

*Corso di “Introduzione alle Comunicazioni Mobili”*

# **COMUNICAZIONI SATELLITARI**

*Fabrizio Granelli*

*granelli@disi.unitn.it*

# CONTENUTI

1. *Componenti di un sistema di trasmissione satellitare;*
2. *Orbite utilizzate per sistemi di telecomunicazione satellitare;*
3. *Analisi del link budget di un canale satellitare;*
4. *Derive di propagazione del segnale in un canale satellitare;*
5. *Tecniche di trasmissione-dati sui canali satellitari.*

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] G. Maral, M. Bousquet, “*Satellite Communications Systems*”, III Edition, Wiley, 1998.
- [2] J. V. Evans, “Satellite Systems for Personal Communications”, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 86, No. 7, Luglio 1998, pp. 1325-1341.
- [3] J. Goldhirsh, B.H. Musiani, e W.J. Vogel, “Cumulative Fade Distributions and Frequency Scaling Techniques at 20 GHz from the Advanced Communications Technology Satellite and at 12 GHz from the Digital Satellite System”, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 85, No. 6, Giugno 1997, pp. 910-916.
- [4] C.E. Mayer, B.E. Jaeger, R.C. Crane e X. Wang, “Ka-band Scintillations: Measurement and Model Predictions”, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 85, No. 6, Giugno 1997, pp. 936-945.

# 0. TRASMISSIONI SATELLITARI: CENNI STORICI

## • Alcune date rilevanti nello sviluppo delle comunicazioni satellitari

- **1687:** Isacc Newton dimostrò grazie ai suoi studi sulla gravitazione universale la possibilità di mantenere un satellite artificiale in orbita attorno alla terra.
- **1945:** A.C. Clarke descrive in un famoso articolo apparso sulla rivista “Wireless World” l’uso di ripetitori in orbita geostazionaria come soluzione per estendere la copertura dei sistemi di trasmissione terrestre;
- **1963:** lancio del primo satellite geostazionario (SYMCOM2);
- **1964:** trasmissione via satellite delle Olimpiadi di Tokio;
- **1969:** lancio di INTELSAT III, primo satellite geostazionario a copertura globale;
- **1976:** lancio di MARISAT, primo satellite dedicato alle comunicazioni mobili;

# 0. TRASMISSIONI SATELLITARI: CENNI STORICI

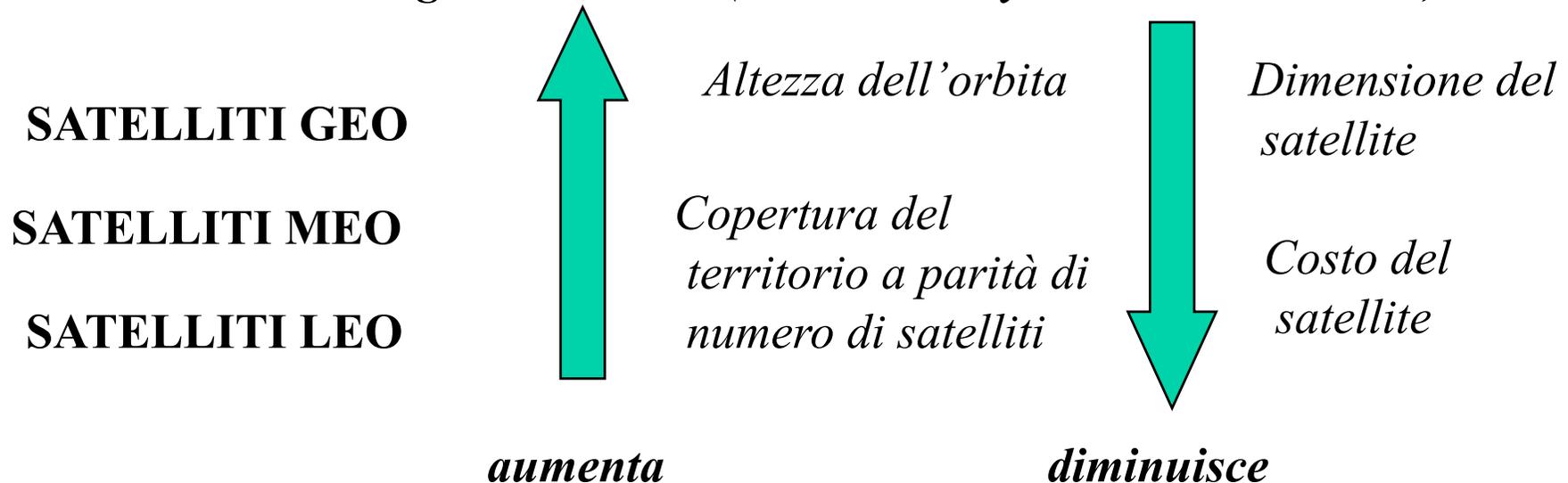
(segue da slide precedente)

- 1979**: nasce il consorzio INMARSAT con l'obiettivo di utilizzare le tecniche più avanzate di trasmissione digitale per servizi rivolti ad utenza civile;
- FINE '80 - PRIMI '90**: sviluppo a livello commerciale di sistemi di trasmissione digitale satellitare per applicazioni di TV broadcasting e radiolocalizzazione (GPS);
- 1991**: lancio di ITALSAT, primo satellite italiano per telecomunicazioni;
- 1998**: sistemi di telefonia satellitare a bassa orbita Iridium e Globalstar;
- 2002-2003**: entrata in servizio prime reti satellitari per la fornitura di Internet;
- 2003 (?)**: lancio satellite DAVID (servizi multimediali a banda larga).
- 2005 (?)**: lancio costellazione GALILEO per servizi di radiolocalizzazione in ambito europeo (GNSS).

# 1. COMPONENTI DI UN SISTEMA DI TRASMISSIONE SATELLITARE

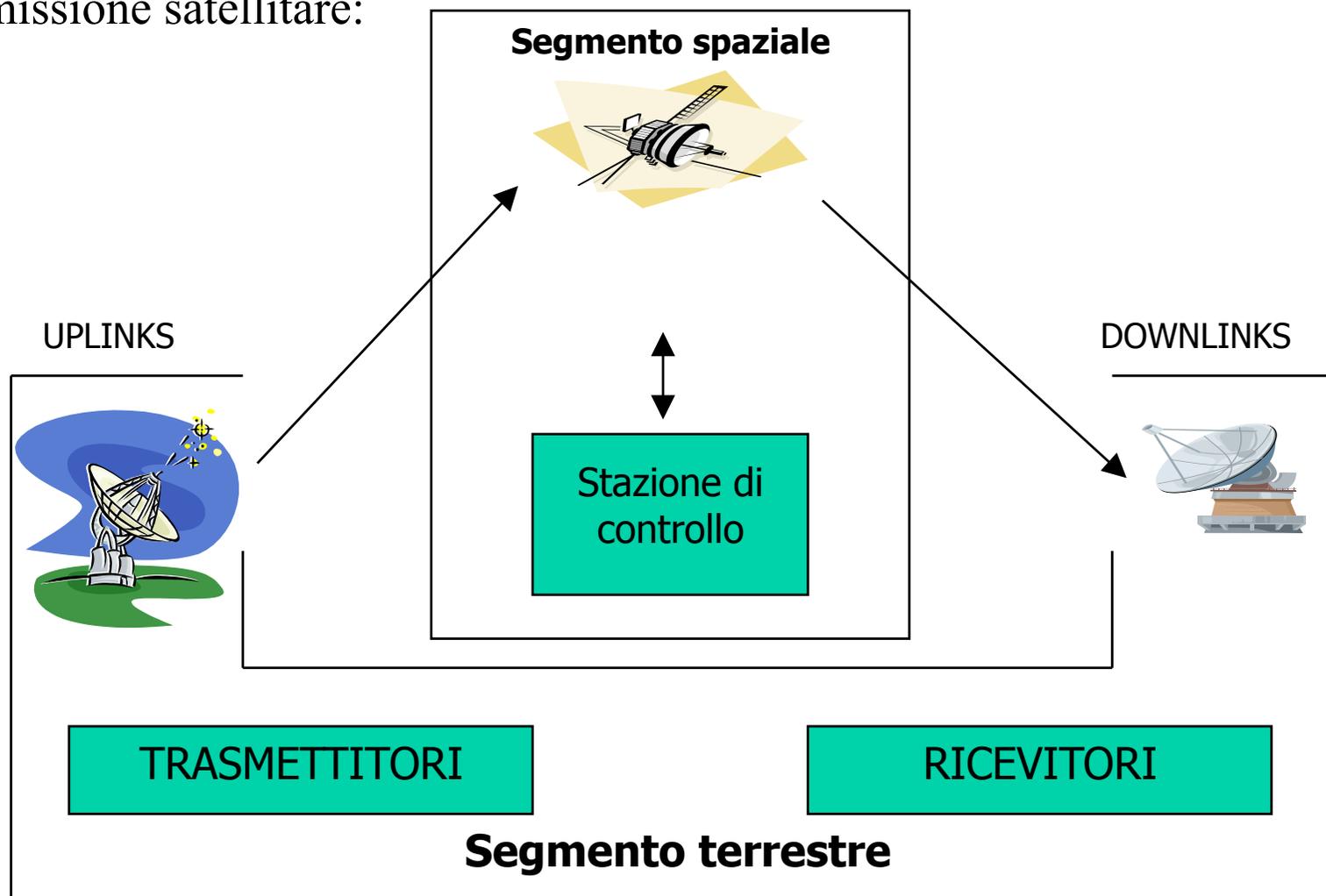
I principali tipi di satelliti usati per la trasmissione-dati nell'ambito delle comunicazioni satellitari sono i seguenti:

- *Satelliti a bassa orbita (Low-Earth-Orbit - LEO);*
- *Satelliti ad orbita intermedia (Medium-Earth-Orbit - MEO);*
- *Satelliti ad orbita geostazionaria (Geostationary-Earth-Orbit - GEO).*



# 1. COMPONENTI DI UN SISTEMA DI TRASMISSIONE SATELLITARE

- Nella figura sottostante sono evidenziati i componenti di un sistema di trasmissione satellitare:



# 1. COMPONENTI DI UN SISTEMA DI TRASMISSIONE SATELLITARE

## 1.1 Il segmento spaziale

- Il segmento spaziale (*space segment*) contiene il **satellite in orbita** e la **stazione di controllo a terra** (*control station*);
- La stazione di controllo effettua tutte le operazioni di **tracking, telemetria e guida** del satellite (*TT&C = Tracking Telemetry and Command*);
- La direzione di trasmissione tra una stazione di terra ed il satellite è detta **uplink**. La direzione opposta (da satellite a stazione di terra) è detta **downlink**;
- Il satellite è il punto di passaggio obbligato per un gruppo di link simultanei. In questo senso, esso può essere considerato come il **punto centrale della rete**;
- Diversi tipi di protocolli di **accesso multiplo** sono impiegati per gestire la trasmissione di più segnali da e verso il satellite, a seconda che il satellite sia **mono-fascio** o **multi-fascio**.

# 1. COMPONENTI DI UN SISTEMA DI TRASMISSIONE SATELLITARE

## 1.2 Struttura del satellite

- Il satellite è costituito da un **carico utile** (*payload*) e da una **piattaforma** (*platform*).
- Il **carico utile** consiste nelle **antenne trasmettenti e riceventi** ed in tutti i **dispositivi hardware** deputati a supportare **la trasmissione delle portanti**;
- La piattaforma consiste in tutti i sotto-sistemi che permettono al carico utile di funzionare. Questi includono:
  - *Struttura fisica del satellite;*
  - *Alimentazione elettrica;*
  - *Controllo di temperatura;*
  - *Controllo dell'orbita;*
  - *Equipaggiamento propulsivo;*
  - *Equipaggiamento di tracking, di guida e di telemetria (TT&C).*

# 1. COMPONENTI DI UN SISTEMA DI TRASMISSIONE SATELLITARE

## 1.3 Funzioni basilari del satellite

➡ Le **funzionalità di base** a cui un satellite deve adempiere sono sostanzialmente le seguenti:

⇨ Amplificare le portanti ricevute dalla direzione di uplink per la **ritrasmissione nella direzione di downlink**. La potenza delle portanti all'ingresso del ricevitore del satellite è generalmente compresa tra 100 pW e 1 nW. La potenza di portante all'uscita dell'amplificatore del trasmettitore è compresa tra 10W a 100 W. Il **guadagno di potenza** è dell'ordine di **100-130 dB**.

