



RETI DI TELECOMUNICAZIONI

Prof. S. Marano
Università della Calabria
A.A. 2012-2013



Mezzi trasmissivi

Il mezzo trasmissivo rappresenta il percorso fisico tra trasmettitore e ricevitore

- ❖ **l'informazione viaggia sul mezzo sotto forma di *segnale***
- ❖ **per le caratteristiche intrinseche del mezzo e dell'ambiente circostante, il segnale subisce un'*attenuazione***

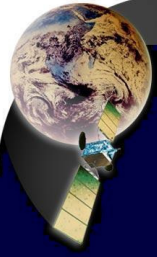


Mezzi trasmissivi

I mezzi trasmissivi possono essere:

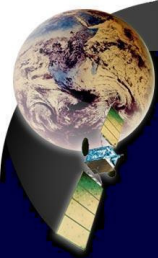
- **guidati**
 - **doppini in rame, cavo coassiale, fibra ottica**
- **non guidati**
 - **aria, vuoto, acqua**

In entrambi i casi la comunicazione avviene sotto forma di onde elettromagnetiche



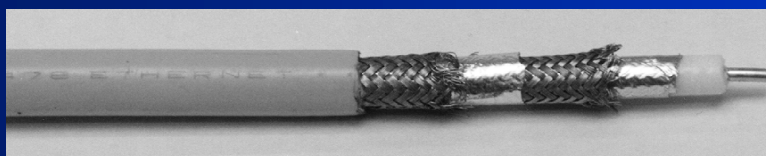
Principali Mezzi trasmissivi

- ❖ **Cavo coassiale**
- ❖ **Coppia simmetrica (doppino in rame)**
- ❖ **Fibra ottica**
- ❖ **Canale radio**

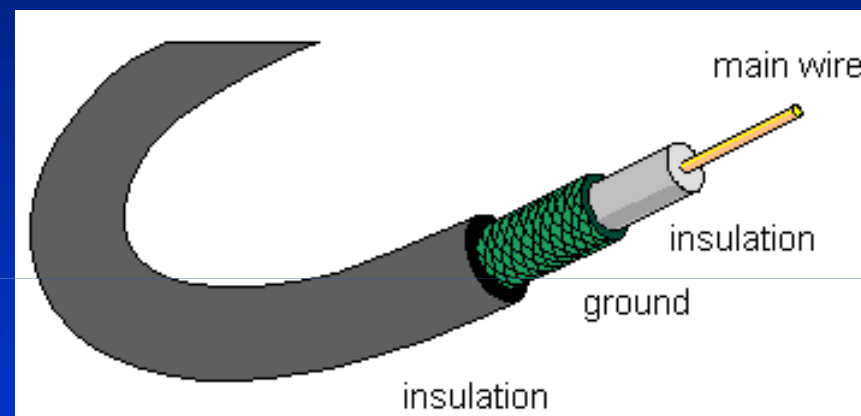
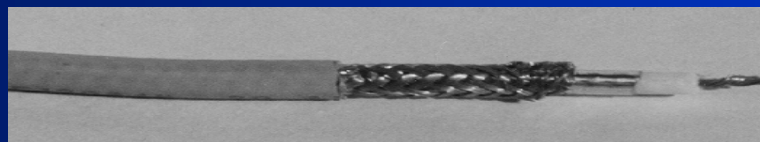


Cavo Coassiale

- ❖ Tipicamente usato per reti a BUS e CATV
- ❖ Dominante sino al '90
- ❖ Buon rapporto S/N
- ❖ Principali tipi:
 - Cavo grosso (Thick-RG213)



- Cavo sottile (Thin-RG58)

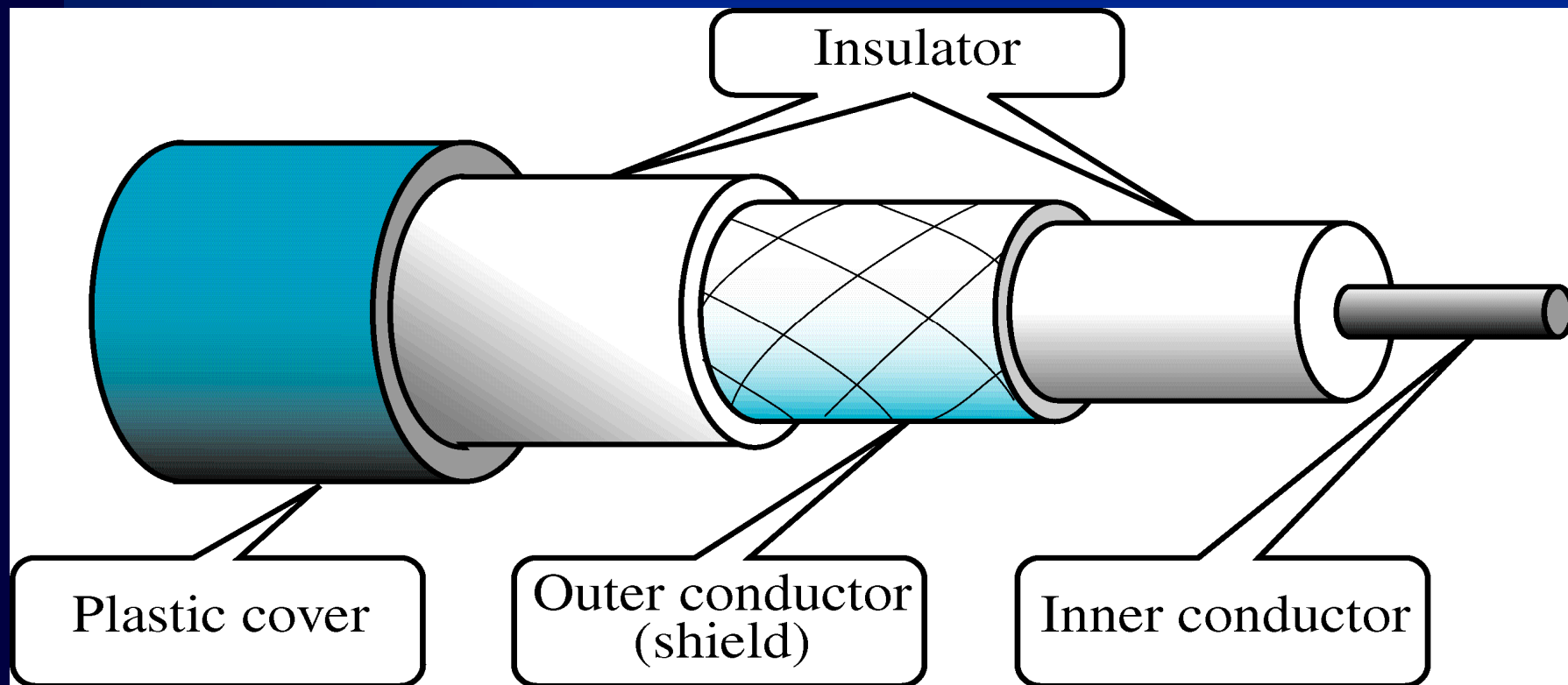


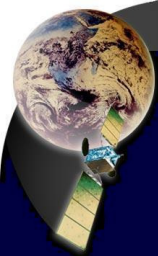
Coaxial Cable

Coaxial cable

100 KHz

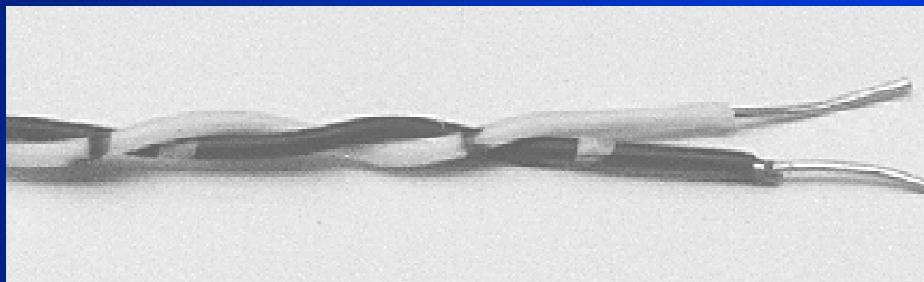
500 MHz

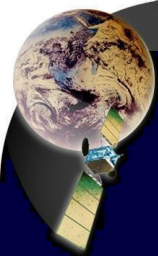




Coppia Simmetrica (Twisted Pair)

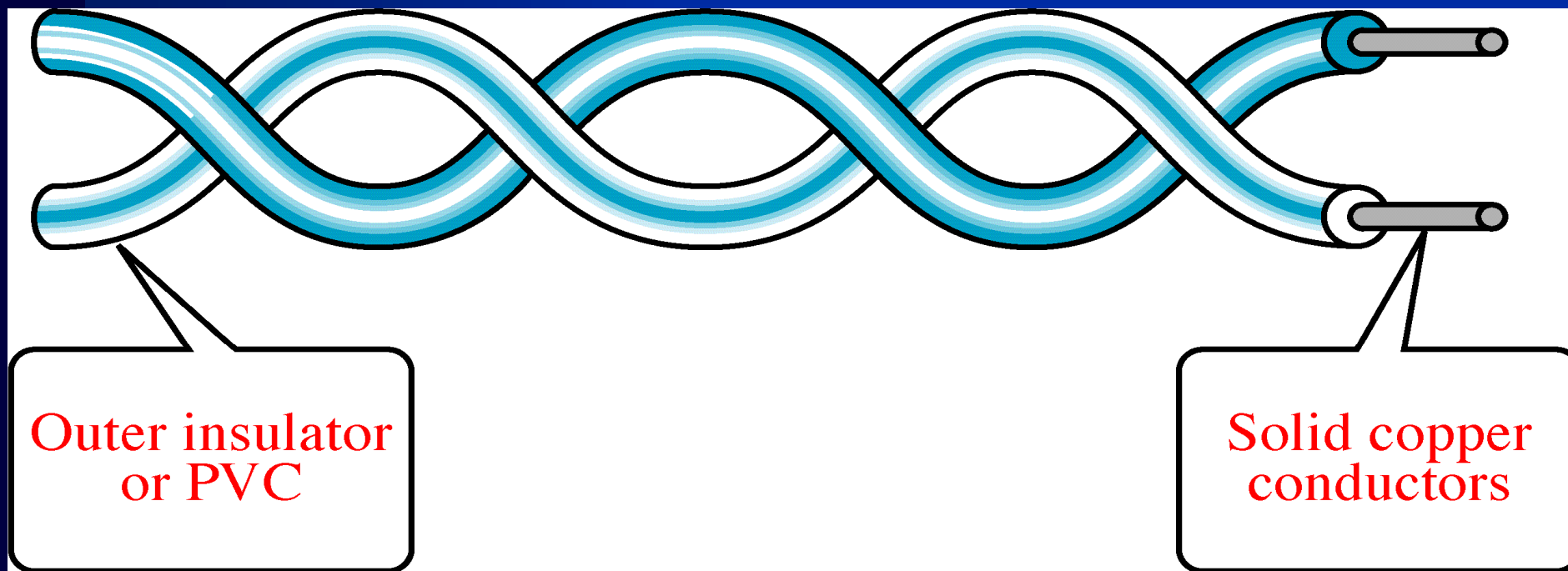
- ❖ Prestazioni inferiori al cavo coassiale
- ❖ Utilizzabili anche per bit rate elevati (>100 Mbit/s) su brevi distanze (~ 100 m)
- ❖ Tipicamente usato in cavetti a 4 coppie
- ❖ Basso costo e facilità di posa
- ❖ Adatto a cablaggi strutturati
- ❖ Enorme diffusione dal '90





Coppia simmetrica (Twisted-Pair Cable)

	Twisted-pair cable	
100 Hz		5 MHz



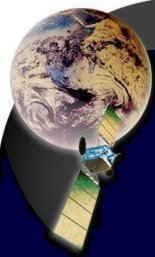


Coppia Simmetrica (2)

❖ **Varianti**

- **UTP (Unshielded):** non schermato
- **FTP (Foiled):** uno solo schermo per tutto il cavetto
- **STP (Shielded):** schermato coppia per coppia

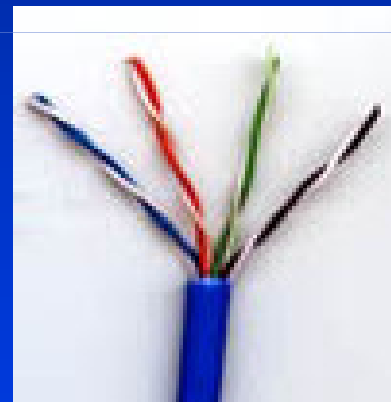


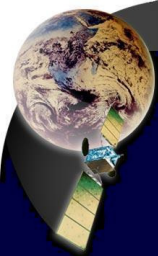


Coppia Simmetrica (3)

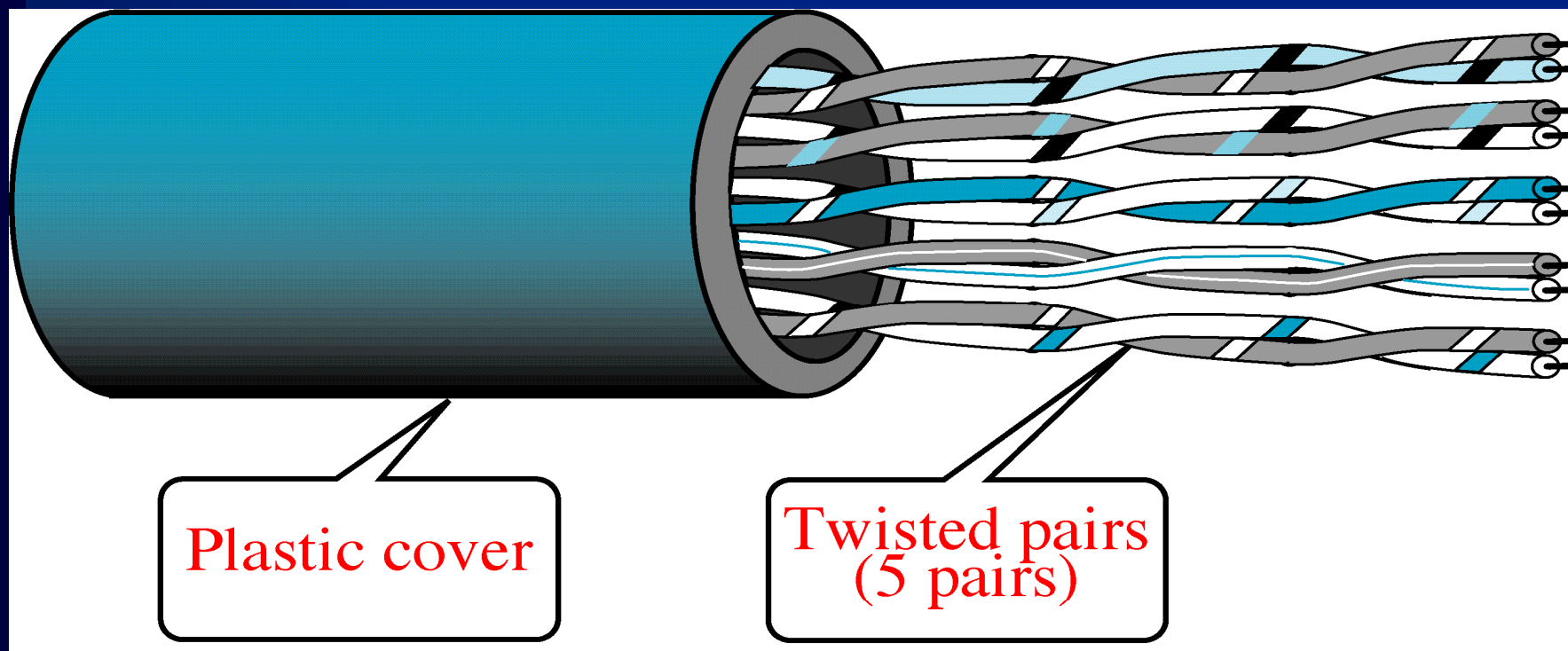
❖ UTP

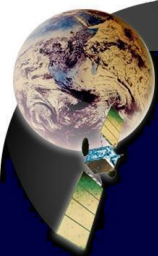
- più diffuso (collegamento tra utente e centrale telefonica)
- installato originariamente per voce (4KHz analogica, 64kbps numerica), supporta anche segnali a banda più larga (DSL)
- la versione per i dati è usata nelle LAN (Cat. 5 opera a 100MHz su distanze di 100m e supporta bit rate di 100Mbps)
- poco costoso e facile installazione
- lunghezza limitata per attenuazione specie alle alte frequenze
- sensibile all'interferenza elettromagnetica





