dB) volendo un C/N di 15 dB il valore risultante da richiedere potrebbe essere di 67 dB compreso un margine di 6dB per tener conto degli affievolimenti

$$\left(\frac{C}{N_o}\right) = \frac{(C/N_o)_u (C/N_o)_d}{(C/N_o)_u + (C/N_o)_d} \Rightarrow$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_d = \frac{(C/N_o)_u (C/N_o)}{(C/N_o)_u - (C/N_o)} = \frac{10 \cdot 10^6 * 5 \cdot 10^6}{(10 - 5)10^6} = 10 \cdot 10^6 (70 \text{ dB})$$

da cui (C/N_o) di downlink per progettare la tratta di discesa sarà praticamente uguale a quella di uplink la cui valutazione risulta determinante

Nella tratta di downlink bisogna prevedere un valore di attenuazione supplementare pari a 10 dB

TRATTA SATELLITARE DOWNLINK

$$\frac{G}{T} = \frac{C}{N_o} - EIRP + k + L_T + L_s$$

$$\frac{G}{T} = 70 - 30 - 228.6 + 154.3 + 10 = -24.3 \text{ dBK}^{-1}$$

$$T_{dB} = G_{dB} - \left(\frac{G}{T}\right)_{dB} = 5 + 24.3 = 29.3 \text{ dBK}$$