⇨ Cambiare la frequenza della portante in modo tale da impedire la **re-iniezione di una frazione della potenza trasmessa nel ricevitore**. Quindi devono essere impiegati in ingresso al trasmettitore di downlink filtri con **elevata capacità di reiezione**.

# 1. COMPONENTI DI UN SISTEMA DI TRASMISSIONE SATELLITARE

## 1.4 Satelliti trasparenti e satelliti rigenerativi

- Nell'adempimento delle sue funzioni-base il satellite può funzionare come un **semplice ripetitore**. Il cambio di frequenza viene fatto mediante un semplice convertitore di frequenza. In questo caso si parla di **satelliti trasparenti**;
- I satelliti di **nuova generazione** (ACTS, ITALSAT) sono equipaggiati a bordo con modulatori e demodulatori. Per cui il segnale ricevuto viene **riportato in banda-base** a bordo del satellite;
- Il segnale in banda-base così ottenuto viene poi **opportunamente elaborato** a bordo, mediante **tecniche di elaborazione e filtraggio** a diversa complessità e quindi **ri-modulato alla frequenza di downlink**. I satelliti appartenenti a questa seconda categoria sono detti **rigenerativi**.

# 1. COMPONENTI DI UN SISTEMA DI TRASMISSIONE SATELLITARE

## 1.5 Parametri di affidabilità di un collegamento satellitare

- In generale, per garantire la qualità del servizio, le reti satellitari usano **più satelliti**, per assicurare una certa ridondanza;
- Un satellite può infatti smettere di funzionare per un guasto, oppure perché ha esaurito il suo **ciclo vitale** (non si prevede che i satelliti possano stare in orbita per un numero indefinito di anni);
- A tal proposito si distinguono due parametri fondamentali riguardo il funzionamento di un sistema satellitare:
  - **Affidabilità:** che è la misura della probabilità di guasto del satellite, dipendente dalla qualità dell'equipaggiamento tecnico di bordo;
  - **Ciclo vitale:** è la misura temporale della capacità di mantenere il satellite in orbita e dipende essenzialmente dai sistemi di propulsione.

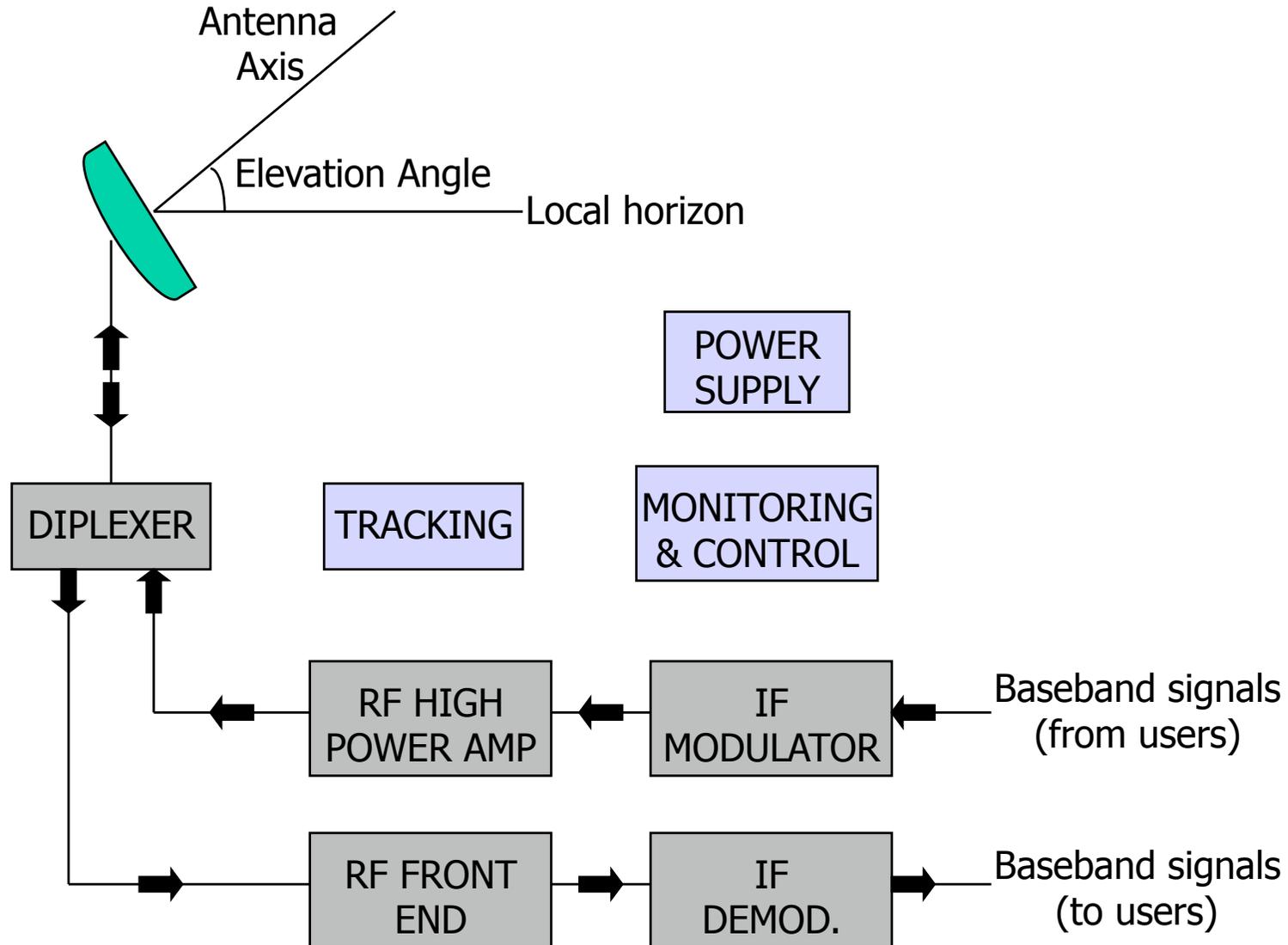
# 1. COMPONENTI DI UN SISTEMA DI TRASMISSIONE SATELLITARE

## 1.6 Il segmento di terra

- Il segmento di terra è costituito da tutte le **stazioni di terra** (*earth-stations*), generalmente connesse ai terminali degli utenti finali (fissi o mobili) tramite **reti terrestri esistenti**, sia wireless che cablate (ad es. rete GSM, rete POTS, ecc.);
- Nei casi di sistemi VSAT (*Very Small Aperture Terminal*), le stazioni di terra, generalmente di piccole dimensioni ed adatte a supportare un traffico moderato, sono **direttamente connesse** ai terminali-utente;
- Le stazioni di dimensioni maggiori sono equipaggiate con antenne di diametro **fino a 30 metri**, le stazioni più piccole usano invece antenne di **0.6 metri** di diametro;
- Alcune stazioni di terra possono **trasmettere e ricevere** (ad esempio in reti di **telefonia satellitare**), altre stazioni **possono solo ricevere** (ad esempio in reti di distribuzione del **segnale televisivo in broadcast**).

# COMPONENTI DI UN SISTEMA DI TRASMISSIONE SATELLITARE

## 1.6.1 Schema base di una stazione di terra



## 2. ORBITE UTILIZZATE PER SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE SATELLITARE

### 2.1 Definizione e scelta dell'orbita

- L'orbita è la **traiettoria piana** seguita dal satellite nel suo moto di rivoluzione intorno alla Terra;
- La scelta del tipo di orbita dipende da vari fattori:
  - *estensione e latitudine dell'area di copertura;*
  - *altezza del satellite* (orbite di tipo diverso per LEO, MEO e GEO);
  - *ritardo di propagazione;*
  - *interferenza accettabile;*
  - *prestazioni dei vettori di lancio* (la massa che può essere lanciata generalmente diminuisce con l'altezza).

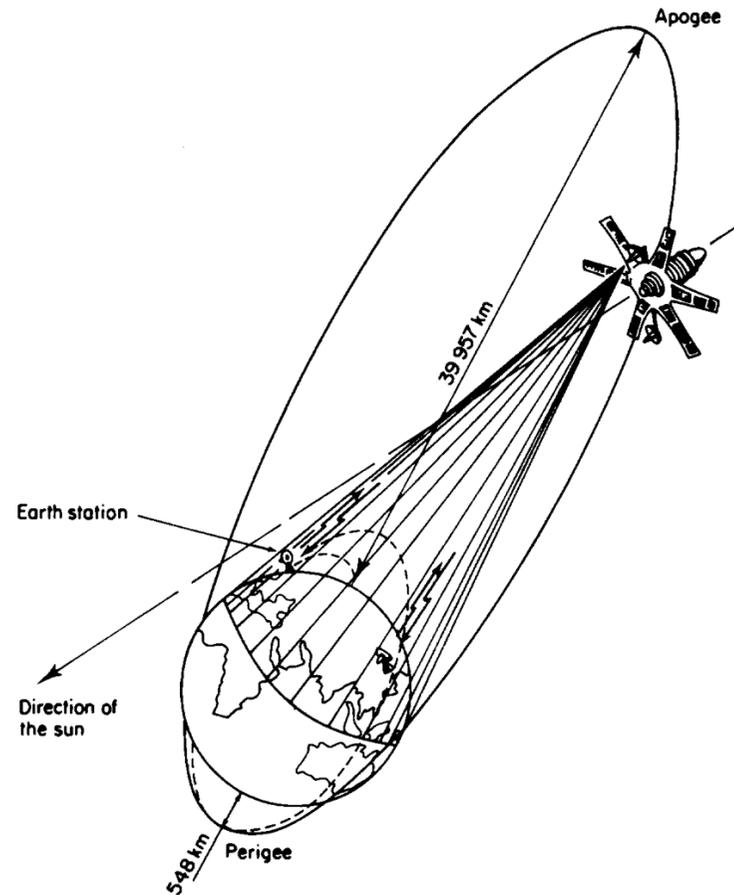
## 2. ORBITE UTILIZZATE PER SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE SATELLITARE

### 2.2 Orbite ellittiche ad elevata inclinazione (HEO)

- **Orbite ellittiche**, inclinate di un **angolo di 64°** rispetto al piano equatoriale sono particolarmente stabili rispetto alle irregolarità del campo gravitazionale terrestre ed, a causa della loro inclinazione possono coprire efficacemente **regioni ad elevata latitudine** per una consistente frazione del periodo orbitale;
- Generalmente il satellite sovrasta le aree circostanti l'apogeo (vedi figura slide successiva) **per circa 8 ore**, per cui la copertura continua potrebbe essere assicurata da **tre satelliti**, operanti su tre differenti orbite;
- Orbite ellittiche ad elevata inclinazione consentono di **ridurre considerevolmente** gli effetti di **multipath fading** dovuti alla riflessione del segnale su ostacoli a terra, effetti particolarmente pronunciati in orbite a bassa inclinazione ( $< 30^\circ$ );
- L'ESA sta studiando questo tipo di orbite per sistemi satellitari di trasmissione radiomobile e broadcast TV digitale (programma **Archimede**).