Unshielded Twisted-Pair Cable

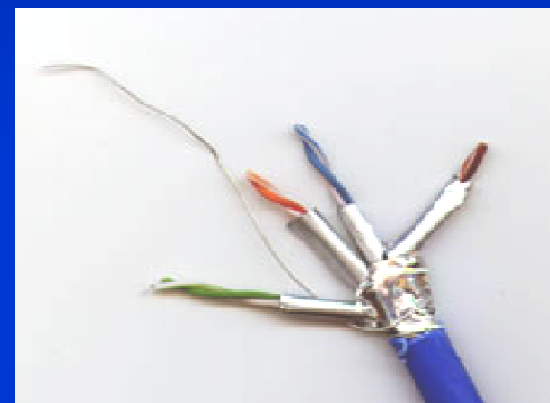


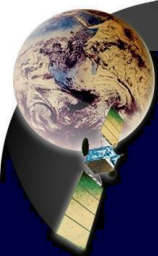


Coppia Simmetrica (4)

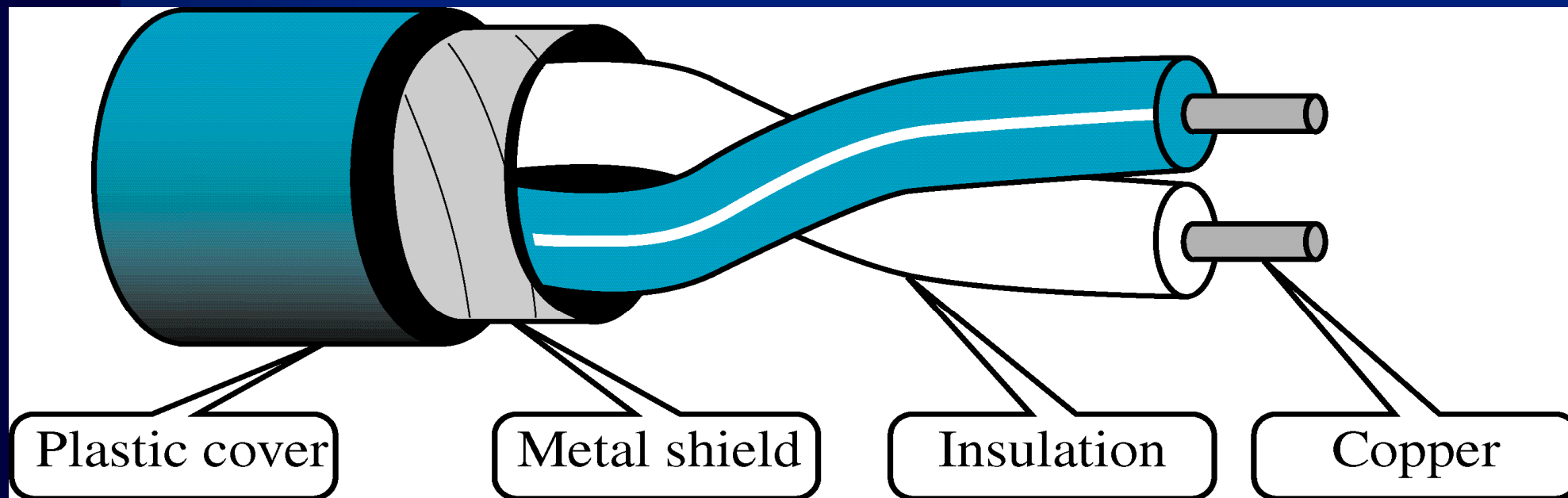
❖ **STP**

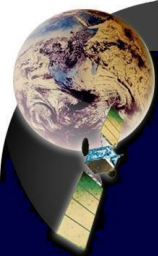
- più robusti all'interferenza elettromagnetica
- più costosi e difficili da installare
- usati nelle LAN ad alta velocità (Cat. 6 e 7)





Shielded Twisted-Pair Cable





Coppia Simmetrica (5)



❖ **Categorie dei cavi**

- 1 - telefonia analogica
- 2 - telefonia numerica (ISDN) e dati a bassa velocità
- 3 - dati sino a 16 MHz di banda
- 4 - dati sino a 20 MHz di banda
- 5 - dati sino a 100 MHz di banda
- 6* - dati sino a 200 MHz di banda
- 7* - dati sino a 600 MHz di banda

** (ISO/IEC 11801 seconda edizione)*



Coppia Simmetrica (6)

❖ Trasmissione bilanciata

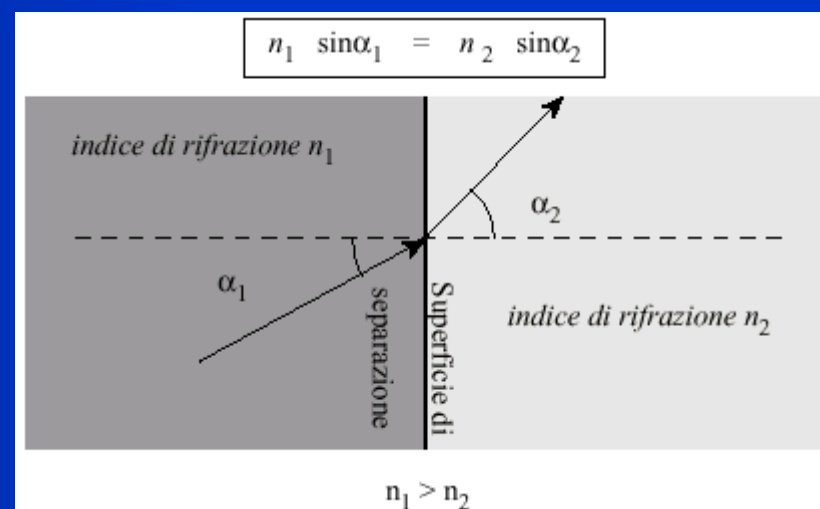
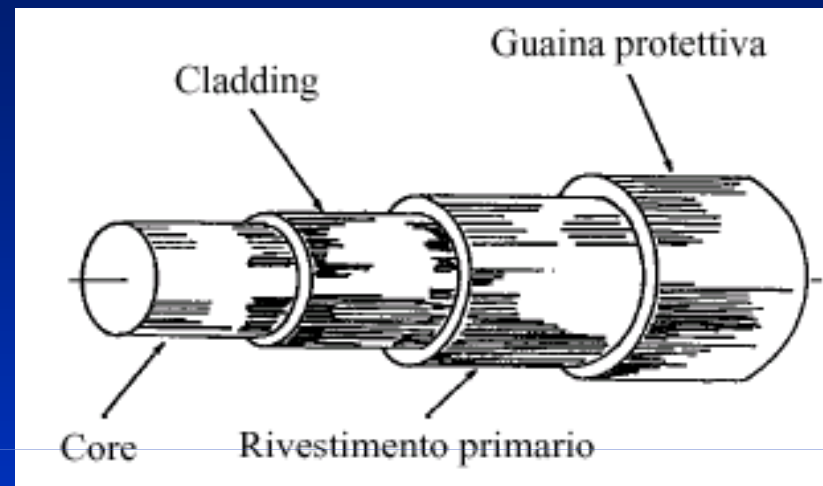
- I due conduttori trasportano lo stesso segnale, ma in controfase.
- L'avvolgimento mira a far subire ad entrambi i conduttori le stesse interferenze elettromagnetiche.



Fibra Ottica

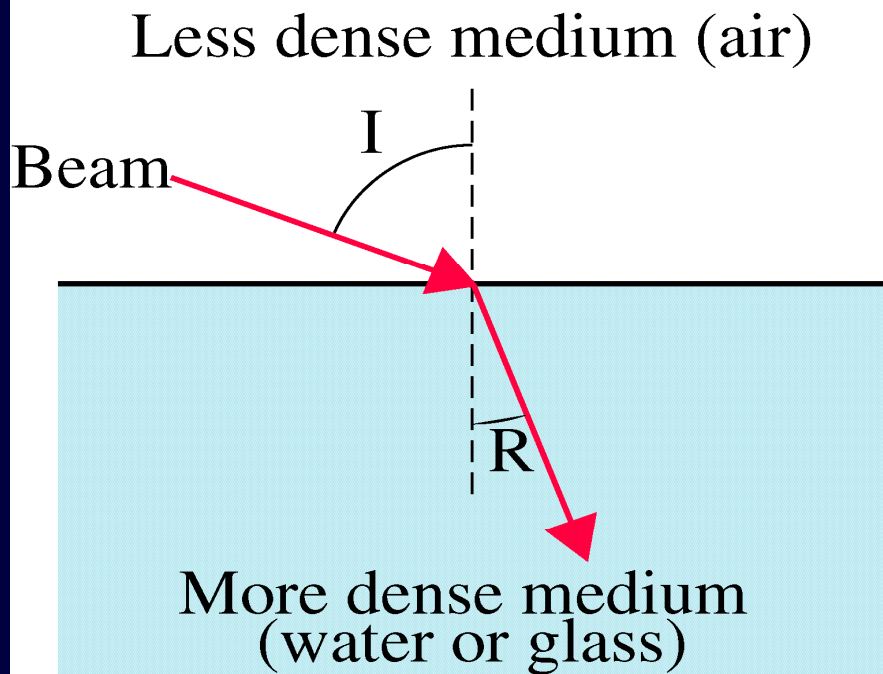
- ❖ I dati sono trasmessi sfruttando onde luminose
- ❖ Nell'ipotesi che le dimensioni della fibra ottica siano confrontabili con la lunghezza d'onda del segnale si possono applicare le leggi dell'ottica geometrica
- ❖ Dalla *Legge di Snell* si ottiene l'angolo critico, per cui si ha riflessione totale:

$$\alpha_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

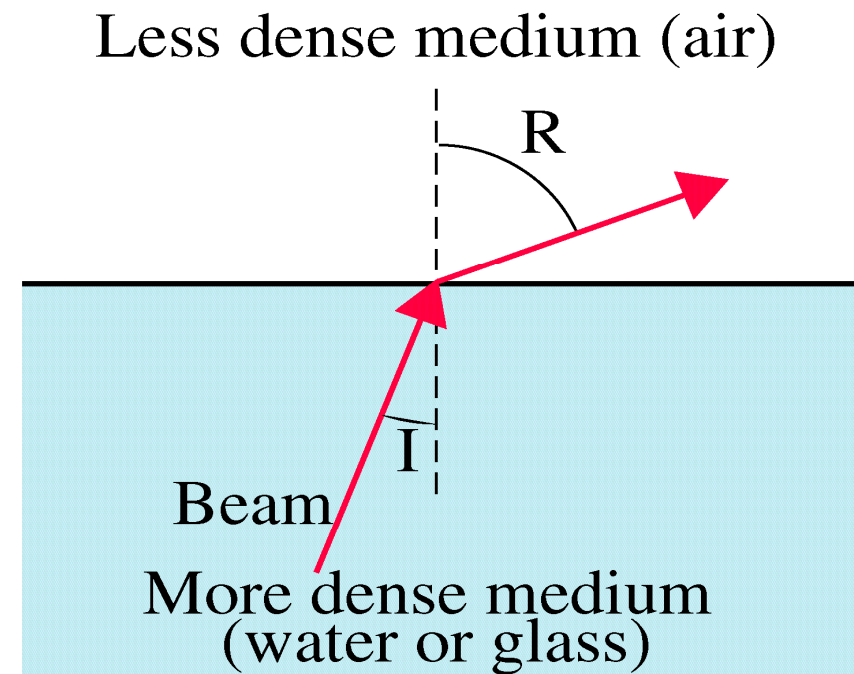




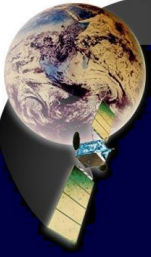
Rifrazione



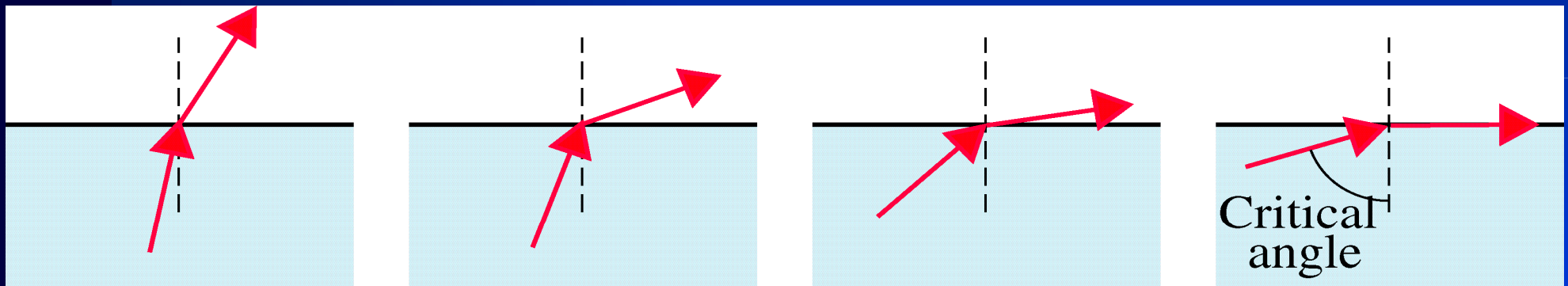
a. From less dense to more dense medium



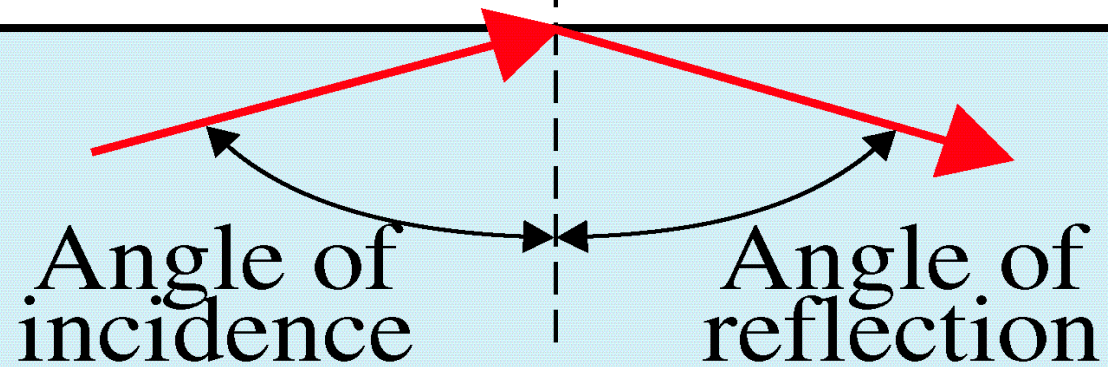
b. From more dense to less dense medium

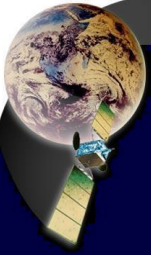


Angolo Critico



Riflessione





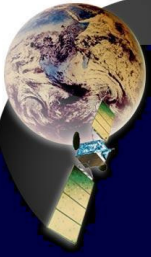
Mode

Multimode

Single mode

Step-index

Graded-index



Fibra Ottica (2)