## 2. ORBITE UTILIZZATE PER SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE SATELLITARE

### 2.2.1 Orbite ellittiche ad elevata inclinazione (rappr. grafica)



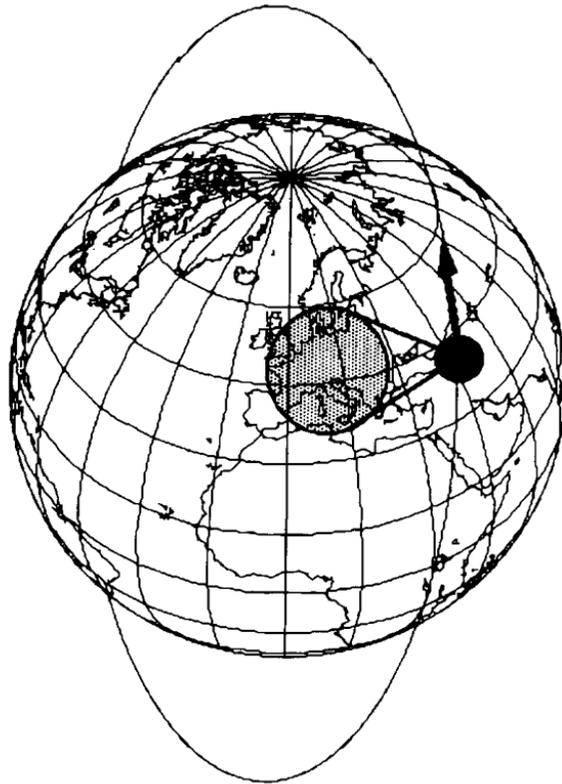
## 2. ORBITE UTILIZZATE PER SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE SATELLITARE

### 2.3 Orbite circolari a bassa altitudine (LEO)

- L'altitudine del satellite è **costante** ed uguale ad **alcune centinaia di Km**. Il periodo orbitale è dell'ordine di **1.5 ore**;
- L'**inclinazione di circa 90°** rispetto al piano equatoriale garantisce che il satellite passerà sopra **ogni regione** del globo terrestre, come mostrato nella figura della slide successiva;
- Una costellazione di **alcune decine** di satelliti in bassa orbita (di circa 1000 Km) è in grado di offrire servizi di telecomunicazione digitale in **tempo reale** con **copertura globale** (es. sistemi IRIDIUM, GLOBALSTAR, ELLIPSO, ECCO).

## 2. ORBITE UTILIZZATE PER SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE SATELLITARE

### 2.3.1 Orbite circolari a bassa altitudine (LEO) (rappr. grafica)



Circular polar low earth orbit (LEO).

## **2. ORBITE UTILIZZATE PER SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE SATELLITARE**

### **2.4 Orbite circolari a media altitudine (MEO)**

- Sono dette anche orbite circolari intermedie. Hanno un'altezza di **circa 10.000 Km** ed un'**inclinazione di circa 50°** rispetto al piano equatoriale;
- Il periodo orbitale è di circa **6 ore**;
- Utilizzando costellazioni composte da **10-15 satelliti** è possibile garantire la copertura globale della sfera terrestre;
- Un esempio è costituito dal **sistema ICO**, che garantisce la copertura globale grazie ad una costellazione di **10 satelliti** con inclinazione dell'orbita pari a 45°.

## 2. ORBITE UTILIZZATE PER SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE SATELLITARE

### 2.5 Orbite equatoriali geostazionarie (GEO)

- Sono orbite circolari con **inclinazione nulla** rispetto al piano equatoriale (orbite equatoriali);
- La più popolare di queste orbite è quella **geostazionaria**, posta ad un'altezza di **35.786 Km**. Il moto di rivoluzione del satellite avviene con periodo uguale al periodo di rotazione della terra e nella stessa direzione di quest'ultimo;
- In tal modo il satellite appare **come un punto fisso nel cielo** ed assicura un servizio continuo nell'area di visibilità del satellite (circa il 43% della superficie terrestre).

## 3. ANALISI DEL LINK BUDGET DI UN CANALE SATELLITARE

### 3.1 Obiettivi dell'analisi

- Questa parte riguarda l'analisi della trasmissione **via satellite** tra due stazioni di terra: la **stazione trasmittente** e la **stazione ricevente**;
- In questo contesto viene analizzata la trasmissione nelle due direzioni caratteristiche: dalla stazione trasmittente al satellite (*uplink*) e dal satellite alla stazione ricevente (*downlink*);
- Scopo dell'analisi è determinare il rapporto **segnale/rumore** in ingresso del ricevitore (*carrier-to-noise ratio*, C/I);
- Il termine “portante” (*carrier*) si riferisce **all'energia della portante**, modulata dal segnale in banda base recante informazione;
- Per semplicità verrà considerato in dettaglio il caso “a singolo accesso”, cioè costituito da una sola stazione trasmittente e da una sola ricevente.

### 3. ANALISI DEL LINK BUDGET DI UN CANALE SATELLITARE

#### 3.2 Potenza ricevuta (caso ideale)

- Un'antenna ricevente con area di apertura efficace  $A_{eff}$  situata a distanza  $R$  dall'antenna trasmittente con guadagno  $G_T$ , riceve una potenza uguale a:


$$P_R = \Phi A_{eff} = \left( P_T G_T / \pi R^2 \right) A_{eff} \quad (i)$$

- **L'area efficace** dell'antenna ricevente è espressa in funzione del suo guadagno, ovvero:


$$A_{eff} = G_R / \left( 4\pi / \lambda^2 \right) \quad (ii)$$

- Per cui, **l'espressione della potenza ricevuta** è la seguente:


$$P_R = \left( P_T G_T / \pi R^2 \right) \left( \lambda^2 / 4\pi \right) G_R = \left( P_T G_T \right) \left( \lambda / 4\pi R \right)^2 G_R = P_T G_T \frac{G_R}{L_{FS}} \quad (iii)$$

$$L_{FS} \hat{=} \left( 4\pi R / \lambda \right)^2 \quad \text{Attenuazione disponibile nello spazio libero}$$

### 3. ANALISI DEL LINK BUDGET DI UN CANALE SATELLITARE

#### 3.2.1 Attenuazione disponibile nello spazio libero in sistemi satellitari geostazionari

- Per ogni stazione trasmittente, la cui posizione è rappresentata dalla latitudine e longitudine  $l$  e  $L$  rispetto ad un **satellite geostazionario**, il valore dell'attenuazione disponibile nello spazio libero è il seguente:

$$\longrightarrow L_{FS} \hat{=} (4\pi R/\lambda)^2 = (4\pi R_0/\lambda)^2 (R/R_0)^2 = L_{FS}(R_0) \{1 + 0.42(1 - \cos l \cos L)\} \quad (iv)$$

- Ove  $R_0 = 35.786$  Km è l'altezza dell'orbita del satellite geostazionario. Il valore del fattore tra parentesi graffa varia tra 1 e 1.356 (0 e 1.3dB).

### 3. ANALISI DEL LINK BUDGET DI UN CANALE SATELLITARE

#### 3.2.2 Il caso pratico

➡ L'espressione della potenza ricevuta contenuta in (iii) riguarda il caso ideale. Nella pratica è necessario considerare **altri fattori di attenuazione** dovuti a svariate cause. I principali sono:

- ⇨ *attenuazione supplementare dovuta a fenomeni atmosferici (ad esempio pioggia);*
- ⇨ *attenuazioni indotte dai dispositivi di trasmissione e ricezione;*
- ⇨ *attenuazioni dovute a derive di puntamento;*
- ⇨ *attenuazioni dovute a de-polarizzazione.*

### 3. ANALISI DEL LINK BUDGET DI UN CANALE SATELLITARE

#### 3.2.3 Attenuazione supplementare dovuta a fenomeni atmosferici

- E' provocata dalla presenza di **componenti gassose nella troposfera e di acqua** (sotto forma di pioggia, neve o ghiaccio);
- In pratica essa si concreta in un termine moltiplicativo di attenuazione  $L_A$ , che moltiplica l'attenuazione disponibile nello spazio libero  $L_{FS}$ . Quindi avremo che:

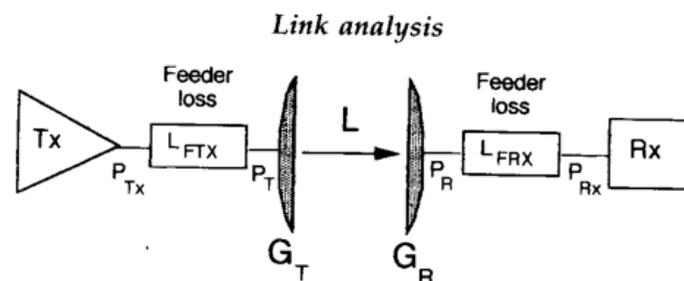
$$\longrightarrow L = L_{FS}L_A \quad (v)$$

### 3. ANALISI DEL LINK BUDGET DI UN CANALE SATELLITARE

#### 3.2.4 Attenuazioni indotte dai dispositivi di trasmissione e ricezione

- La perdita di potenza (*feeder loss*) tra il trasmettitore e l'antenna trasmittente  $L_{FTX}$  è tale per cui se si desidera trasmettere ad una potenza  $P_T$  è necessario fornire all'uscita dell'amplificatore di trasmiss

→  $P_{TX} = P_T L_{FTX} \quad (vi)$



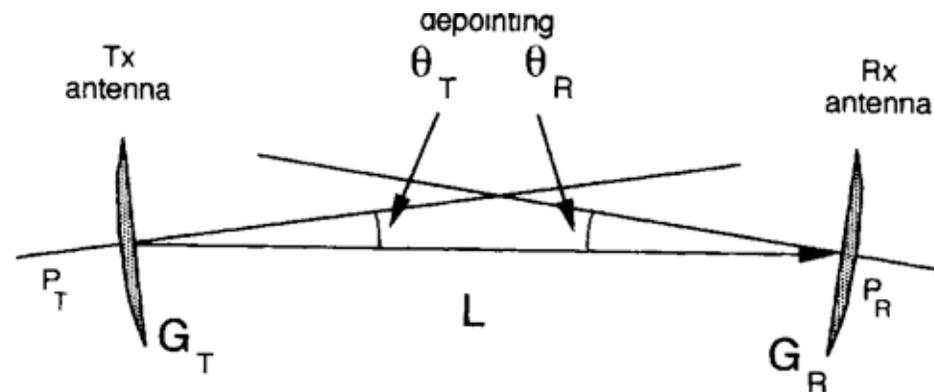
- La perdita di potenza (*feeder loss*) tra l'antenna ed il ricevitore  $L_{FRX}$  è tale per cui la potenza del segnale  $P_{RX}$  all'ingresso del ricevitore è uguale a:

→  $P_{RX} = P_R / L_{FRX} \quad (vii)$

### 3. ANALISI DEL LINK BUDGET DI UN CANALE SATELLITARE

#### 3.2.5 Attenuazione dovuta a derive di puntamento (1)

- Nella figura sottostante è mostrata la geometria del link nel caso in cui vi sia imperfetto allineamento tra l'antenna trasmittente e l'antenna ricevente.



Geometry of the link.

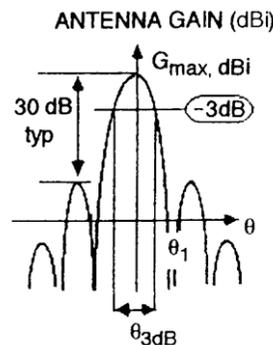
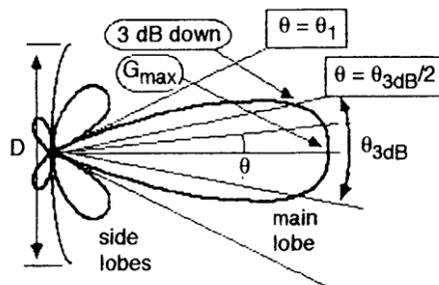
- Il risultato è una diminuzione del guadagno di antenna rispetto ai valori massimi del guadagno in trasmissione  $G_T$  ed in ricezione  $G_R$ . Questa diminuzione è detta *depointing loss* ed è funzione degli **angoli di disallineamento** rispetto alla direzione ideale dell'antenna trasmittente  $\theta_T$  e dell'antenna ricevente  $\theta_R$ .

### 3. ANALISI DEL LINK BUDGET DI UN CANALE SATELLITARE

#### 3.2.5.1 Attenuazione dovuta a derive di puntamento (2)

- Poiché il valore del guadagno d'antenna in funzione dell'angolo di puntamento  $\theta$  è dato dalla seguente espressione:

$$G(\theta)_{dB} = G_{max,dB} - 12\left(\theta/\theta_{3dB}\right)^2 \quad (viii)$$



Angolo tra le due direzioni nelle quali il guadagno di antenna si dimezza rispetto al max.

- Il valore in dB del depointing loss è dato pertanto da:

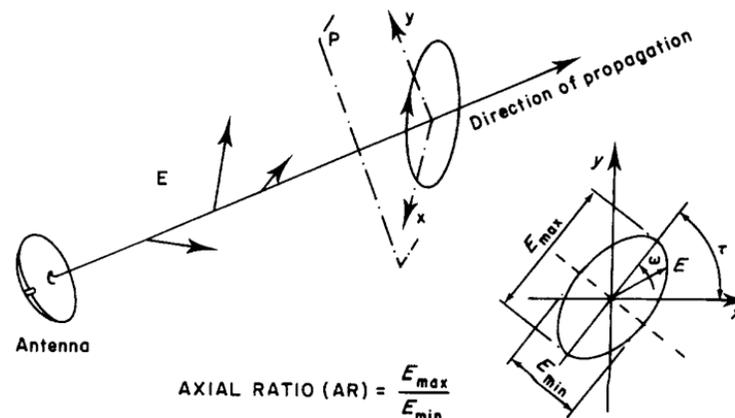
$$L_T = 12\left(\theta_T/\theta_{3dB}\right)^2 \quad (ix)$$

$$L_R = 12\left(\theta_R/\theta_{3dB}\right)^2 \quad (x)$$

### 3. ANALISI DEL LINK BUDGET DI UN CANALE SATELLITARE

#### 3.2.6 Attenuazione dovuta a de-polarizzazione (1)

- Un altro fattore di attenuazione che occorre considerare è dovuto al fatto che l'antenna ricevente **non è orientata** secondo la **polarizzazione dell'onda ricevuta**. Per convenzione, la polarizzazione dell'onda è definita dalla **direzione del campo elettrico**;
- Durante un periodo, la **proiezione** dell'estremità del **vettore del campo elettrico** su un piano perpendicolare alla direzione di propagazione in tutta generalità descrive **un'ellisse (polarizzazione ellittica)**, caratterizzata da una **direzione di rotazione** (oraria o antioraria), dal **rapporto assiale (AR)**, (se  $AR = 1$  la polarizzazione diviene **circolare**, se  $AR \gg 1$  la polarizzazione diviene lineare e l'onda mantiene una **direzione fissata**) e dall'angolo di inclinazione dell'ellisse  $\tau$  (vedi figura):



### 3. ANALISI DEL LINK BUDGET DI UN CANALE SATELLITARE

#### 3.2.6.1 Attenuazione dovuta a de-polarizzazione (2)

- L'antenna ricevente è generalmente costruita per ricevere un'onda con una data polarizzazione (circolare o lineare). Se la polarizzazione dell'onda cambia a causa della propagazione nell'atmosfera (ad esempio se una polarizzazione circolare diviene ellittica, oppure se il piano di polarizzazione di un'onda con polarizzazione lineare ruota di un certo angolo), in ricezione si ha un'onda **de-polarizzata**;
- Se, ad esempio un'antenna polarizzata circolarmente riceve un'onda polarizzata linearmente (o viceversa) si ha un'attenuazione  $L_{POL} = 3\text{dB}$ .
- Se, invece un'antenna polarizzata linearmente non ha il proprio piano di polarizzazione allineato con quello dell'onda incidente (angolo di disallineamento uguale a  $\Psi$ ), si ha che:

$$\longrightarrow L_{POL} = -20 \log \cos \Psi \quad (xi)$$

### 3. ANALISI DEL LINK BUDGET DI UN CANALE SATELLITARE

#### 3.2.7 Conclusioni sulla potenza ricevuta

- Considerando TUTTI i fattori di attenuazione visti in precedenza, possiamo ricavare un'espressione della **potenza del segnale in ingresso al ricevitore**. Questa espressione è data da:

$$\vec{\rightarrow} P_{RX} = P_{TX} \left( \frac{G_T}{L_T L_{FTX}} \right) \frac{1}{L_{FS} L_A} \left( \frac{G_R}{L_R L_{FRX} L_{POL}} \right) \quad (xii)$$

The diagram illustrates the link budget equation with arrows pointing from terms to their respective components:

- $P_{TX}$  points to **Trasmittitore**
- $L_{FS} L_A$  points to **Canale (mezzo trasmissivo)**
- $G_R$  points to **Ricevitore**

## 3. ANALISI DEL LINK BUDGET DI UN CANALE SATELLITARE

### 3.3 Sorgenti di rumore in un link satellitare

- Il rumore in un link di trasmissione radio consiste nell'insieme di **tutti i segnali indesiderati**, la cui potenza si somma alla **potenza della portante modulata** dal segnale che porta informazione;
- Le origini del rumore sono le seguenti:
  - rumore emesso da **sorgenti naturali di radiazione** poste all'interno dell'area di ricezione dell'antenna;
  - rumore generato dalle **componenti del sistema di ricezione**;
  - rumore generato da portanti modulate, irradiate da trasmettitori diversi da quello che si intende ricevere. Questo tipo di rumore è detto **interferenza**;
  - rumore generato da emissioni elettromagnetiche prodotte da dispositivi quali motori elettrici, linee di potenza, ecc., detto **rumore man-made**.

### 3. ANALISI DEL LINK BUDGET DI UN CANALE SATELLITARE

#### 3.3.1 Caratterizzazione e definizione del rumore

- Nell'ipotesi comunemente fatta che il rumore di sistema sia modellabile come rumore Gaussiano bianco, la potenza di rumore  $N$  "catturata" da un ricevitore con banda equivalente di rumore pari a  $B_N$  (in genere  $B_N = B$ , poiché il ricevitore è adattato al segnale trasmesso) sarà data dalla seguente espressione:

$$\longrightarrow N = N_0 B_N \quad (xiii)$$

- La **temperatura di rumore** di una sorgente di rumore che fornisce una potenza disponibile pari a  $N$  è data da:

$$\longrightarrow T = N/kB = N_0/k \quad (xiv)$$

- $k = 1.379 \cdot 10^{-23} \text{ W/Hz}^\circ\text{K}$  è la **costante di Boltzmann**.
- $T$  rappresenta la **temperatura termodinamica** di una **resistenza** che fornisce la stessa potenza di rumore disponibile della sorgente rumorosa considerata.

### 3. ANALISI DEL LINK BUDGET DI UN CANALE SATELLITARE

#### 3.3.3 Temperatura di rumore di un'antenna

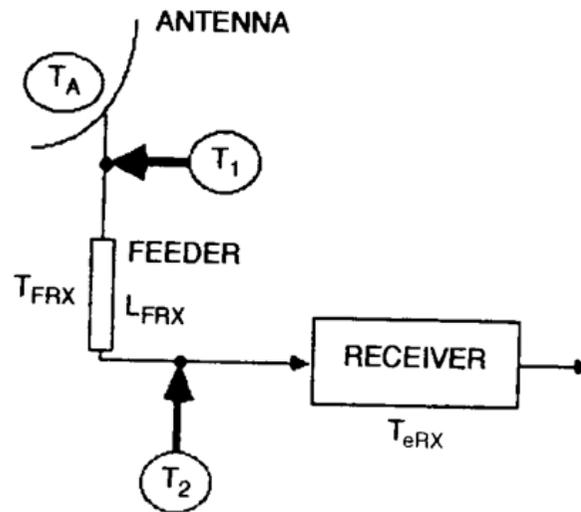
- Un'antenna raccoglie rumore da oggetti irradianti posti all'interno della sua area di ricezione. La potenza di rumore in uscita dall'antenna è una funzione della direzione nella quale essa sta puntando, del suo guadagno e dello stato dell'ambiente circostante;
- Sia  $T_b(\theta, \varphi)$  la **temperatura di illuminazione** (*brightness temperature*) di un oggetto irradiante posto in direzione  $(\theta, \varphi)$  rispetto all'antenna, la temperatura di rumore dell'antenna è data dall'integrazione dei contributi di tutti i corpi irradianti all'interno dell'area di ricezione dell'antenna, ovvero:


$$T_A = \frac{1}{4\pi} \int \int T_b(\theta, \varphi) G(\theta, \varphi) \sin\theta \, d\theta d\varphi \quad (xv)$$

### 3. ANALISI DEL LINK BUDGET DI UN CANALE SATELLITARE

#### 3.3.4 Temperatura di rumore di sistema (1)

- Consideriamo il sistema di ricezione mostrato in figura. Esso consiste di un'antenna connessa ad un ricevitore. Questa connessione è supposta a perdita, con un'attenuazione introdotta pari a  $L_{FRX}$  (*feeder loss*);
- Si suppone che la **temperatura termodinamica** della connessione sia  $T_F$  (vicina a  $T_0$ ) e che la **temperatura di rumore efficace del ricevitore** sia  $T_{eRX}$ .



A receiving system:  $T_A$  is the system noise temperature

### 3. ANALISI DEL LINK BUDGET DI UN CANALE SATELLITARE

#### 3.3.4.1 Temperatura di rumore di sistema (3)

- Il valore  $T_{SYS}$  è detto **temperatura di rumore di sistema** all'ingresso del ricevitore. Esso tiene conto del rumore generato dall'antenna, dal feeder e dal ricevitore in cascata.

$$T_{SYS} = \frac{T_A}{L_{FRX}} + \left(1 - \frac{1}{L_{FRX}}\right) T_F + T_{eRX} \quad (xvi)$$

The diagram illustrates the components of the system noise temperature equation. A green arrow points to the equation. Three boxes are connected to the equation by arrows: 'Rumore generato dall'antenna' points to  $T_A$ , 'Rumore generato dal feeder' points to  $T_F$ , and 'Rumore generato dal ricevitore' points to  $T_{eRX}$ .

### 3. ANALISI DEL LINK BUDGET DI UN CANALE SATELLITARE

#### 3.4 Rapporto segnale/rumore all'ingresso del ricevitore

- La potenza ricevuta all'ingresso del ricevitore  $P_{RX}$  ha l'espressione mostrata nell'equazione (xii);
- La densità spettrale di potenza del rumore è  $N_0 = kT_{SYS}$ , ove  $T_{SYS}$  è la temperatura di rumore di sistema vista nell'equazione (xvi);
- A questo punto è possibile calcolare il **rapporto segnale/rumore** all'ingresso del ricevitore, che è dato dalla seguente:


$$C/N_0 = \frac{P_{TX} \left( \frac{G_T}{L_T L_{FTX}} \right) \frac{1}{L_{FS} L_A} \left( \frac{G_R}{L_R L_{FRX} L_{POL}} \right)}{k \left[ \frac{T_A}{L_{FRX}} + T_F \left( 1 - \frac{1}{L_{FRX}} \right) + T_{eRX} \right]} \text{ (Hz)} \quad (xvii)$$

### 3. ANALISI DEL LINK BUDGET DI UN CANALE SATELLITARE

#### 3.4.1 Analisi in dettaglio dei termini dell'espressione di $C/N_0$

•L'espressione del rapporto segnale/rumore in ingresso al ricevitore può essere vista come la **moltiplicazione di tre termini** dal significato fisico diverso:

→  $P_{TX} \left( \frac{G_T}{L_T L_{FTX}} \right)$  *Potenza isotropica efficace irradiata (EIRP)*

→  $\left( \frac{1}{L_{FS} L_A} \right)$  *Path loss (con attenuazione supplementare dovuta alla pioggia)*

→  $\frac{\left( \frac{G_R}{L_R L_{FRX} L_{POL}} \right)}{k \left[ \frac{T_A}{L_{FRX}} + T_F \left( 1 - \frac{1}{L_{FRX}} \right) + T_{eRX} \right]} \hat{=} \frac{G/T}{k}$  *Figura di merito del sistema di ricezione (G/T).*

## 4. DERIVE DI PROPAGAZIONE DEL SEGNALE IN UN CANALE SATELLITARE

### 4.1 Analisi dei fattori che provocano derive di propagazione dei segnali in canali satellitari

- Un segnale trasmesso su canale satellitare subisce **distorsioni dovute ad imperfetta propagazione** attraverso il mezzo trasmissivo, analoghe a quelle già analizzate per i collegamenti hertziani;
- La natura di queste distorsioni dipende fortemente dalla **frequenza**, e quindi dalla **lunghezza d'onda**, dei segnali trasmessi;
- A tal scopo è necessario, in primo luogo, analizzare l'**utilizzo dello spettro** nelle trasmissioni satellitari, ovvero quali frequenze e quali larghezze di banda vengono utilizzate per la trasmissione di informazione via satellite.