❖ **Fibre multimodali**

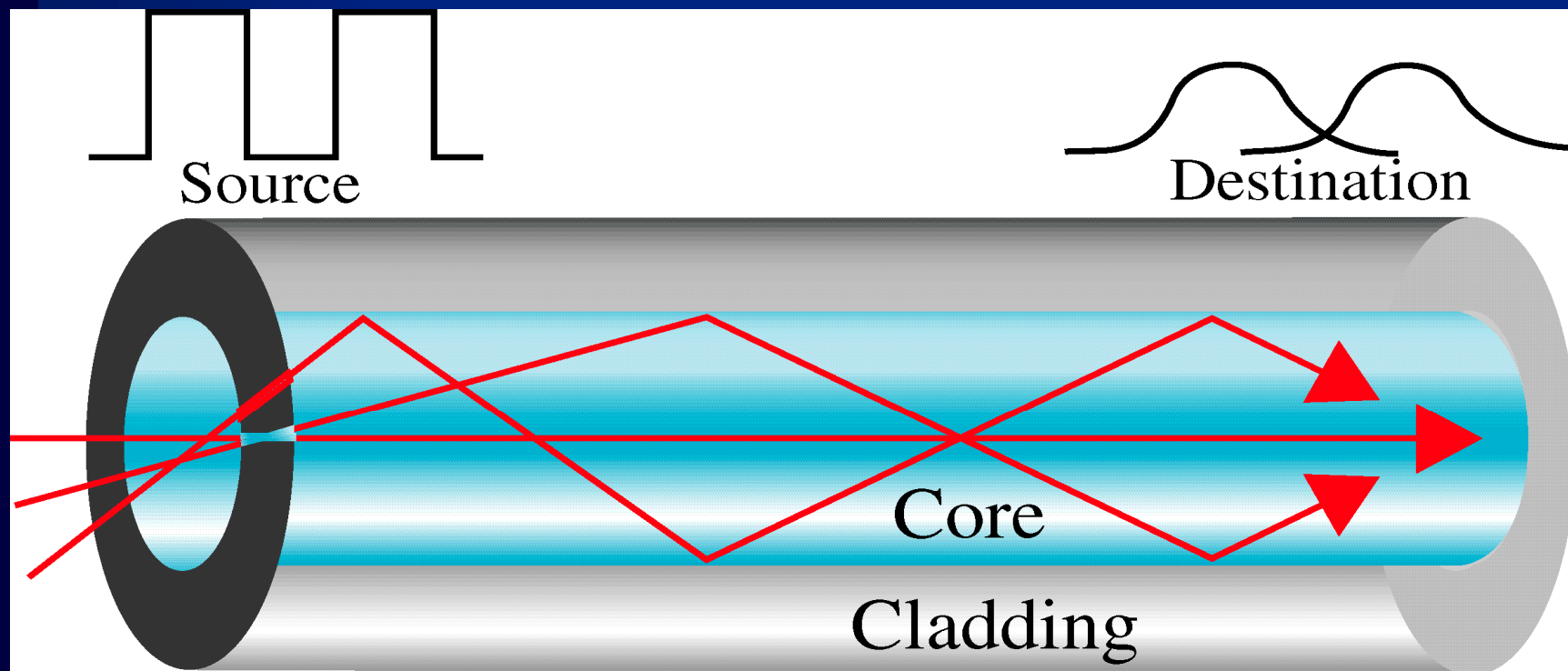
- prestazioni inferiori
- costo più alto
- interfacce relativamente poco costose (200÷400k£ la coppia, in diminuzione)

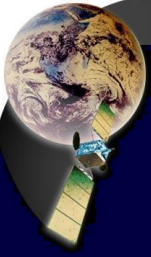
❖ **Fibre monomodali**

- prestazioni più elevate
- costo della fibra più basso
- interfacce più costose (2000÷3000k£ la coppia)
- maggiori difficoltà di connettorizzazione

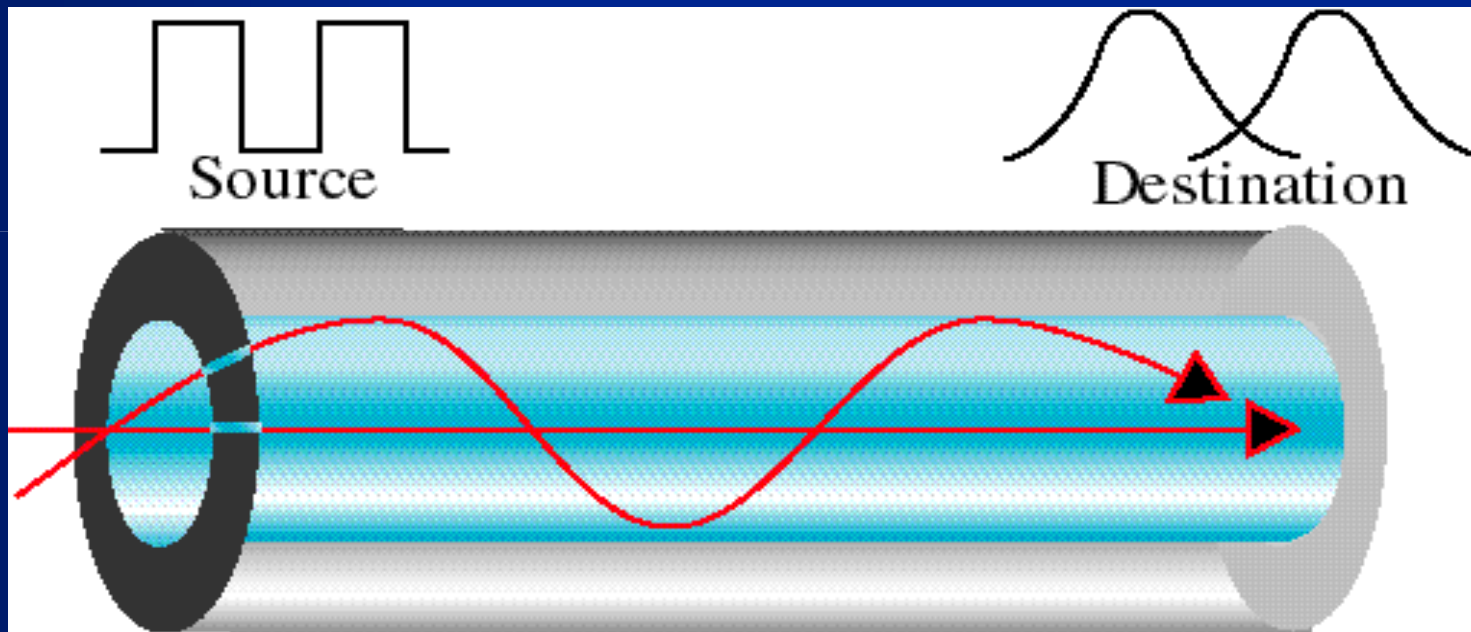


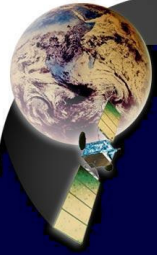
Multimode Step-Index



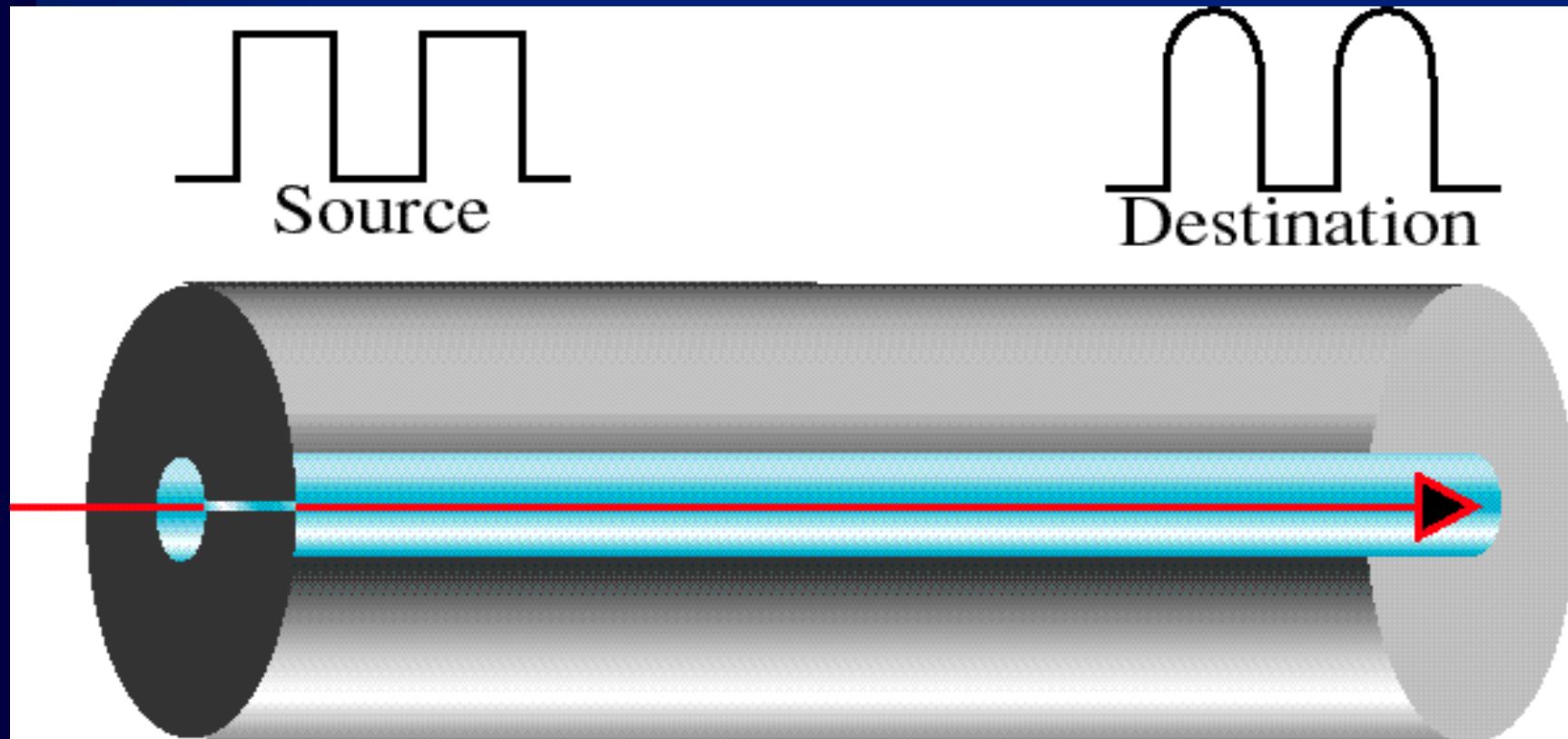


Multimode Graded-Index

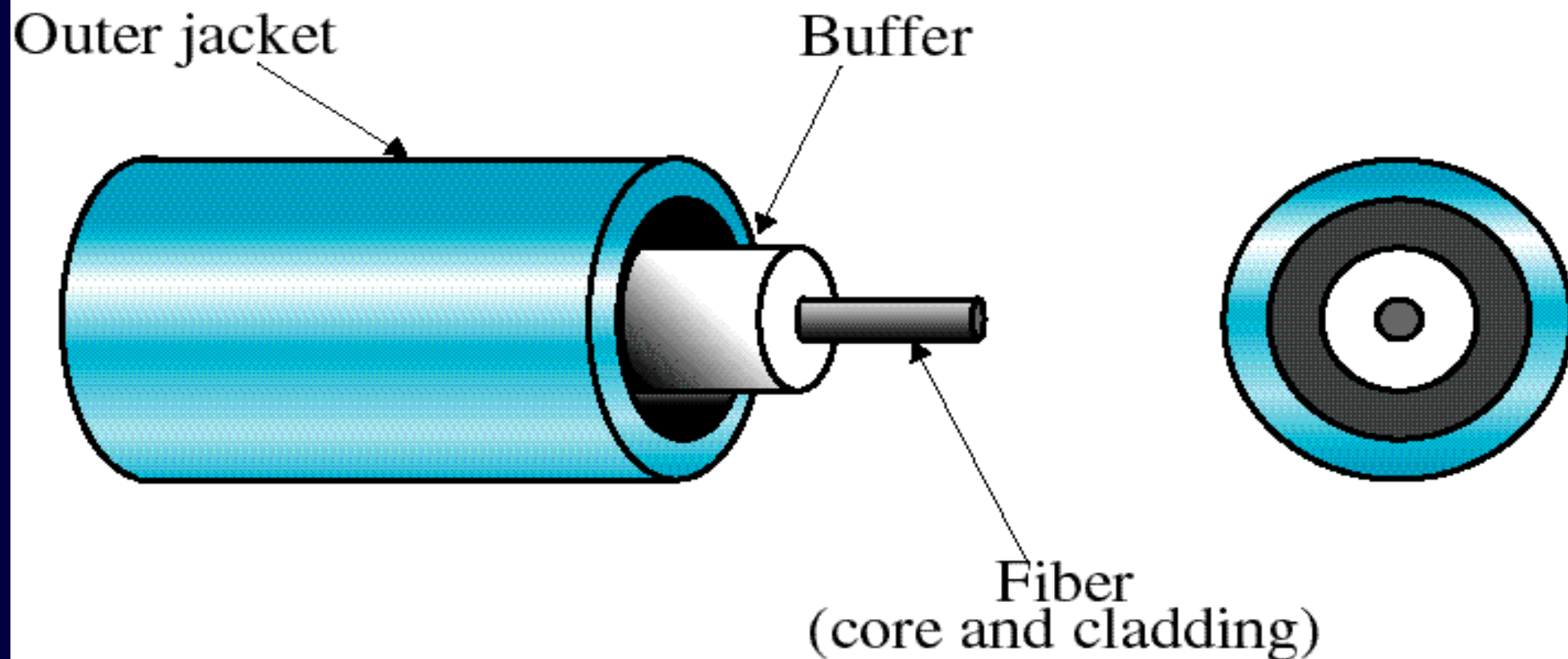


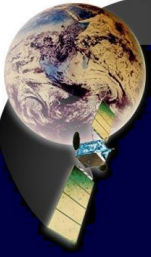


Single Mode



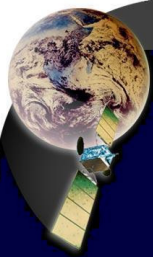
Fiber Construction





Fibra Ottica (3)

- ❖ **Insensibilità al rumore elettromagnetico**
- ❖ **Mancanza di emissioni**
- ❖ **Bassa attenuazione**
- ❖ **Banda passante teoricamente illimitata**
- ❖ **Costo della fibra relativamente basso**
- ❖ **Alto costo per interfacce e connettori**
- ❖ **Campi di impiego:**
 - altissima velocità
 - ambienti con problemi di compatibilità elettromagnetica
 - protezione dalla propagazione delle sovratensioni
 - lunghe distanze di interconnessione



Canale radio

Il segnale viene irradiato nello spazio tra trasmettitore e ricevitore.

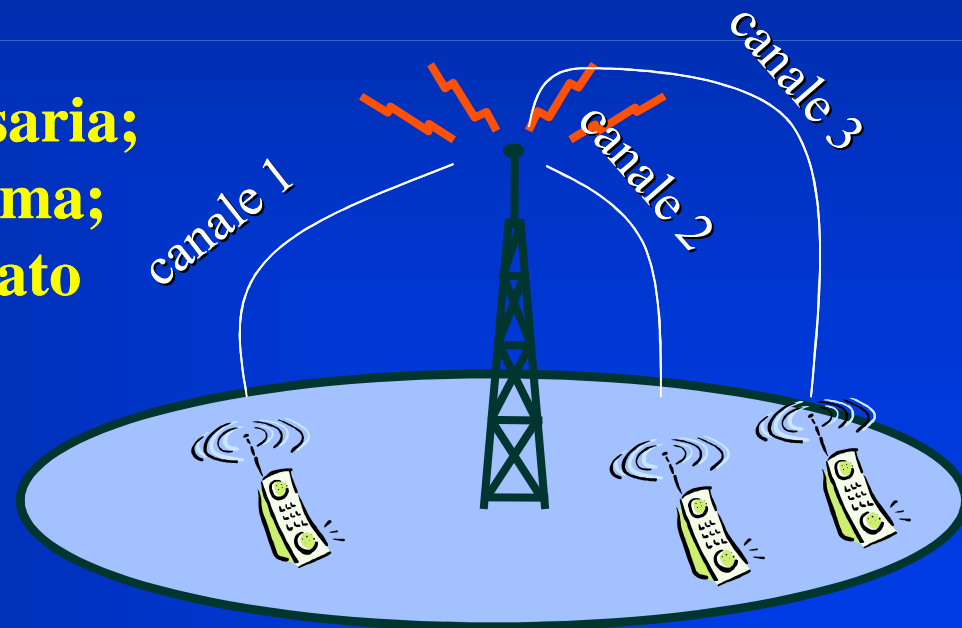
Uso: sistemi radio e satelliti

Cons:

- **line-of-sight spesso necessaria;**
- **qualità dipendente dal clima;**
- **spettro RF limitato, regolato rigidamente e costoso.**

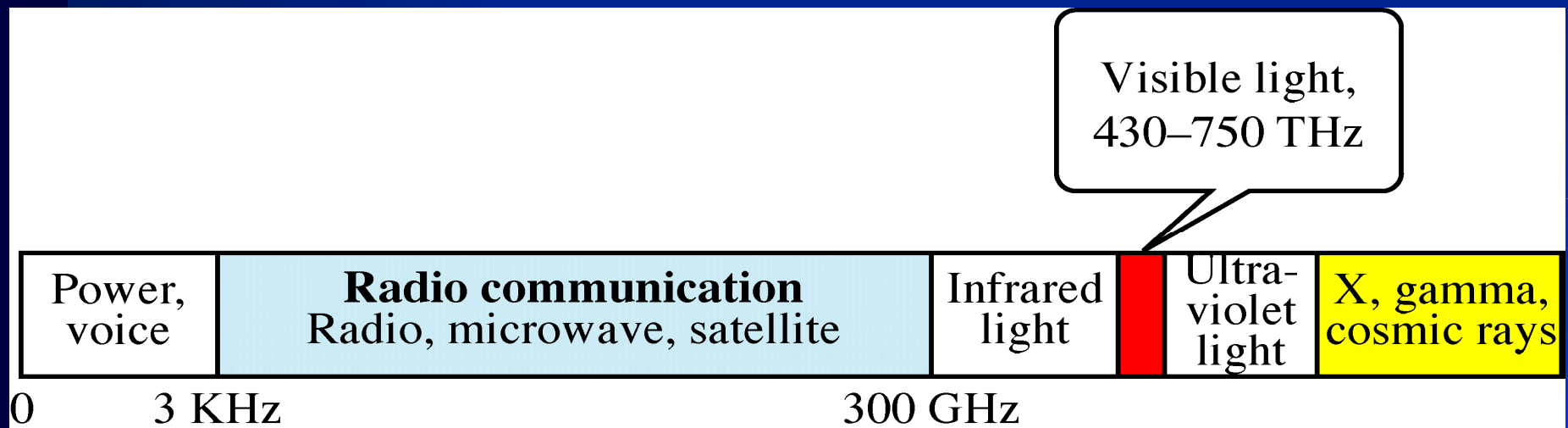
Pro:

- **mancanza di “filo”**
- **facilità di configurazione**
- **mobilità**





Spettro Elettromagnetico





Radio Communication Band

VLF Very low frequency
LF Low frequency
MF Middle frequency
HF High frequency

VHF Very high frequency
UHF Ultra high frequency
SHF Super high frequency
EHF Extremely high frequency

3 KHz

300 GHz

Radio communication
Radio, microwave, satellite

VLF

LF

MF

HF

VHF

UHF

SHF

EHF

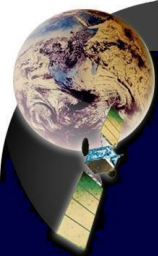
Surface

Tropo-
spheric

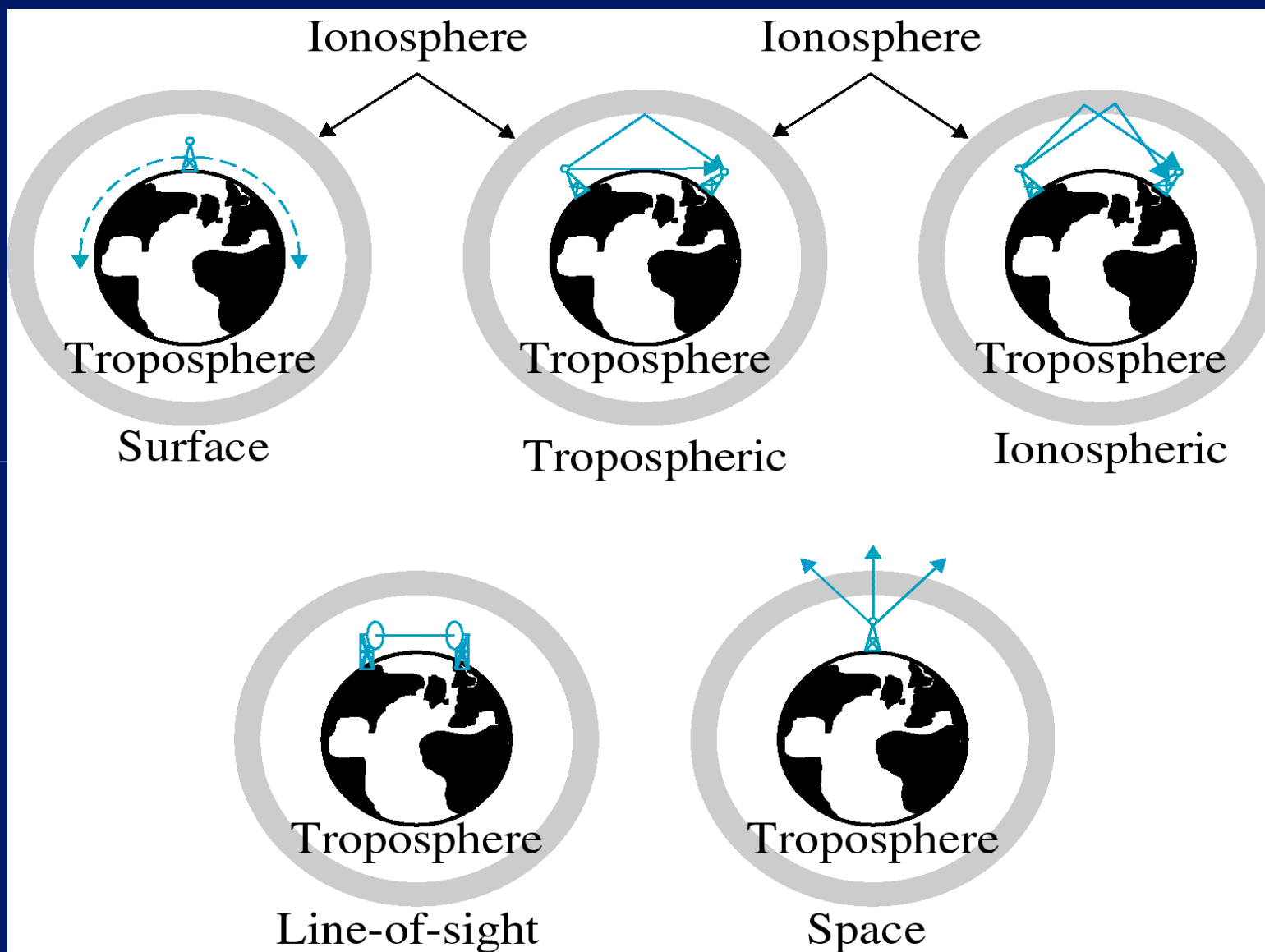
Iono-
spheric

line-of-
sight

Space



Propagation Types



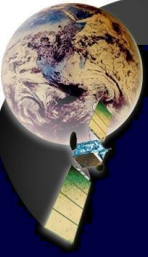


VLF

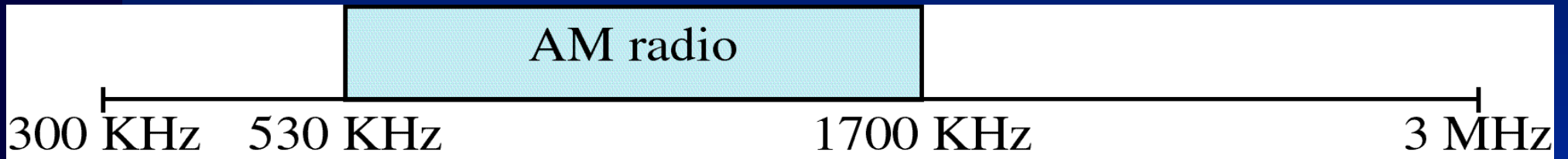


LF





MF

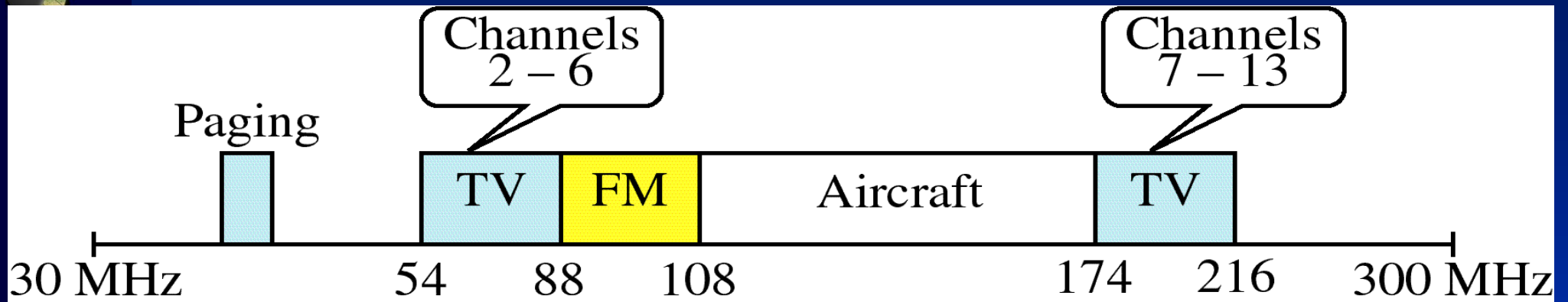


HF

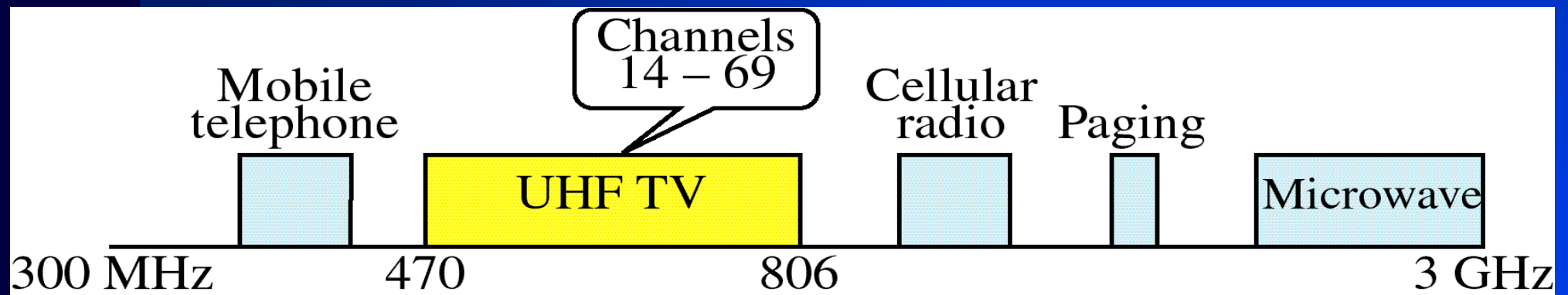


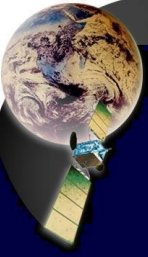


VHF



UHF





SHF

Microwave

3 GHz

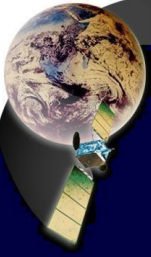
30 GHz

EHF

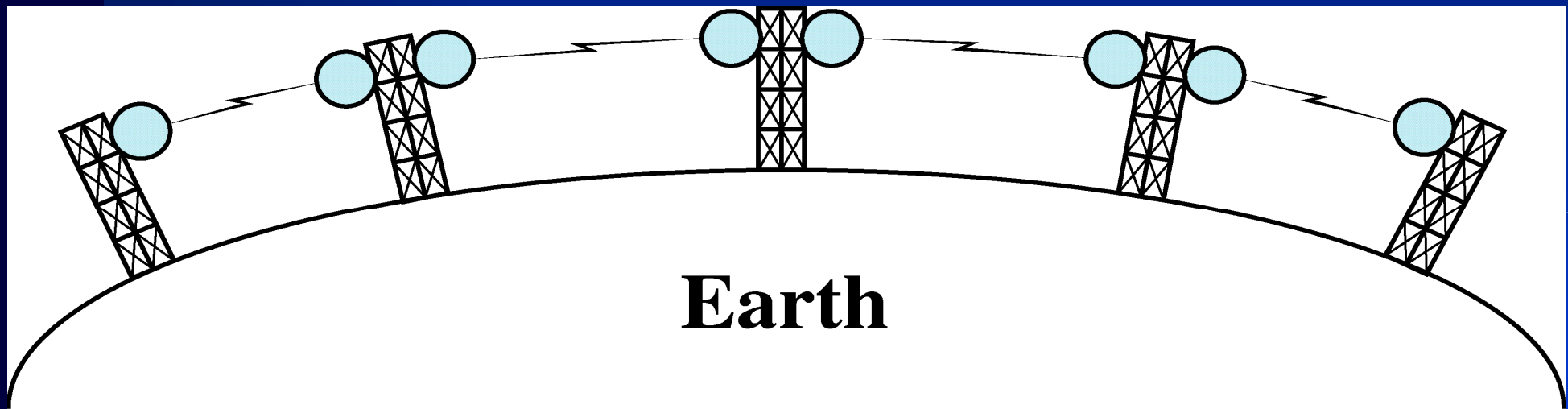
Microwave

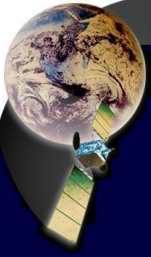
30 GHz

300 GHz

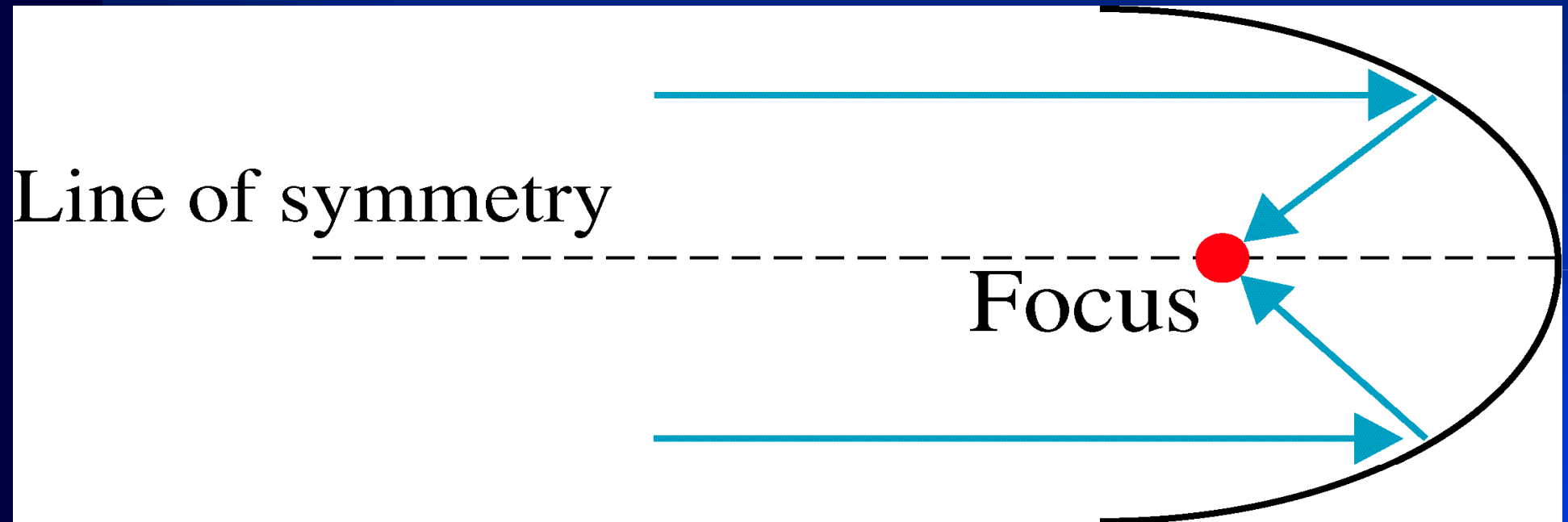


Terrestrial Microwave



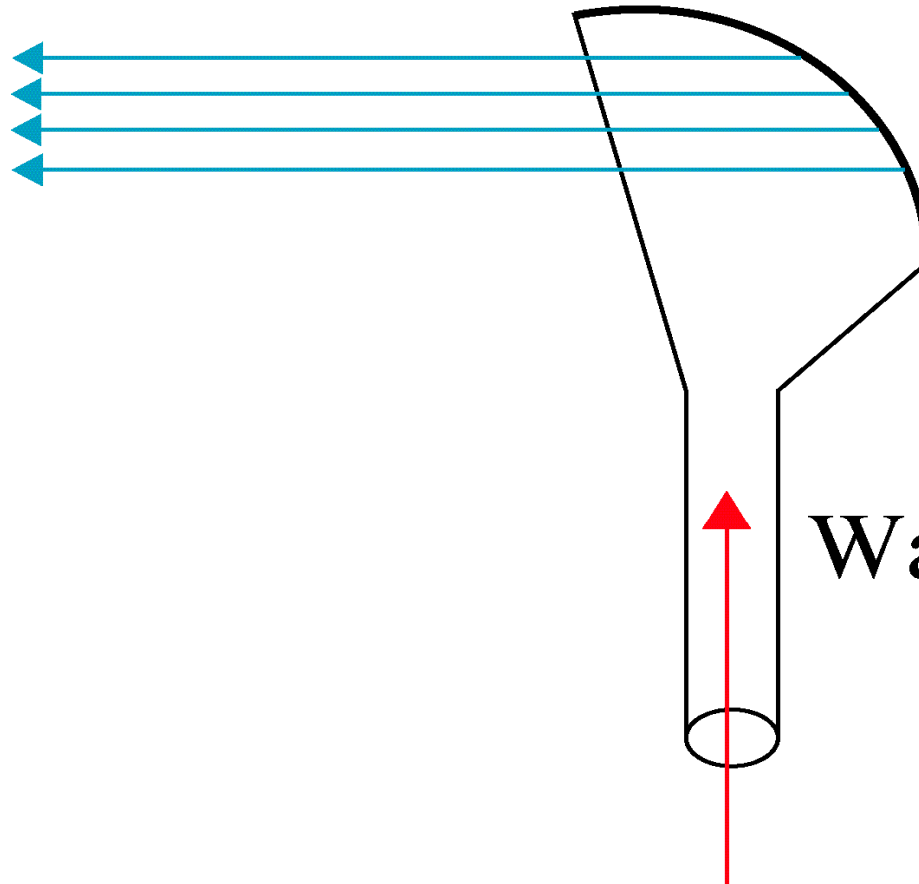


Parabolic Dish Antenna

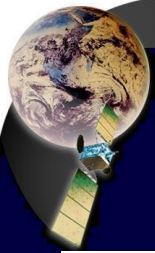