## 4. DERIVE DI PROPAGAZIONE DEL SEGNALE IN UN CANALE SATELLITARE

### 4.2 Utilizzo dello spettro nelle trasmissioni satellitari

Denom. Banda	Banda di frequenza (Ghz)	Utilizzatori
L	0.8-2.0	Sistemi satellitari LEO
S	2.0-3.0	Sistemi satellitari LEO
C	3.0-7.0	Sistemi satellitari LEO
X	7.0-10.0	Sistemi satellitari LEO e MEO
Ku	10.0-17.0	Sistemi satellitari MEO e GEO
Ka	18.0-31.0	Sistemi satellitari GEO
V	>31.0	Sistemi satellitari GEO

## 4. DERIVE DI PROPAGAZIONE DEL SEGNALE IN UN CANALE SATELLITARE

### 4.3 Distorsioni del segnale trasmesso a frequenze < 10 GHz.

- Riguardano i segnali trasmessi nelle bande L, S, C, X, per cui essenzialmente i sistemi di trasmissione satellitare a **bassa orbita (LEO)**;
- Questi segnali sperimentano le stesse derive di propagazione tipiche delle **reti WLAN terrestri**, che trasmettono a frequenze analoghe. Infatti i segnali subiscono fenomeni di riflessione e di dispersione causati essenzialmente da **macro-ostacoli** (alberi, palazzi, ecc.);
- Come risultato (vedi figura sottostante) si ha che il **segnale** viene ricevuto dall'utente attraverso **percorsi multipli**, diversi da quello diretto, e quindi si hanno le ben note attenuazioni provocate dal **multipath fading**.

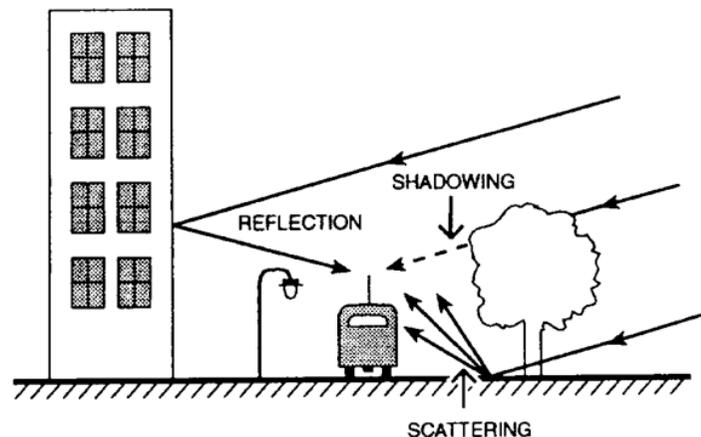
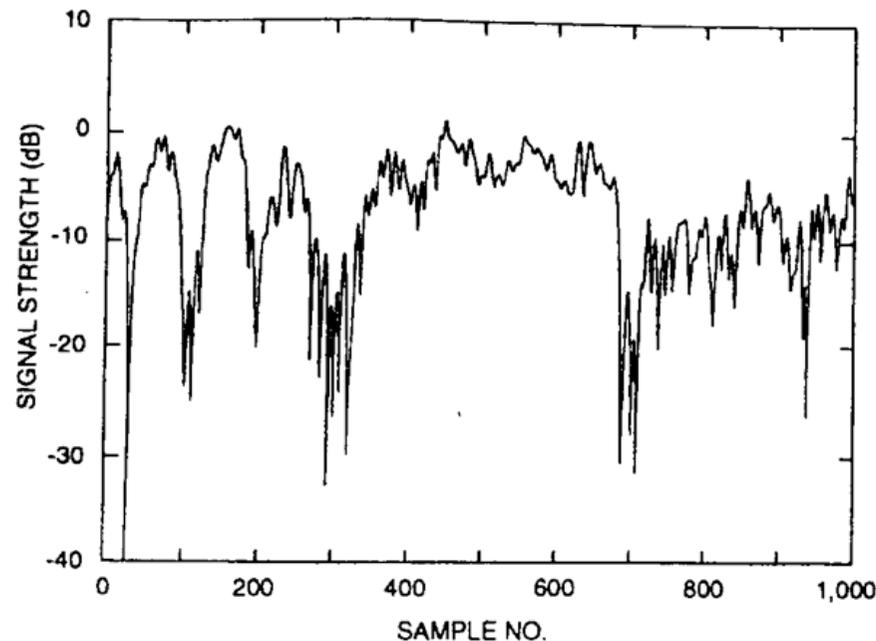


Fig. 10 Propagation effects encountered in a mobile satellite

## 4. DERIVE DI PROPAGAZIONE DEL SEGNALE IN UN CANALE SATELLITARE

### 4.3.1 Effetti del multipath fading su un segnale trasmesso sulla banda L

- Il grafico riportato nella figura sottostante, mostra l'andamento temporale (misurato sperimentalmente su 1000 campioni) delle attenuazioni della potenza di un segnale trasmesso sulla banda L. Le attenuazioni dovute al multipath fading possono essere **alquanto vistose** (fino a 30dB) e fortemente **tempo-varianti**.



#### Valori parametri canale LEO:

*Delay-spread*

100nsec (banda di coerenza 10MHz)

*Doppler spread*

40KHz (tempo di coerenza 25 $\mu$ s)

## 4. DERIVE DI PROPAGAZIONE DEL SEGNALE IN UN CANALE SATELLITARE

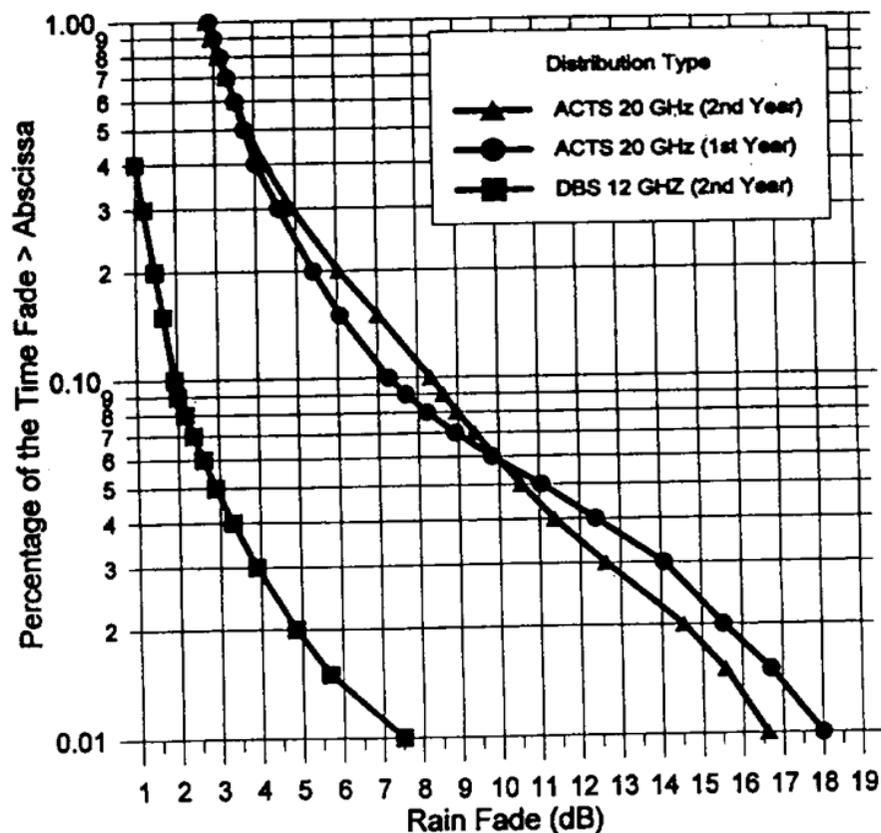
### 4.4 Distorsioni del segnale trasmesso a frequenze > 10 GHz.

- A **frequenze elevate** (cioè nelle bande utilizzate dai satelliti geostazionari), la principale fonte di attenuazione del segnale trasmesso risiede nelle **attenuazioni dovute alla pioggia** (*rain fading*) e più in generale ai fenomeni atmosferici nell'alta troposfera.;
- Il fading da pioggia è di norma **tempo-invariante** e può essere espresso da un **termine di attenuazione supplementare**, che moltiplica il termine relativo all'attenuazione disponibile nello spazio libero (come visto in precedenza);
- Un tipo di distorsione **tempo-variante** del segnale, che riguarda le alte frequenze, è rappresentato dalle **scintillazioni**.
- Le scintillazioni sono **rapide variazioni** dell'**ampiezza** e della **fase** del segnale trasmesso, dovute a **fluttuazioni dell'indice di rifrazione** della troposfera e della ionosfera, causate, a loro volta, da turbolenze atmosferiche.

## 4. DERIVE DI PROPAGAZIONE DEL SEGNALE IN UN CANALE SATELLITARE

### 4.4.1 Distribuzione cumulativa del fading dovuto alla pioggia

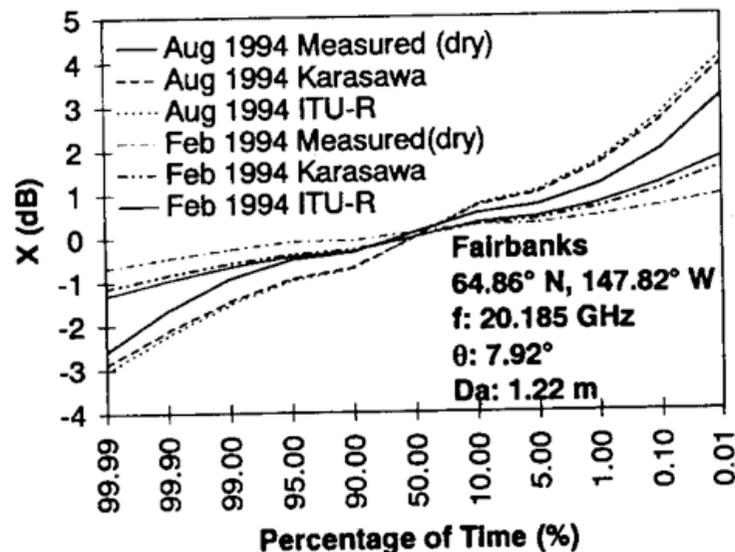
- La distribuzione cumulativa del fading dovuto alla pioggia alle frequenze di 12 GHz e 20 GHz, misurata dai satellite geostazionari ACTS e DSS è rappresentata in figura:



## 4. DERIVE DI PROPAGAZIONE DEL SEGNALE IN UN CANALE SATELLITARE

### 4.4.2 Misura del fading dovuto alle scintillazioni

- I grafici riportati nella figura sottostante riportano le **misure del fading dovuto alle scintillazioni** in funzione della **percentuale del tempo di misura** in cui il valore del fading è maggiore o uguale del valore riportato sulle ordinate;
- Le **misurazioni effettuate sul campo** sono paragonate con un **modello teorico predittivo** elaborato da Y. Karasawa in un suo lavoro (pubblicato su *IEEE Trans on Antenna and Propagation*, Nov. 1988).



## 5. TECNICHE DI TRASMISSIONE-DATI SU RETI SATELLITARI

### 5.1 Trasmissione analogica

- La **trasmissione satellitare analogica** è caratterizzata dai seguenti aspetti:
  - *Elaborazione effettuata sul segnale in banda base* (prima della modulazione e dopo la demodulazione) per migliorare l'efficienza della trasmissione;
  - *Diverso numero di canali supportabili da ogni portante*. Se un solo canale è supportato per portante, si dice che la trasmissione è a **singolo canale** (*SPCP - Single Channel Per Carrier*), se più canali sono supportati da una portante, si dice che la trasmissione è **multiplexata**;
  - *Tipo di modulazione usata*. Generalmente si usa la **modulazione FM**, poiché è ad **inviluppo costante** ed è per questo più robusta nei confronti delle **non linearità** tipiche della propagazione satellitare.

## 5. TECNICHE DI TRASMISSIONE-DATI SU RETI SATELLITARI

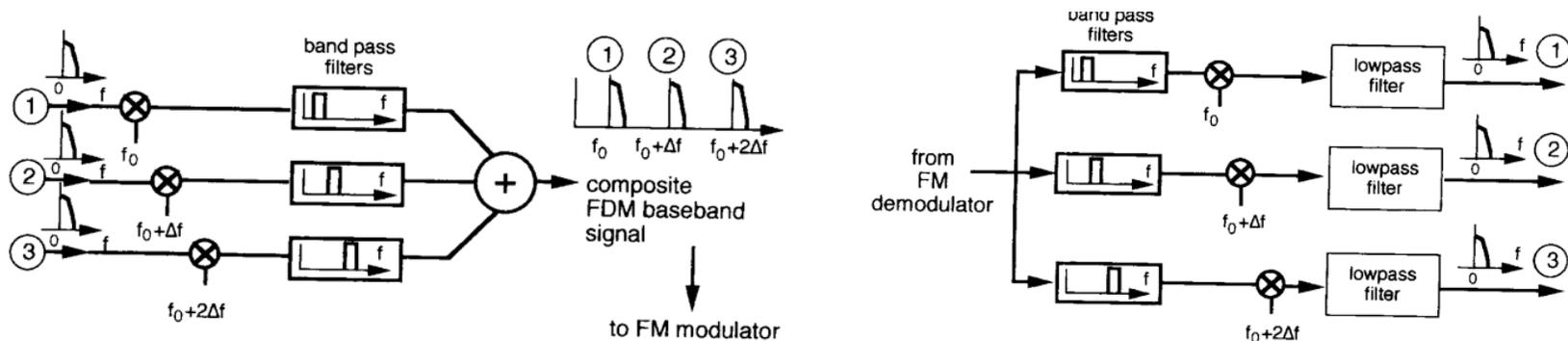
### 5.1.1 Trasmissione analogica di segnali televisivi

- E' stata, storicamente, la prima tipologia di trasmissione supportata dal satellite. In Italia, le prime trasmissioni televisive via satellite risalgono alle Olimpiadi di Tokio del 1964;
- Il segnale televisivo in formato standard viene **modulato in frequenza** con la tecnica **SCPC-FM** (*Single Channel Per Carrier - Frequency Modulation*), pertanto senza alcun tipo di multiplexing;
- La portante viene modulata dal segnale televisivo dopo che esso è passato attraverso un filtro di **pre-enfasi**. Pertanto, il segnale, dopo la demodulazione dovrà subire un filtraggio di **de-enfasi**;
- L'accesso multiplo al canale di trasmissione avviene in **modalità FDMA**, con i diversi canali televisivi che occupano slot di frequenza tra loro separate.

## 5. TECNICHE DI TRASMISSIONE-DATI SU RETI SATELLITARI

### 5.1.2 Trasmissione analogica di segnali telefonici

- La prima tecnica usata per trasmissione telefonica via satellite è stata, storicamente, la tecnica analogica **FDM/FM** (*Frequency Division Multiplexing - Frequency Modulation*);
- La portante viene **modulata in frequenza** da un segnale che è generato dal **multiplexing in frequenza (FDM)** di  $n$  canali telefonici analogici. Nelle figure sottostanti è illustrata la metodologia di multiplexing e de-multiplexing del segnale telefonico analogico;



The principle of FDM multiplexing and demultiplexing.

- Prima della modulazione avviene il **filtraggio di pre-enfasi** del segnale in uscita dal multiplexer (e dopo la demodulazione quello di de-enfasi).

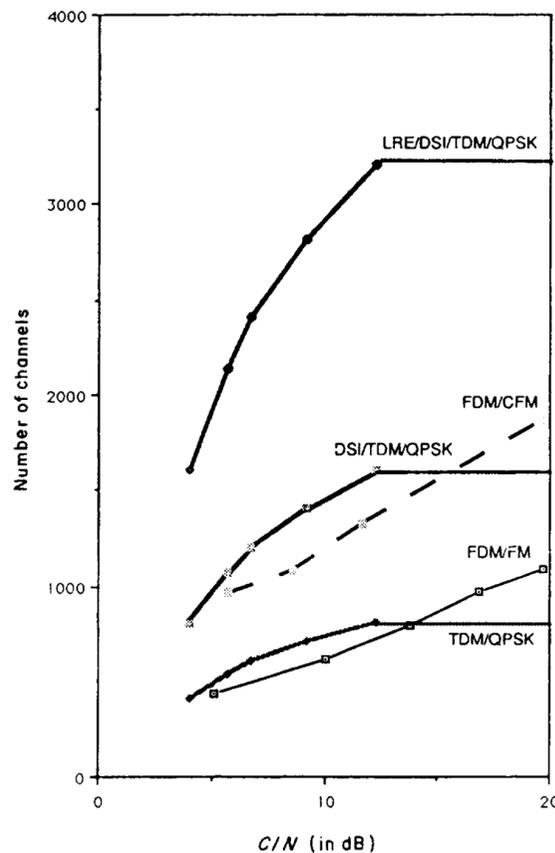
# 5. TECNICHE DI TRASMISSIONE-DATI SU RETI SATELLITARI

## 5.2 Trasmissione digitale

- L'evoluzione naturale dei sistemi satellitari va verso la **trasmissione digitale**;
- La trasmissione analogica è, per sua natura, **monomediale**. Infatti i segnali provenienti dalle diverse sorgenti (video, voce, ecc.) hanno **caratterizzazione assai diversa** in termini sia di larghezza di banda che di tipologia del segnale stesso;
- La trasmissione digitale è invece caratterizzata dalla **multimedialità**, ovvero con uno **stesso tipo di segnale** si possono trasmettere dati provenienti da diverse sorgenti;
- Il fattore discriminante, nel caso digitale, è la **velocità di trasmissione**, e quindi la **larghezza di banda** richiesta per i diversi tipi di segnale.
- Le tecniche digitali consentono di ottenere **una elevata qualità del servizio**, trasmettendo a **potenze molto inferiori**, rispetto a quella richieste dalle tecniche analogiche. Inoltre offrono **maggiore flessibilità**, poiché si possono analizzare in sede di progetto molti più parametri configurabili (codifica di sorgente, codifica di canale, modulazione ecc.);
- Le tecniche digitali consentono inoltre di trasmettere **in eccesso di banda**, per proteggere maggiormente il segnale dal rumore (concetto di **Spread Spectrum**).

## 5. TECNICHE DI TRASMISSIONE-DATI SU RETI SATELLITARI

### 5.2.1 Valutazione comparativa delle prestazioni di un sistema di trasmissione digitale e di un sistema di trasmissione analogico (applicazione: telefonia satellitare)



➡ La trasmissione digitale consente di **gestire in maniera flessibile i parametri della codifica di sorgente e di canale dell'informazione**, offrendo la possibilità di **incrementare la capacità del canale a parità di (C/N) in ricezione e di larghezza di banda usata**.

➡ La trasmissione analogica offre possibilità **assai più limitate** in questo senso (si può agire solo sulla modulazione).

## 5. TECNICHE DI TRASMISSIONE-DATI SU RETI SATELLITARI

### 5.2.2 Tecniche di modulazione digitale usate su reti satellitari

- Tecniche **narrowband a singola portante** (BPSK, QPSK, M-PSK, QAM, M-QAM) con codifica di canale convoluzionale (Trellis-coded modulation - TCM). Sono spettralmente efficienti e semplici da realizzare, ma generalmente vulnerabili nei riguardi delle derive di propagazione dei canali satellitari;
- Tecniche **narrowband multi-portante** (modulazioni multicarrier, modulazione OFDM, modulazione COFDM). Sono spettralmente efficienti e più robuste nei confronti del multipath fading rispetto alle tecniche a singola portante;
- Tecniche **wideband a singola portante** (Direct Sequence - Spread Spectrum). Trasmettono su banda in eccesso per proteggere l'informazione dal rumore, dal fading e da intrusioni indebite;
- Tecniche **wideband multi-portante** (Multicarrier-CDMA, Multitone-CDMA). Trasmettono in modalità Spread Spectrum su insiemi di portanti ortogonali. Consentono di gestire in maniera assai efficiente la trasmissione a bit-rate variabile.

## 5. TECNICHE DI TRASMISSIONE-DATI SU RETI SATELLITARI

### 5.2.3 Tecniche di accesso multiplo usate su reti satellitari

- I sistemi satellitari analogici usano protocolli di accesso multiplo basati sul concetto di **FDMA**;
- I sistemi satellitari basati su **tecniche di trasmissione digitali narrowband** (a singola o multipla portante) usano protocolli di accesso multiplo basati sul concetto di **TDMA**. Non si usa generalmente il TDMA puro: il canale viene diviso in slot di frequenza, gestite a loro volta in modalità TDMA (accesso multiplo ibrido FDMA/TDMA, come nel GSM);
- I sistemi satellitari che adottano **tecniche di trasmissione digitali wideband** (a singola o multipla portante) usano protocolli di accesso multiplo basati sul concetto di **CDMA**. Il CDMA consente a più utenti di sovrapporsi sulla stessa banda senza alcuna restrizione temporale (accesso multiplo **asincrono**);
- Per ridurre l'ammontare **dell'interferenza di accesso multiplo**, che riduce fortemente le prestazioni del CDMA asincrono in presenza di molti utenti sul canale, si preferisce spesso usare l'accesso **CDMA sincrono**, con gli utenti che trasmettono **rigidamente allineati temporalmente** (in pratica un ibrido TDMA/CDMA).