Horn Antenna

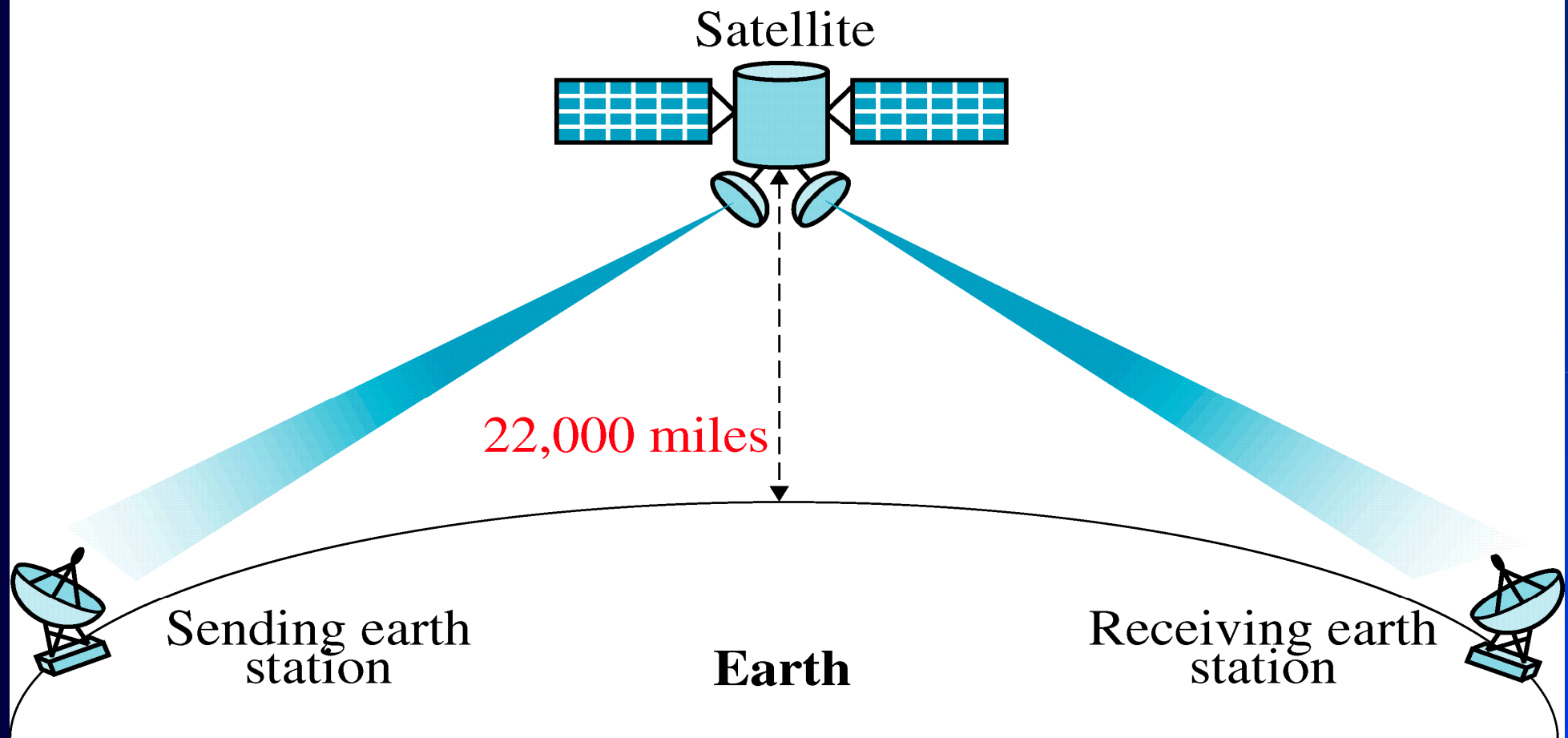
Narrow beam of
microwave
transmission



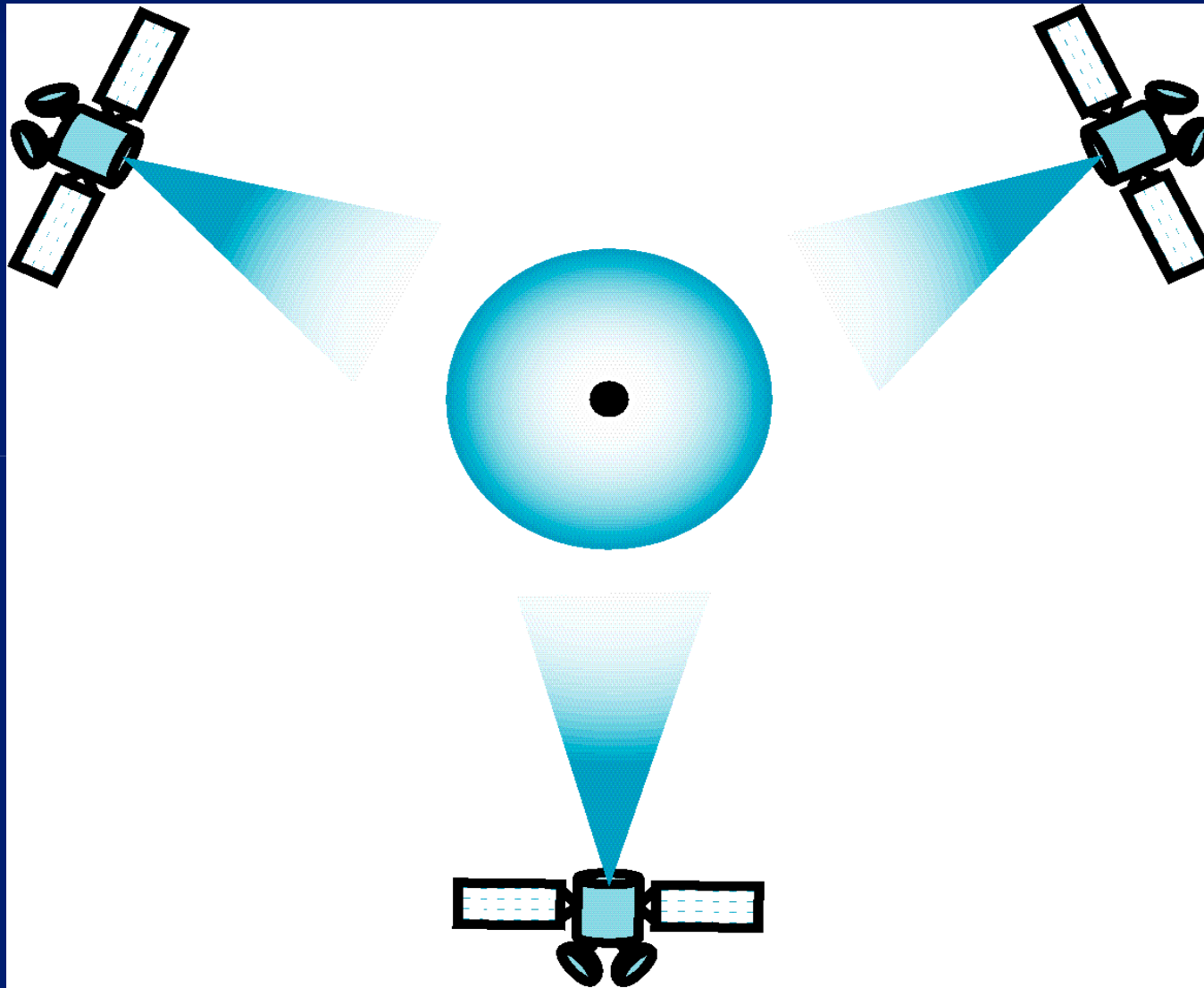
Wave guide

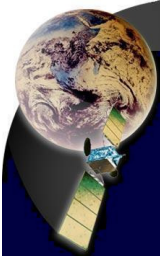


Satellite Communication

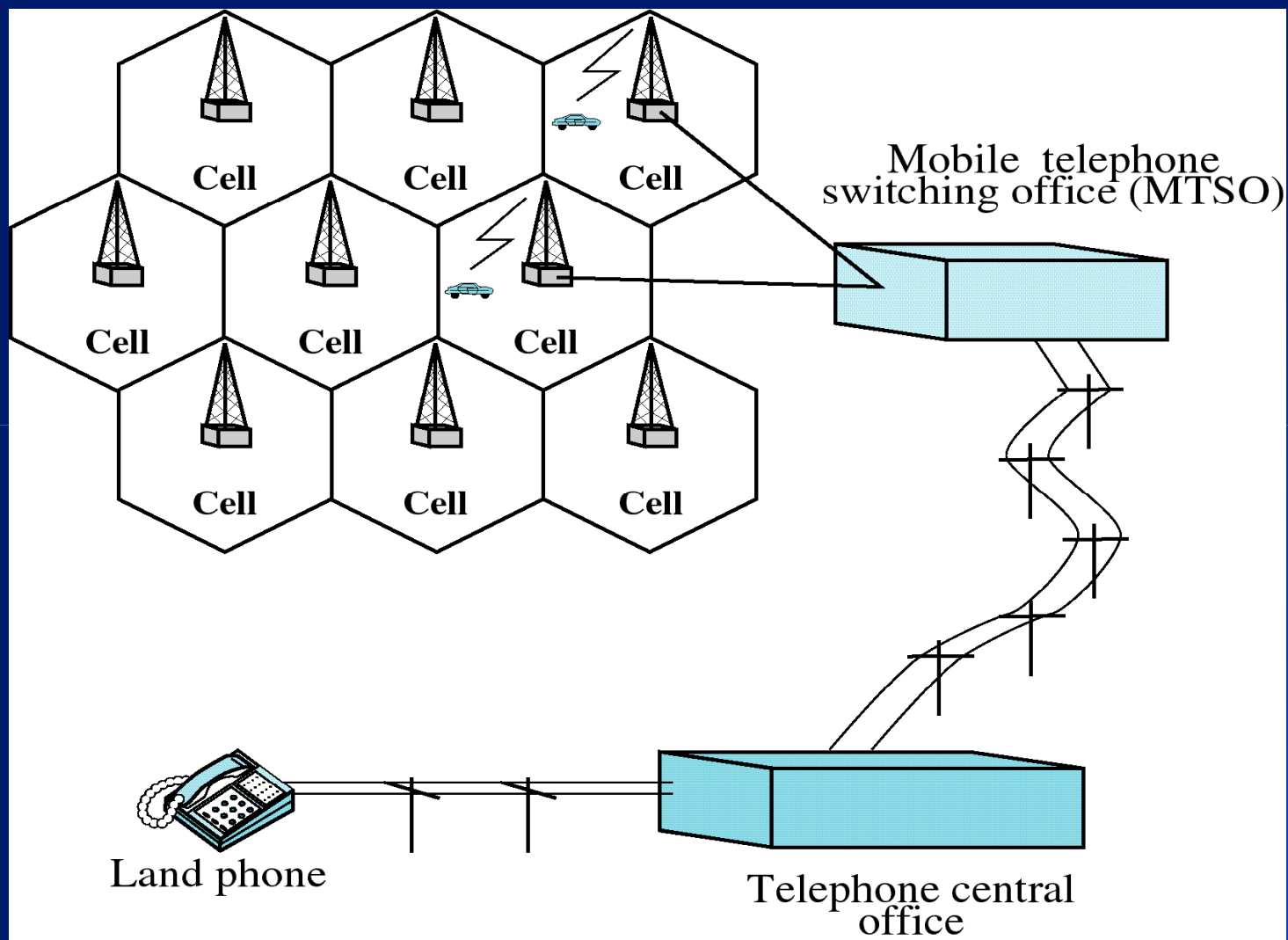


Geosynchronous Orbit



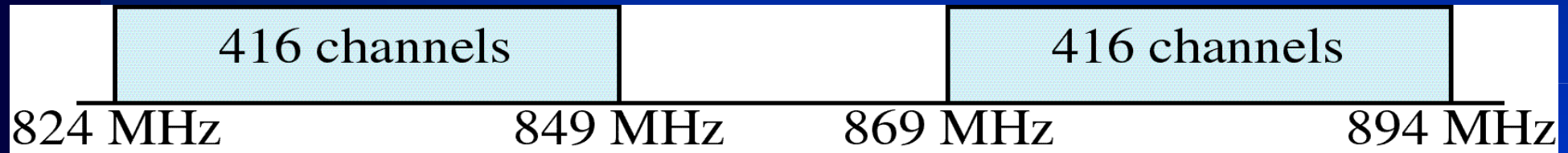


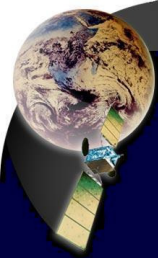
Cellular System





Cellular Bands





Canali punto-punto

- ❖ **collegamenti permanenti tra un trasmettitore ed un ricevitore**
 - onde guidate (linee, cavi, fibre ottiche), onde irradiate (ponti radio punto-punto, fasci laser, ecc.).
- ❖ **il ricevitore può essere ottimizzato sulla base dell'unico segnale da ricevere**



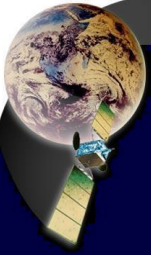


Canali punto-punto

❖ Possono essere:

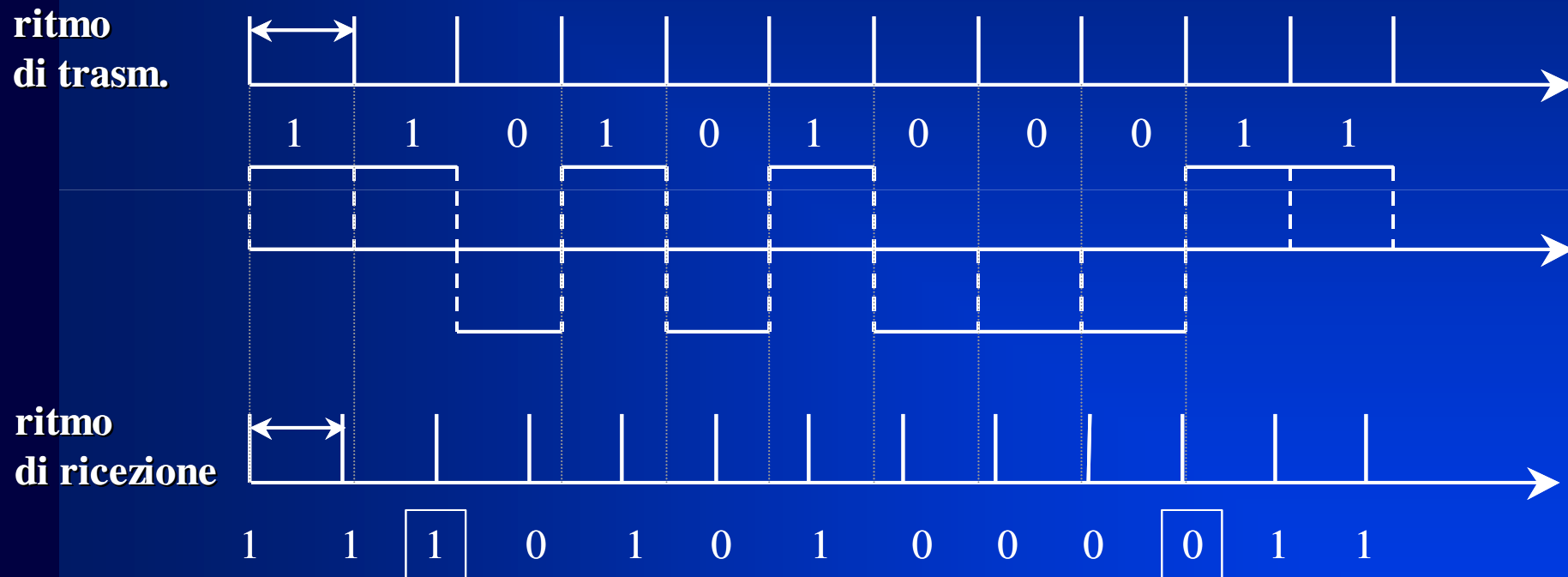
- **Simplex**: un nodo è sempre mittente e l'altro sempre destinatario \Rightarrow non serve un protocollo di accesso al mezzo
- **Half-duplex**: i nodi possono comunicare in entrambe le direzioni ma non contemporaneamente \Rightarrow serve un protocollo di accesso
- **Full-duplex**: è formato dall'unione di 2 canali simplex \Rightarrow non serve un protocollo di accesso



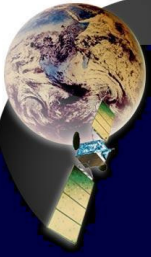


Cenno sul sincronismo

❖ se gli orologi non sono allineati:



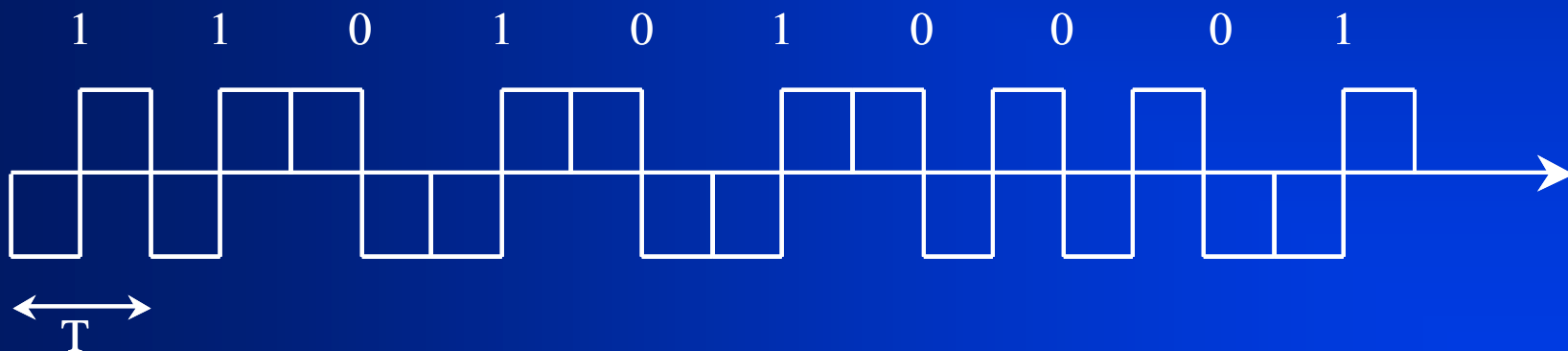
il trasmettitore genera i bit e li trasmette sul canale secondo il ritmo ricavato dal proprio orologio interno.



Metodi per garantire il sincronismo

❖ **sincronismo continuo:**

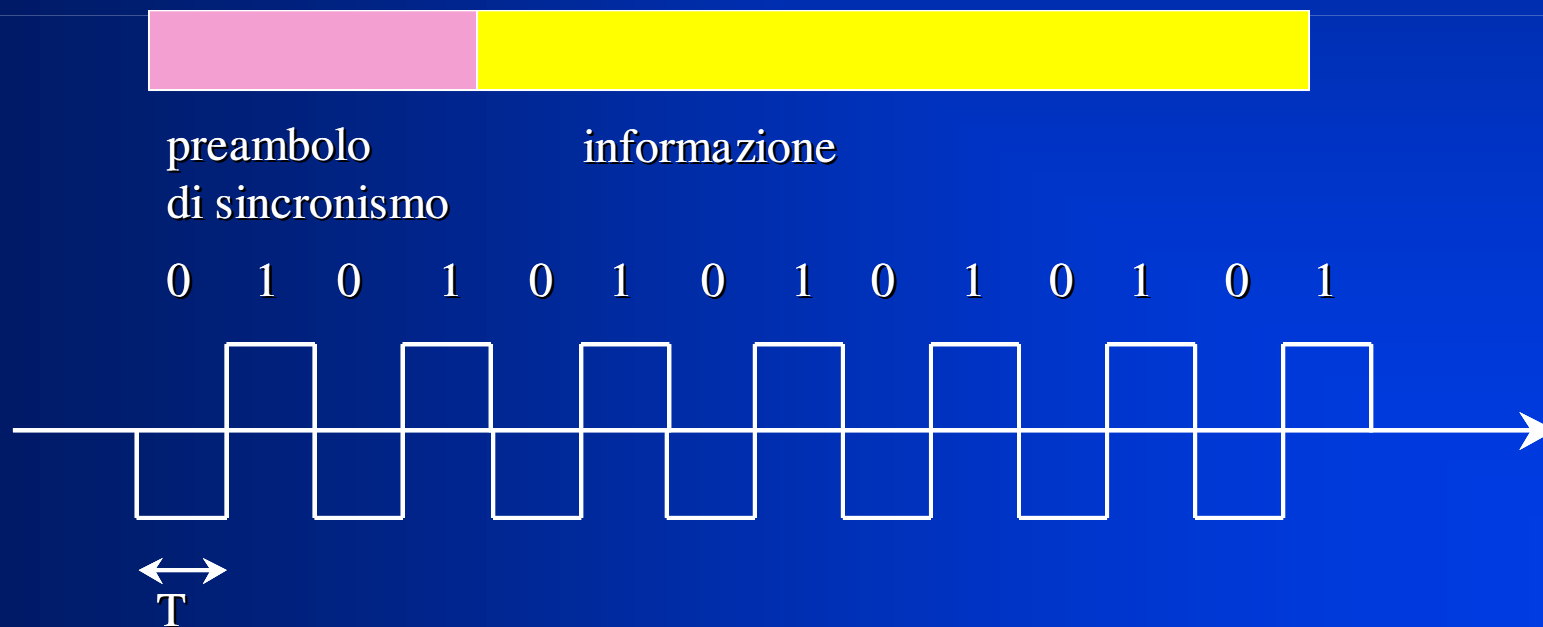
- grazie a della ridondanza della codifica è possibile derivare direttamente l'informazione di sincronismo:

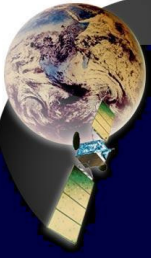




Sincronismo mediante preambolo

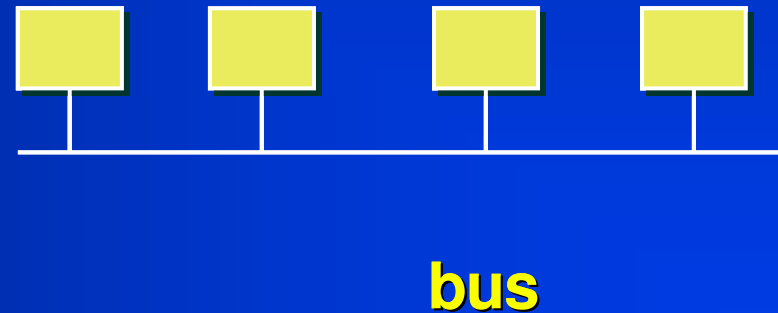
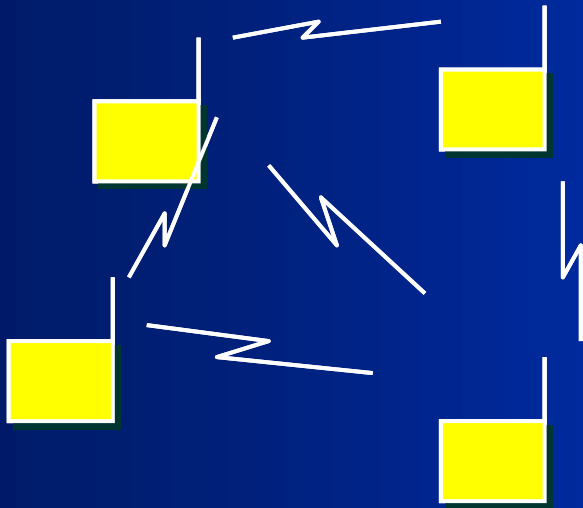
- ❖ prima della trasmissione vera e propria si trasmette un preambolo di sincronismo che consente al ricevitore di agganciarsi

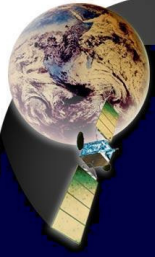




Canali broadcast

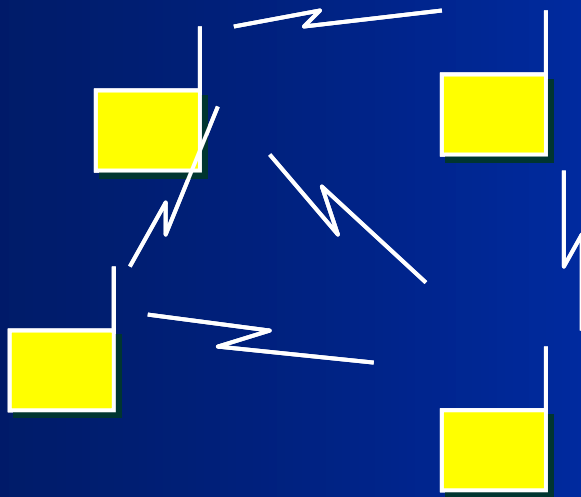
- ❖ sono canali nei quali più stazioni possono accedere in parallelo
- ❖ il segnale emesso da una stazione raggiunge tutte le altre

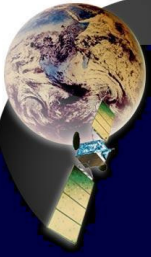




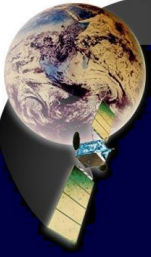
Canali broadcast

- ❖ Il ricevitore riceve più segnali diversi in livello di potenza e sincronismo e deve essere in grado di adattarsi
- ❖ le trasmissioni sono sempre precedute da un preambolo di sincronismo
- ❖ esempi: reti locali Ethernet, sistemi cellulari





Modi di trasferimento nelle Reti di Telecomunicazione



Condivisione di una linea di giunzione tra diversi flussi di informazione in una rete di TLC

Multiplexazione

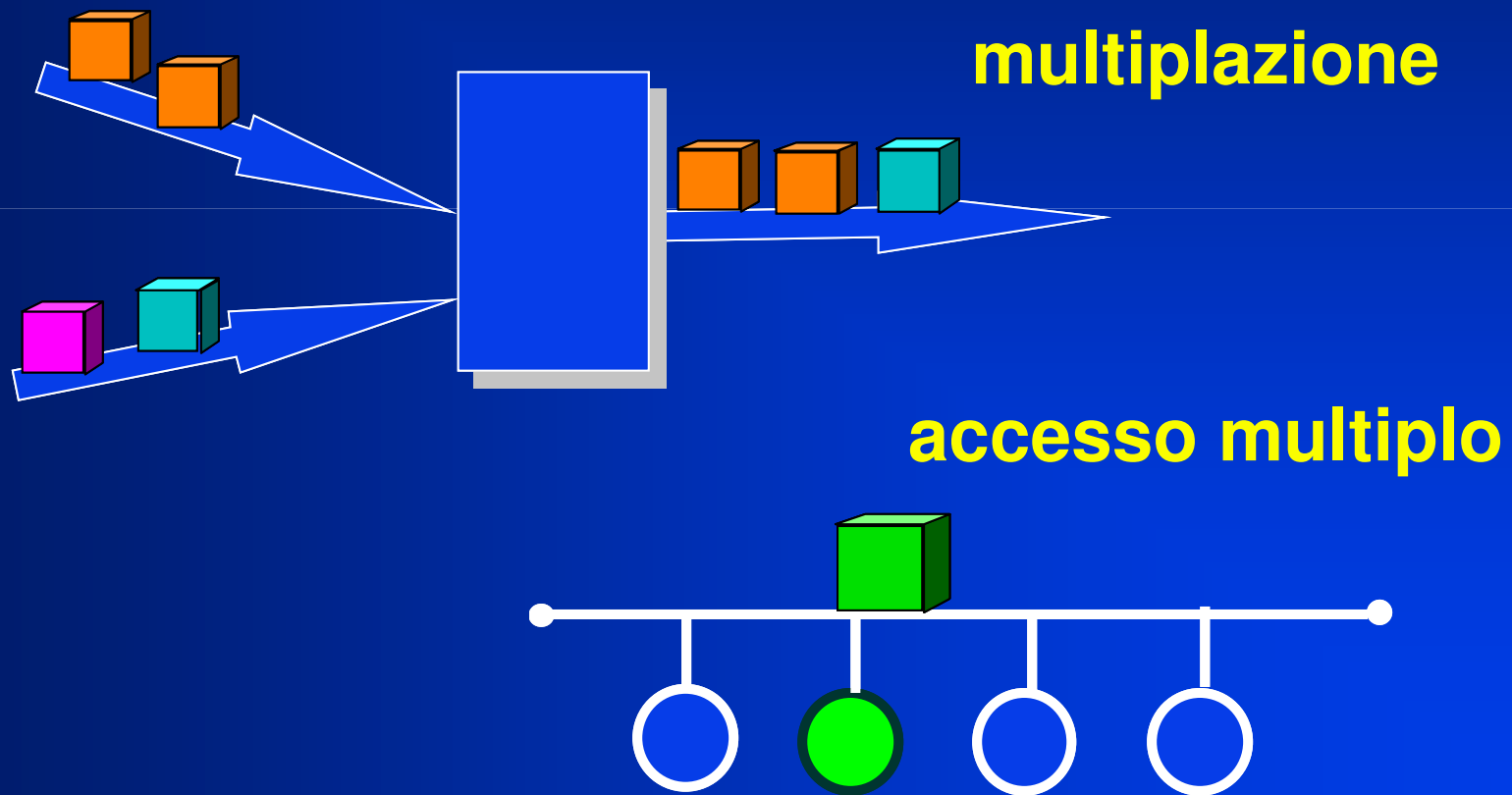
se tutti i flussi sono disponibili in un unico punto

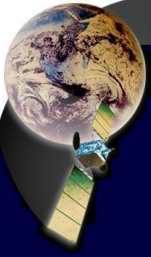
Accesso multiplo

se i flussi accedono al canale da punti differenti



Traffico a pacchetto





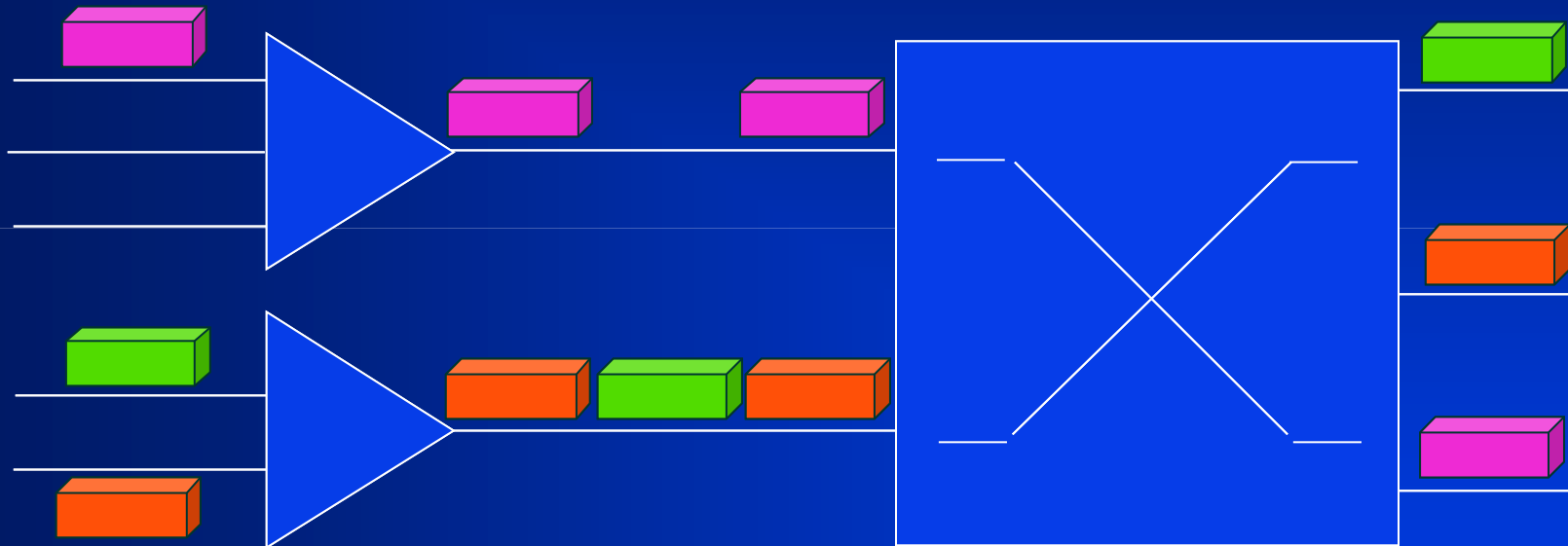
Condivisione di risorse

multiplazione = problema concentrato

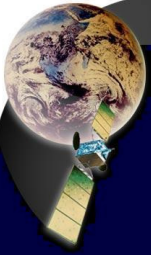
accesso multiplo = problema distribuito



Multiplazione e Commutazione







Multiplazione ed accesso multiplo

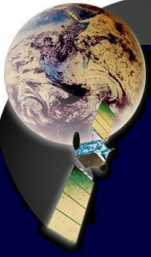
Per eseguire queste funzioni possiamo utilizzare