# 5. TECNICHE DI TRASMISSIONE-DATI SU RETI SATELLITARI

## 5.3 Panoramica delle tecnologie di trasmissione-dati dei sistemi satellitari commerciali

Table 6 Communications Characteristics of the Proposed New Satellite PCS Systems

Parameter	Iridium	Globalstar	ICO-Global	GEO Regionals
<b>Mobile User Link</b>				
Frequency, Up/Down (GHz)	1.62135–1.6265	1.6100–1.62135/ 2.4835–2.49485	1.980–2.010/ 2.170–2.200	1.525–1.559/ 1.6265–1.6605
Bandwidth (MHz)	5.15	11.35	30	34
Spot Beams per Satellite	48	16	163	>240
Voice Bit Rate, (coded) (kb/s)	4.8 (6.25)	1–9	4.8 (6.0)	3.6 (5.2)
<b>Feeder Link</b>				
Frequency Up/Down (GHz)	30/20	5.1/6.9	5.2/6.9	14/12
Gateway Antenna $G/T$ (dB/K)	24.5	28.5	26.6	37.0
<b>User Terminal</b>				
Multiple-Access	TDMA-FDMA	CDMA-FDMA	TDMA-FDMA	TDMA-FDMA
Carrier Bandwidth (kHz)	TDD, 31.5	1250	25.2	27
Carrier Bit Rate (kb/s)	50	2.4	36	45
Modulation	DQPSK	PN/QPSK	QPSK	QPSK
RF Power (W)	0.45	0.5	0.625	0.5
$G/T$ (dB/K)	-23.0	-22.0	-23.8	-23.8
Nominal Link Margin (dB)	16.5	11	10	10
Nominal Capacity per Satellite (ckts)	1,100	2,400	4,500	16,000

from inside a vehicle (e.g., a taxi), a capability dictated

by Carter and Reach [29] and by others. Other sv

*Corso di “Introduzione alle Comunicazioni Mobili”*

**COLLEGAMENTI RADIO VIA  
SATELLITE: APPLICAZIONI**

*Prof. Fabrizio Granelli*

# TRASMISSIONI SATELLITARI: PRINCIPALI APPLICAZIONI

## TRASMISSIONI SATELLITARI

### TRASMISSIONI SATELLITARI ANALOGICHE

**Voce  
(telefonia)**

**Video  
(TV)**

### TRASMISSIONI SATELLITARI DIGITALI

**Banda stretta  
(basso bit-rate)**

**Telefonia satellitare  
digitale  
Radiolocalizzazione**

**Banda larga  
(elevato bit-rate)**

**Broadcast TV  
Multimedialità**

# TRASMISSIONI SATELLITARI: PRINCIPALI APPLICAZIONI

## APPLICAZIONI “A BANDA STRETTA”

```
graph LR; A[APPLICAZIONI "A BANDA STRETTA"] --> B[Radiolocalizzazione di veicoli (GPS, GNSS, GLONASS)]; A --> C[Telefonia satellitare (Iridium, Globalstar)];
```

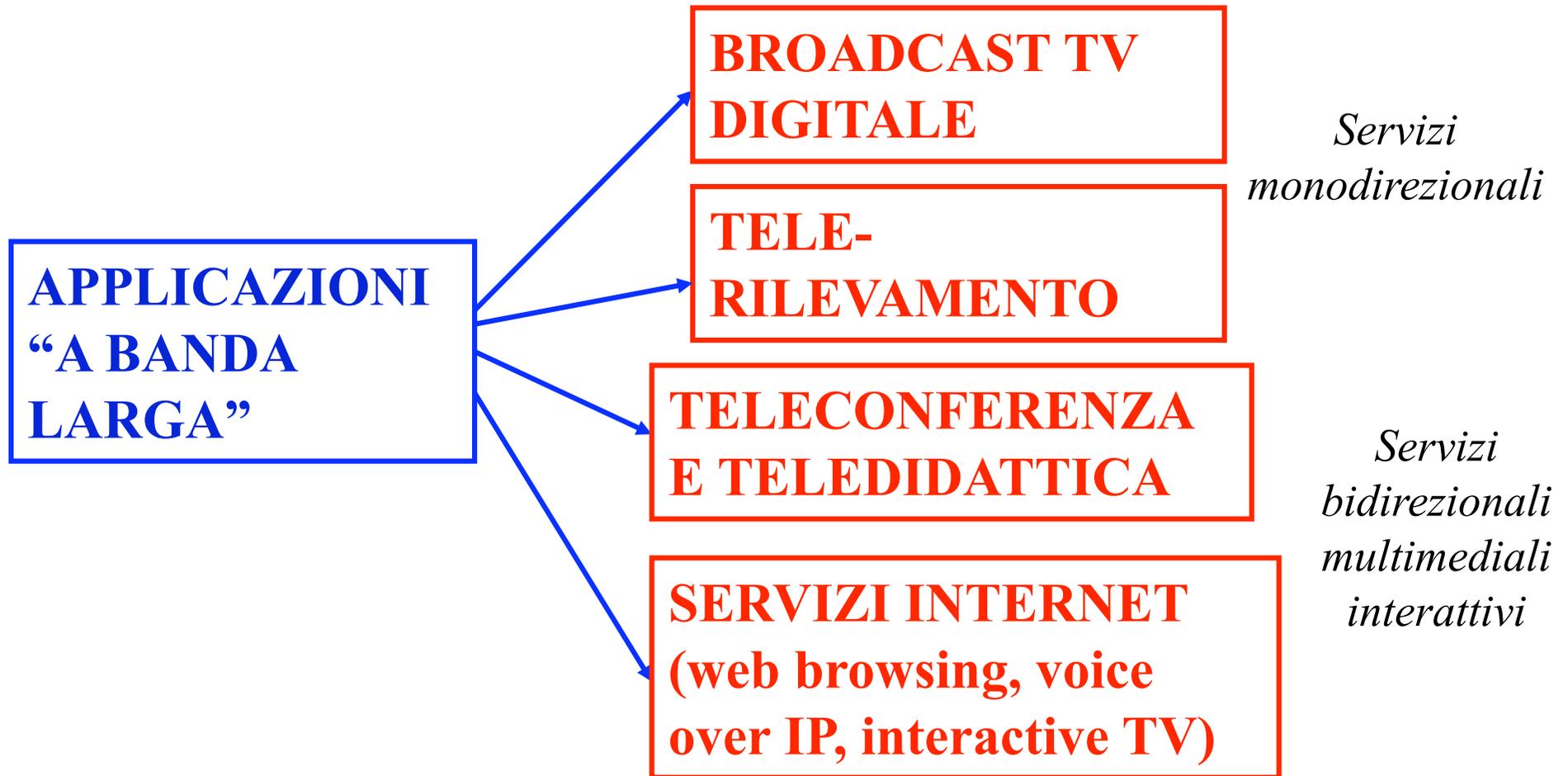
**Radiolocalizzazione  
di veicoli (GPS,  
GNSS, GLONASS)**

Servizio a **larga resa commerciale**  
e di **ampia diffusione**

**Telefonia satellitare  
(Iridium, Globalstar)**

Servizio con **molti problemi di  
diffusione commerciale** (Iridium è in  
fase di smantellamento) a causa della  
**scarsa attrattiva** sul pubblico

# TRASMISSIONI SATELLITARI: PRINCIPALI APPLICAZIONI



# MULTIMEDIALITA' VIA SATELLITE TRA PRESENTE E FUTURO

## MOTIVAZIONI SULL'UTILIZZO DEI SATELLITI NELLE TRASMISSIONI MULTIMEDIALI A LARGA BANDA

- L'idea di utilizzare i satelliti come soluzione per il problema **dell'ultimo miglio di rete** (cioè connessione di utenti residenziali a punti di accesso a reti di servizio a larga banda) è stata ispirata dai **recenti progressi** nel settore delle tecnologie satellitari, che hanno avuto importanti ricadute anche nel settore delle **telecomunicazioni civili**.
- L'utilizzo del satellite nell'ultimo miglio di rete consente di **contenere i costi** per l'installazione delle apparecchiature e di fornire **un'elevato raggio di copertura** del servizio.

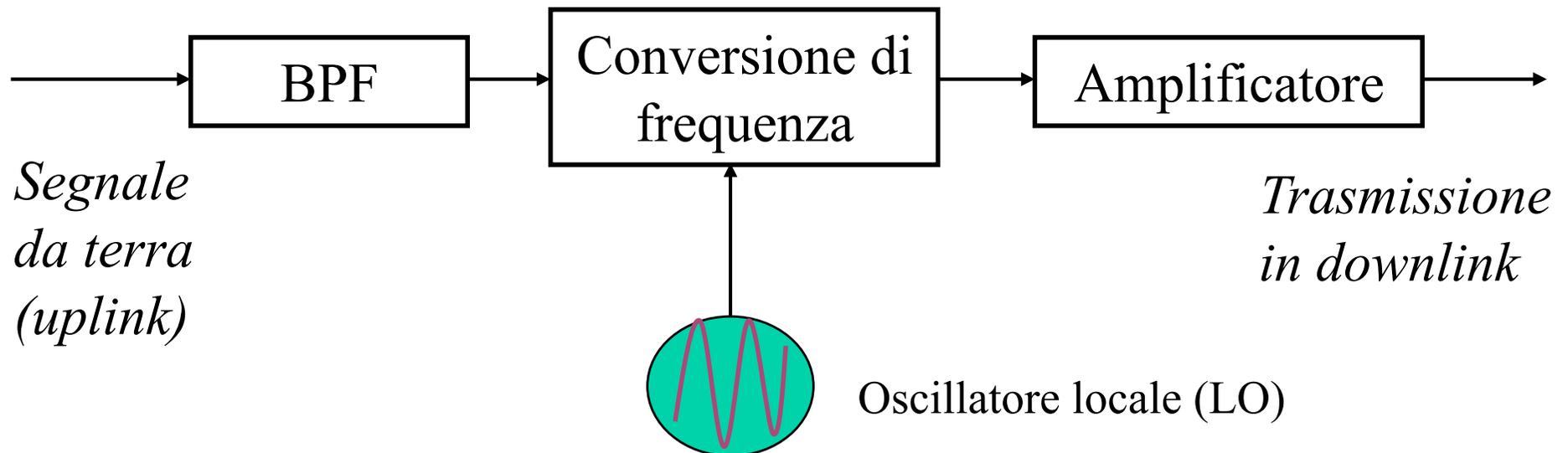
# MULTIMEDIALITA' VIA SATELLITE TRA PRESENTE E FUTURO

## SERVIZI MULTIMEDIALI VIA SATELLITE DI MAGGIORE INTERESSE COMMERCIALE

- Un sistema di trasmissione satellitare è inerentemente un **sistema broadcast**. Per cui l'applicazione a più alta resa commerciale è attualmente il **broadcast TV digitale**.
- Tuttavia l'**ampia larghezza di banda** a disposizione per la trasmissione e l'**elevato raggio di copertura offerto**, rendono i satelliti assai appetibili anche per altri tipi di servizi multimediali di tipo **bidirezionale ed interattivo**.
- In questo senso, si pensa alla fornitura di **INTERNET via satellite** come ad un grande business commerciale nell'immediato futuro.

# MULTIMEDIALITA' VIA SATELLITE TRA PRESENTE E FUTURO

## SATELLITI NON RIGENERATIVI (TRANSPONDER)

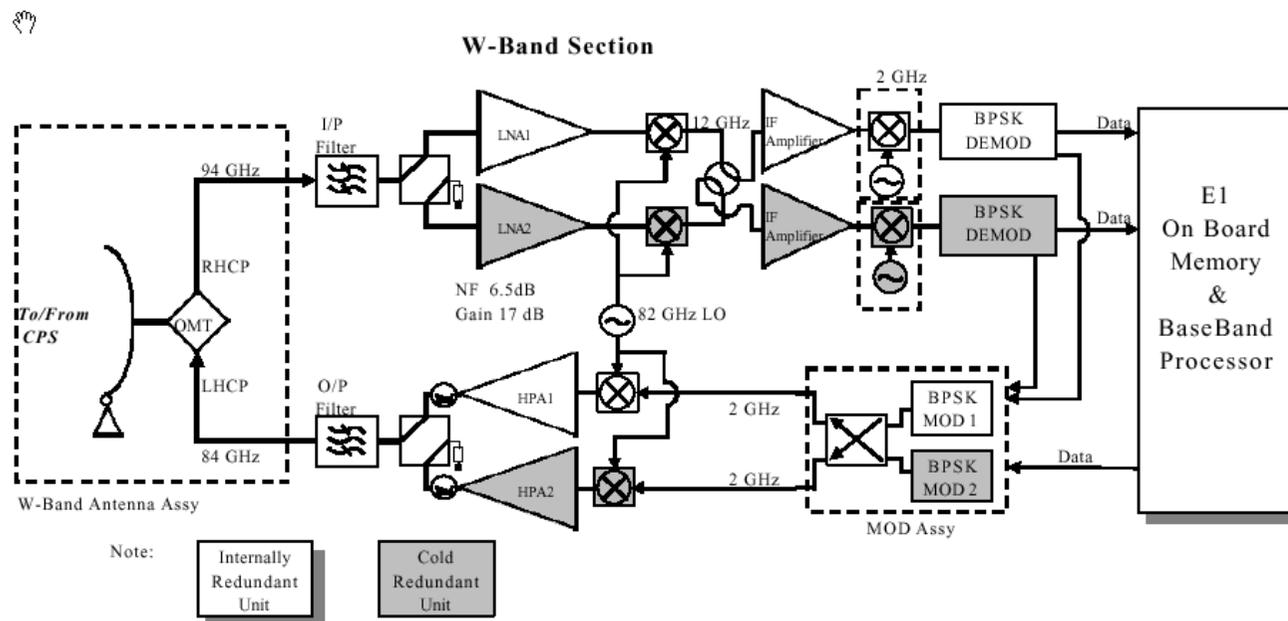


• **Vantaggi:** costi ridotti, lunga durata;

• **Svantaggi:** scarsa efficienza nello sfruttamento delle risorse di banda disponibili.  
Adatti soprattutto per trasmissioni analogiche.