Frequenza **(FDM - FDMA)**

Tempo **(TDM - TDMA)**

Codice **(CDM - CDMA)**

Spazio



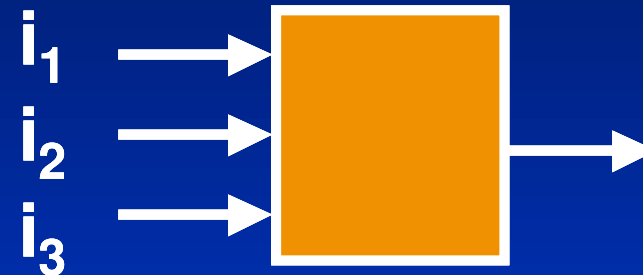
Multiplicazione

- ❖ FDM: Multiplicazione a divisione di frequenza
- ❖ TDM: Multiplicazione a divisione di tempo
- ❖ CDM: Multiplicazione a divisione di codice
- ❖ WDM: Multiplicazione a divisione di lunghezza d'onda



MULTIPLAZIONE

Divisione di:



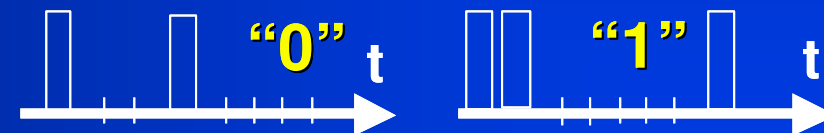
- Tempo (TDM)



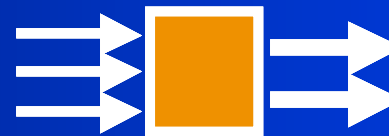
- Frequenza (FDM)



- Codice (CDM)

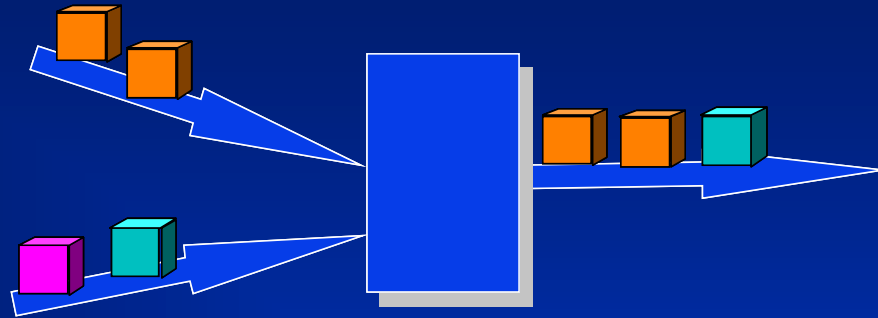


- Spazio

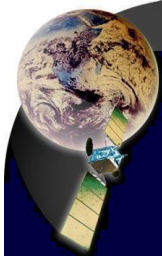




Multiplazione



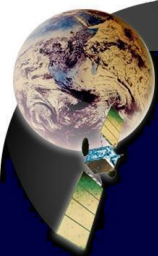
- ❖ Insieme di tecniche attraverso le quali un sistema di TLC è in grado di offrire un servizio di TLC ad N flussi contemporanei e distinti conservando la possibilità di discriminarli all'uscita del sistema
- ❖ Multiplazione fisica: N flussi distinti vengono convogliati e trasportati sullo stesso canale fisico senza che questi possano interferire



Multiplicazione

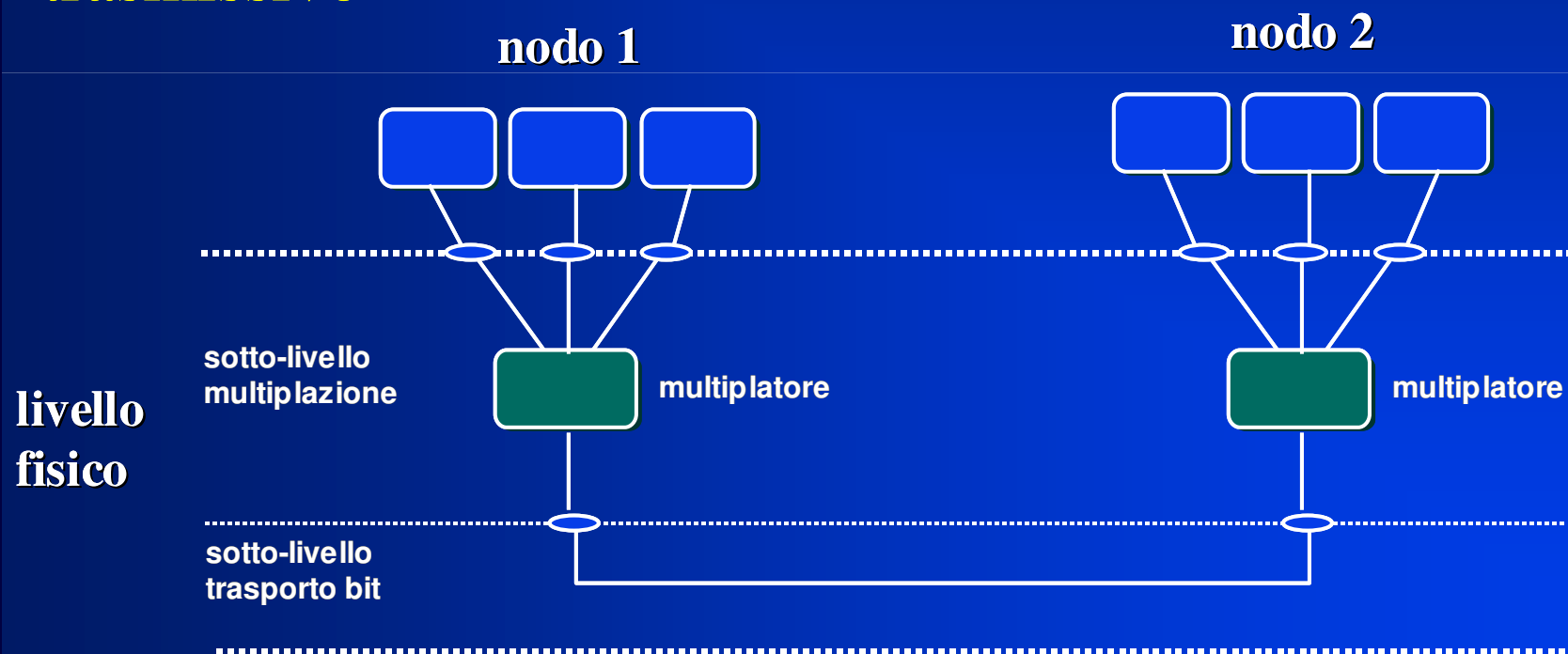
- ❖ La capacità dei mezzi trasmissivi fisici può essere divisa per ottenere più canali di velocità più bassa
- ❖ Da un canale fisico vengono realizzati N sottocanali di trasmissione separati tra loro

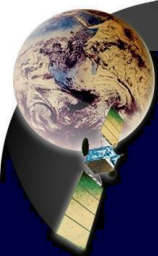




La moltiplicazione fisica

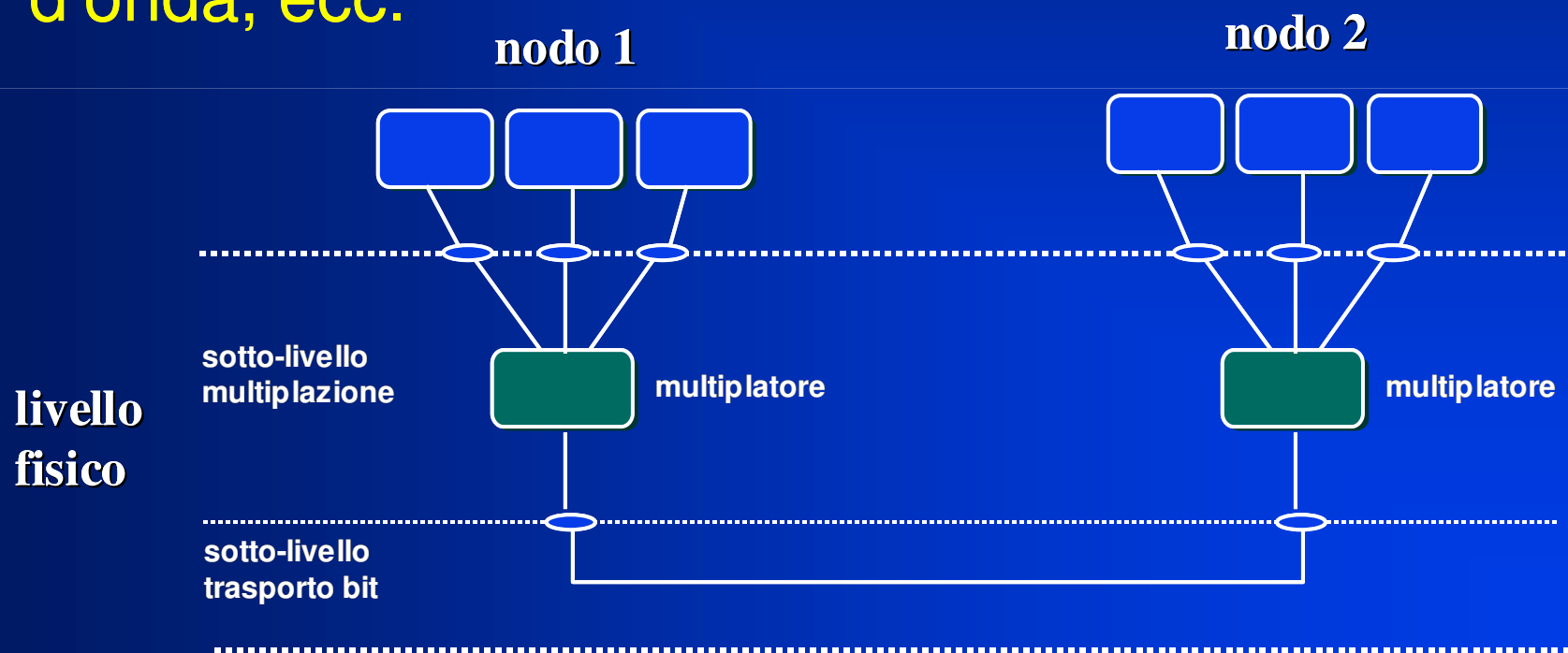
- ❖ La moltiplicazione a livello fisico è la tecnica con cui più PDU a livello fisico (bit, byte, pacchetti) provenienti da diversi SAP, possono utilizzare un unico supporto trasmissivo





La multiplazione fisica

- ❖ la distinzione tra le PDU provenienti dai diversi SAP avviene solo sulla base di parametri del livello fisico come frequenza, tempo, codice, lunghezza d'onda, ecc.



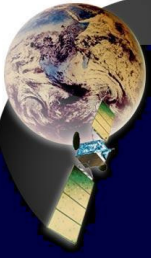


Multiplicazione di frequenza (FDM - FDMA)

**La separazione tra i flussi è ottenuta usando
bande di frequenza diverse**

Servono bande di guardia



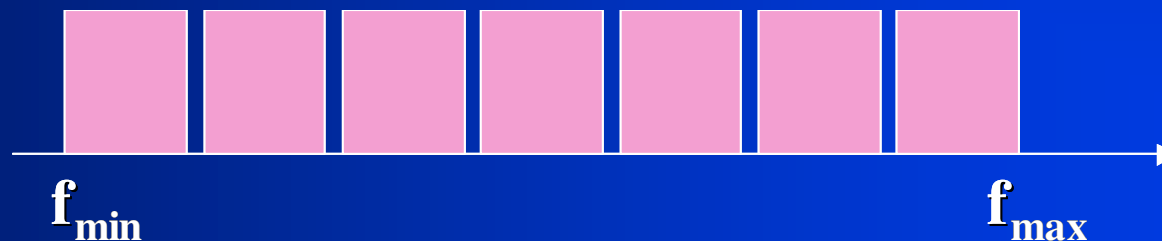


FDM (Frequency Division Multiplexing)

- ❖ Il mezzo trasmissivo può essere caratterizzato da una banda di frequenze utilizzabili



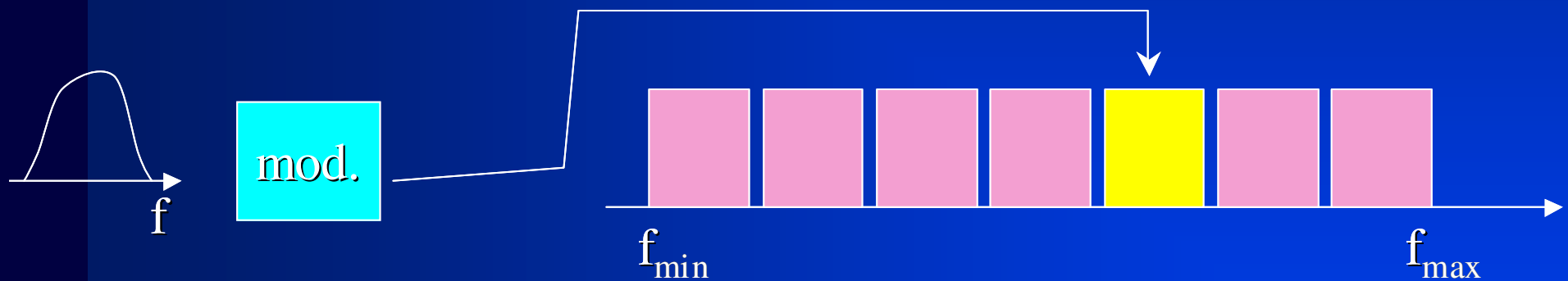
- ❖ la banda complessiva può essere divisa in sotto-bande cui associare un canale





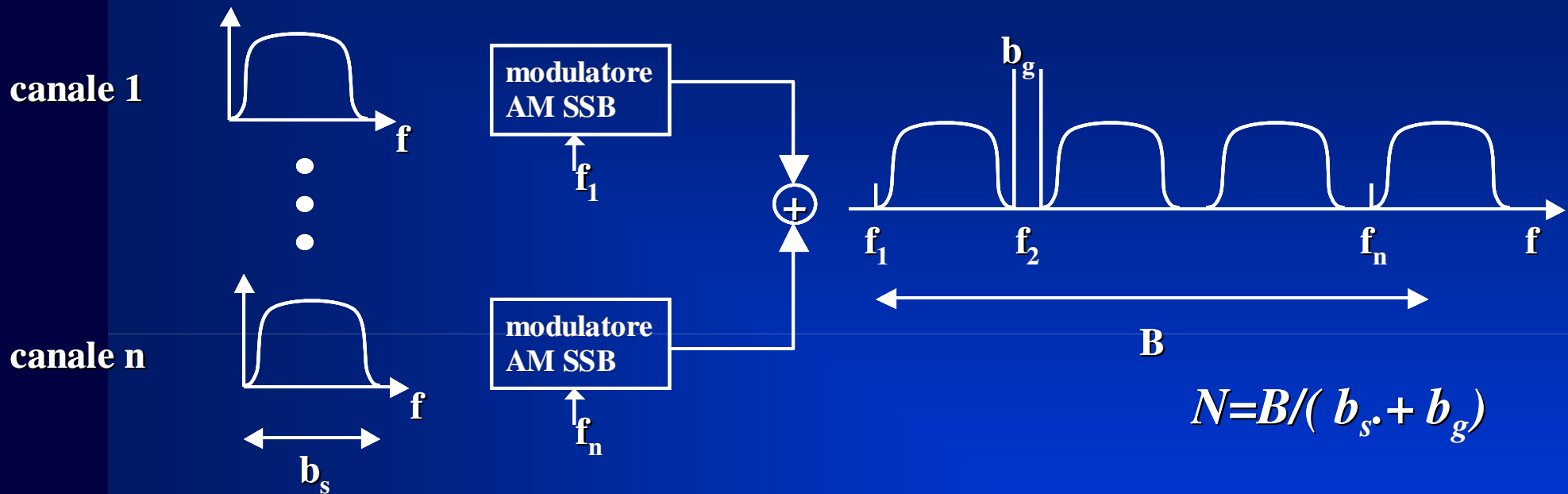
FDM

- ❖ il segnale relativo ad un canale viene trattato mediante tecniche di modulazione in modo da associarlo a ciascuna sotto banda

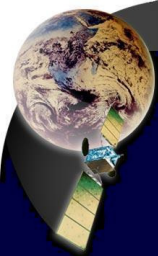




FDM



Il numero N di canali che si possono ottenere su un mezzo trasmissivo dipende dalla banda del mezzo B e da quella necessaria ad ogni singolo canale b_s . E' necessario utilizzare delle bande di guardia b_g per controllare l'interferenza da canale adiacente.