# MULTIMEDIALITA' VIA SATELLITE TRA PRESENTE E FUTURO

## SATELLITI RIGENERATIVI



- **Vantaggi:** incrementata flessibilità nella gestione delle risorse disponibili (molto utile nelle trasmissioni digitali a larga banda);
- **Svantaggi:** costi elevati, problemi di affidabilità, necessità di una fase di progetto molto accurata.

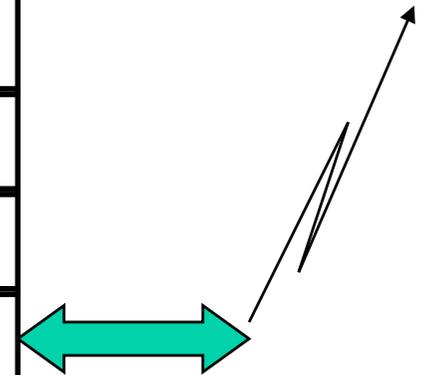
# MULTIMEDIALITA' VIA SATELLITE TRA PRESENTE E FUTURO

## BANDE DI FREQUENZA UTILIZZATE PER LE TRASMISSIONI DIGITALI SATELLITARI

<b>Denom. Banda</b>	<b>Banda di frequenza (Ghz)</b>	<b>Utilizzatori</b>
L	0.8-2.0	Sistemi satellitari LEO
S	2.0-3.0	Sistemi satellitari LEO
C	3.0-7.0	Sistemi satellitari LEO
X	7.0-10.0	Sistemi satellitari LEO e MEO
Ku	10.0-17.0	Sistemi satellitari MEO e GEO
Ka	18.0-31.0	Sistemi satellitari GEO
V	31.0-60.0	Sistemi satellitari GEO
W	60.0-95.0	Sistemi satellitari LEO (sperimentale)

# MULTIMEDIALITA' VIA SATELLITE TRA PRESENTE E FUTURO

## DIAGRAMMA ISO-OSI DI UNA RETE SATELLITARE

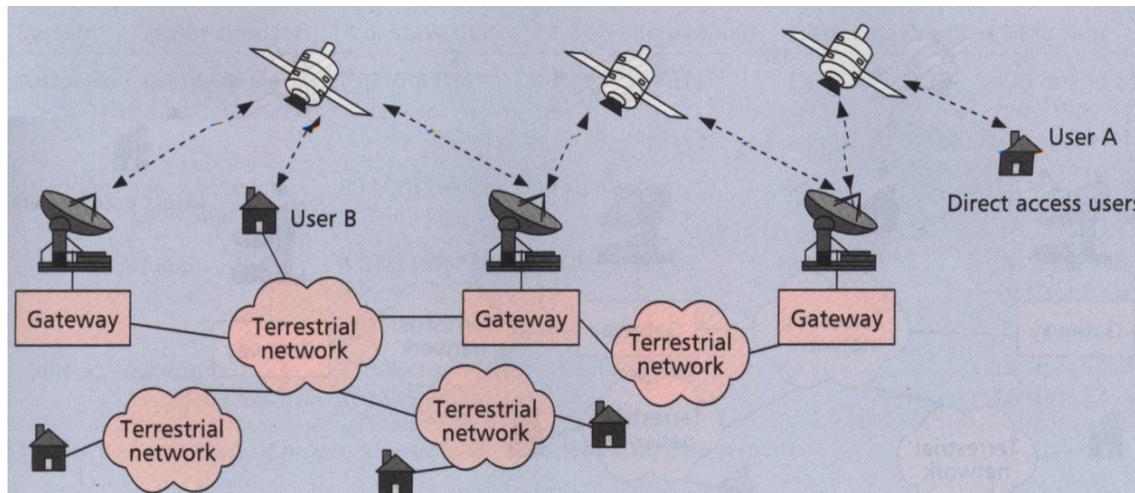


Per ogni livello sono definiti:

- Una serie di regole relative all'elaborazione dell'informazione in quel determinato livello (**protocolli**);
- Un **diverso livello di rappresentazione** dell'informazione elaborata.

# MULTIMEDIALITA' VIA SATELLITE TRA PRESENTE E FUTURO

## ESEMPI DI ARCHITETTURE DI RETI SATELLITARI PER LA FORNITURA DI SERVIZI MULTIMEDIALI (1)

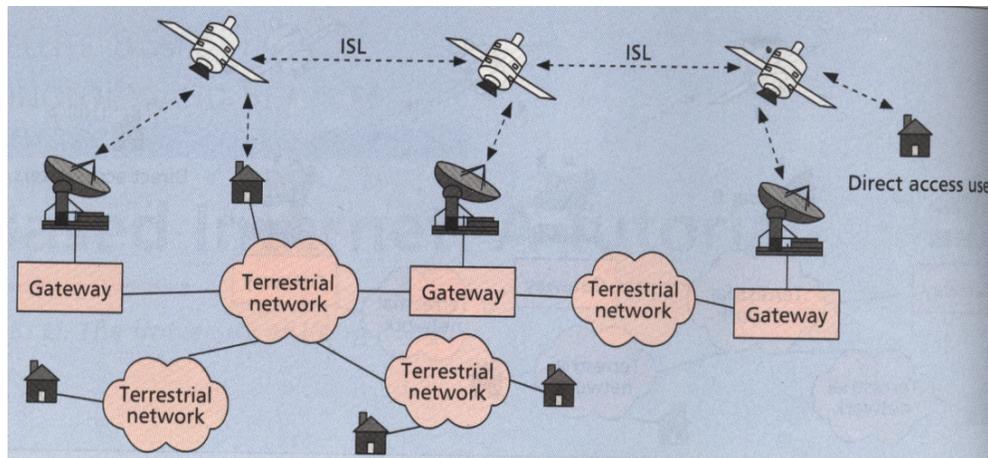


*Architettura "Bent-pipe"*

- Architettura basata su satelliti operanti come **semplici ripetitori del segnale** (satelliti **non rigenerativi**);
- Utilizzati satelliti LEO e GEO;
- Essenzialmente il satellite funziona come **mezzo di interconnessione** tra reti terrestri esistenti, ma può consentire accesso ai servizi anche ad utenti **non connessi ad alcuna rete terrestre** (vedi utente A), o agire come **collegamento di backup** (vedi utente B);
- Vantaggio: **bassi costi di implementazione**;
- Svantaggio: **elevati tempi di ritardo**.

# MULTIMEDIALITA' VIA SATELLITE TRA PRESENTE E FUTURO

## ESEMPI DI ARCHITETTURE DI RETI SATELLITARI PER LA FORNITURA DI SERVIZI MULTIMEDIALI (2)

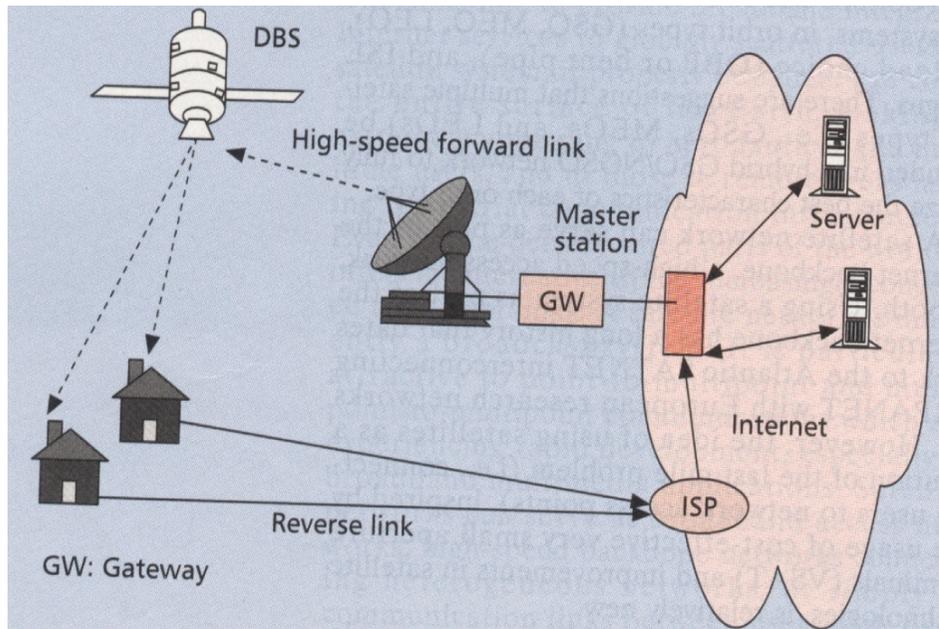


*Architettura di connessione che utilizza link intersatellitari ed elaborazione del segnale a bordo satellite (ISL+OBP)*

- In questo caso, i satelliti impiegati effettuano a bordo **ricezione e ritrasmissione del segnale** (satelliti **rigenerativi**);
- I diversi satelliti costituiscono una **rete intersatellitare** che agisce sia come **rete di accesso** che come **backbone**;
- Su questo concetto si basa, ad esempio, la rete satellitare **TELEDESIC** (progetto sponsorizzato da MICROSOFT per la distribuzione di Internet via satellite). Tale rete usa **288 satelliti LEO**;
- Vantaggi: maggiore flessibilità, ridotti tempi di ritardo, maggiore velocità;
- Svantaggi: costi di implementazione più elevati.

# MULTIMEDIALITA' VIA SATELLITE TRA PRESENTE E FUTURO

## ESEMPI DI ARCHITETTURE DI RETI SATELLITARI PER LA FORNITURA DI SERVIZI MULTIMEDIALI (3)



*Accesso INTERNET via DBS (Direct Broadcast Satellite)*

- Poiché il traffico Internet è **fortemente asimmetrico** (ovvero maggiori sono le velocità di trasmissione richieste nella tratta di downlink rispetto a quella di uplink), alcuni pensano di fornire l'accesso ad Internet utilizzando **satelliti già in uso per il broadcast digitale televisivo**;
- In tal modo si “innesta” il servizio di Internet su infrastrutture di comunicazione **già abbondantemente diffuse sul territorio** (senza richiedere terminali ed antenne “ad hoc”);
- Questo tipo di architettura, detta DBS, viene usata nel sistema commerciale **DirecPC**;
- Lo svantaggio è l'estrema “unidirezionalità” del sistema (la larga banda è disponibile solo in una direzione - difficoltà a supportare applicazioni multimediali interattive).

# MULTIMEDIALITA' VIA SATELLITE TRA PRESENTE E FUTURO

## PROSPETTO RIASSUNTIVO DEI PRINCIPALI SISTEMI DI COMUNICAZIONE A BANDA LARGA SATELLITARI

System	Major sponsors	Constellation	Satellite payload	Frequency band	Data rate	Service date
Astrolink	Lockheed Martin	Up to 9 GSO satellites	OBP and ISLs	Ka	Up to 200 Mb/s downlink Up to 20 Mb/s uplink	2003
Skybridge	Alcatel Espace, Loral Space	80 LEOsatellites at 1469 km	Bent-pipe	Ku	16 kb/s–20 Mb/s downlink 16 kb/s–2 Mb/s uplink	2002
Spaceway	Hughes	4 GSO satellites (ultimately 21 satellites)	OBP and ISLs	Ka	Up to 92 Mb/s downlink 16 kb/s–6 Mb/s uplink	2002
Teledesic	Motorola, Lockheed Martin	288 LEO satellites at 1375 km	OBP and ISLs	Ka	16 kb/s–64 Mb/s downlink 16 kb/s–2 Mb/s uplink	2004