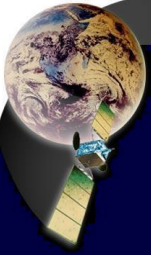
FDM telefonico

- ❖ in passato l'FDM veniva come tecnica di multiplazione dei canali vocali tra centrali telefoniche
- ❖ banda segnale vocale: circa 4 kHz



- ❖ multiplazione di 12 canali da 4 kHz su una banda di 48 kHz
- ❖ multiplazione successiva del segnale multiplo di 48 kHz con altri segnali multipli (multiplazione a livelli gerarchici)

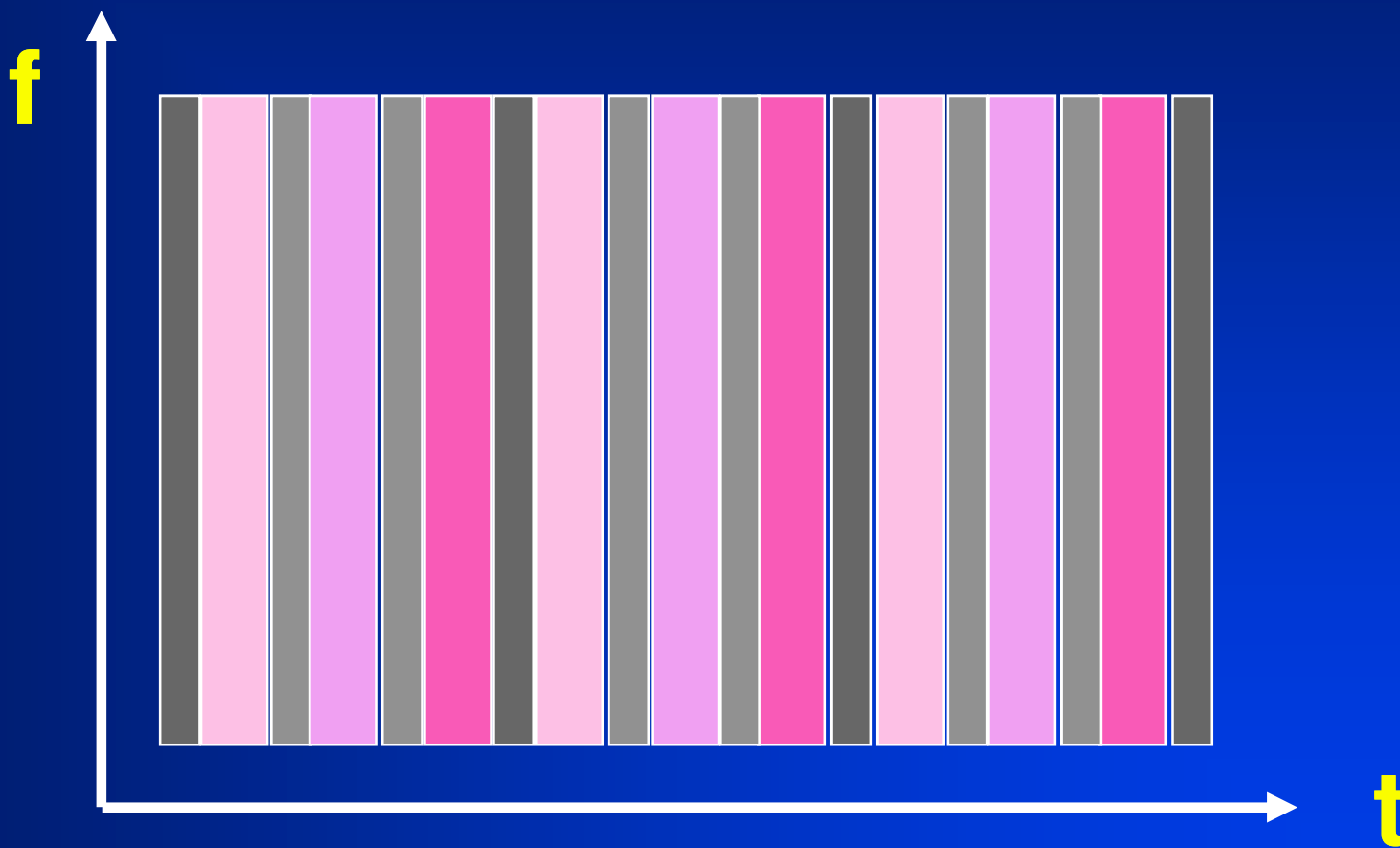
Questa tecnica nelle reti telefoniche odierne non è più in uso, sostituita dalla tecnica TDM numerica.



Multiplicazione di tempo (TDM - TDMA)

La separazione tra i flussi è ottenuta usando intervalli di tempo diversi

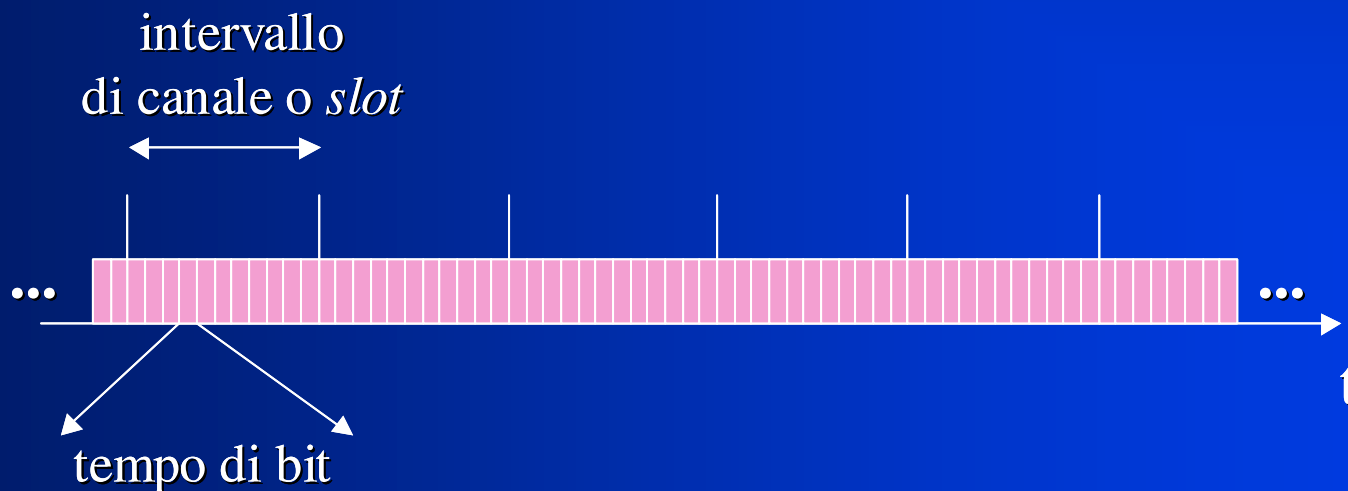
Servono trame temporali che si ripetono
Servono tempi di guardia (TDMA)

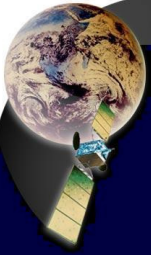




TDM (Time Division Multiplexing)

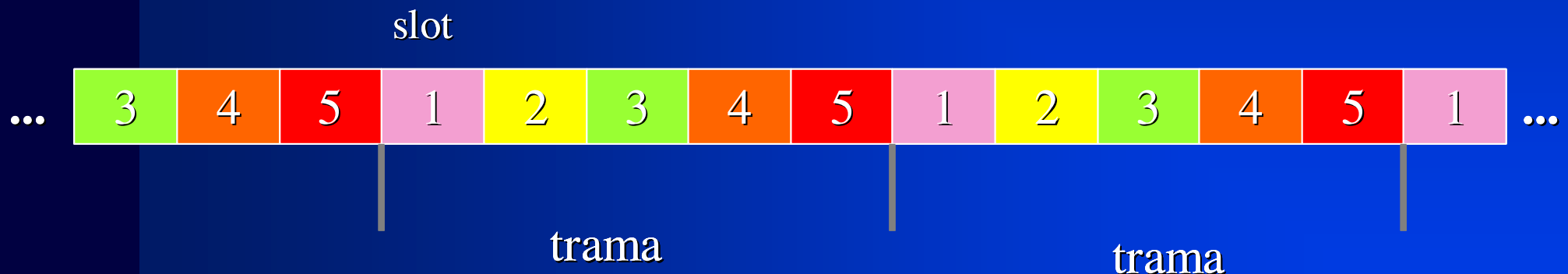
- ❖ Consiste nel suddividere il tempo di trasmissione in più intervalli temporali ciclici, detti *intervalli di canale o slot*, raggruppati in *trame*.
- ❖ In ciascuna trama, ogni slot è dedicato, in modo esclusivo, ad una comunicazione, ovvero ad un canale.

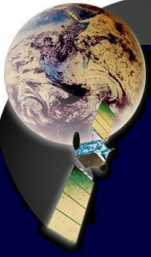




TDM

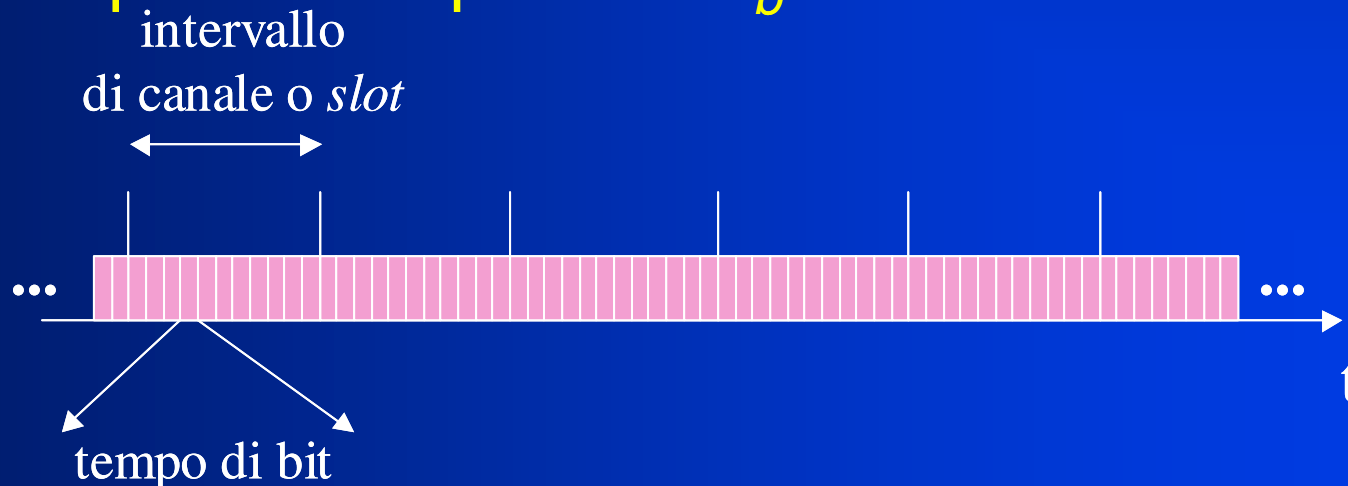
- ❖ Un canale può usare un intervallo di canale (*slot*) ogni N
- ❖ si definisce una struttura a *trame* consecutive costituite da N slot consecutivi
- ❖ se si numerano ciclicamente gli slot delle trame, un canale è associato a un numero di slot

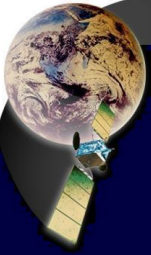




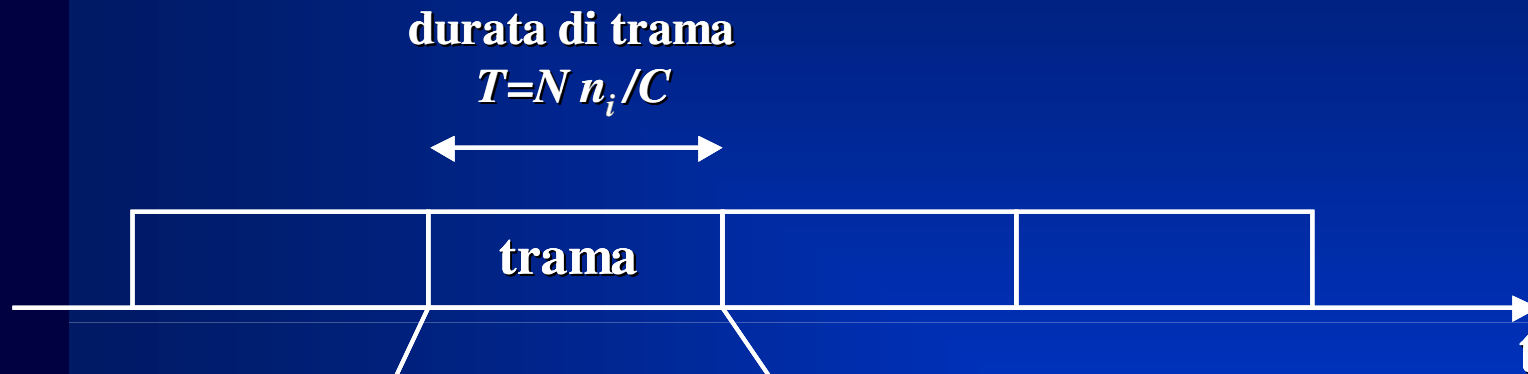
TDM

- ❖ E' una tecnica usata per segnali digitali
 - in linea di principio è utilizzabile anche per segnali analogici campionati
- ❖ Dato un canale numerico a velocità C (bit/s) si costruiscono intervalli di tempo di canale costituiti da multipli del tempo di bit $t_b = 1/C$





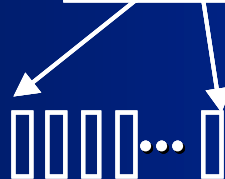
TDM



intervallo
di canale

numero di intervalli

N



numero di bit: n_i

durata interv.: $T_i = n_i / C$

velocità di ciascun canale
 $c = C / N$ (bit/s)



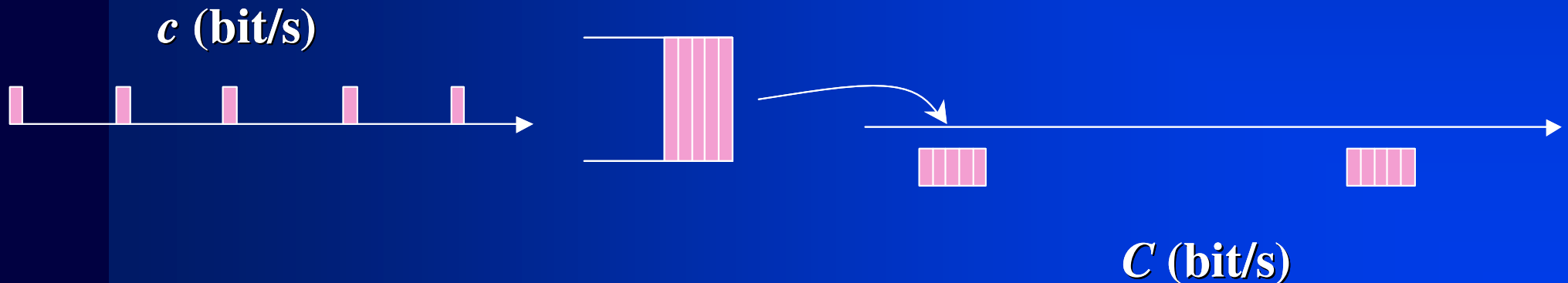
TDM

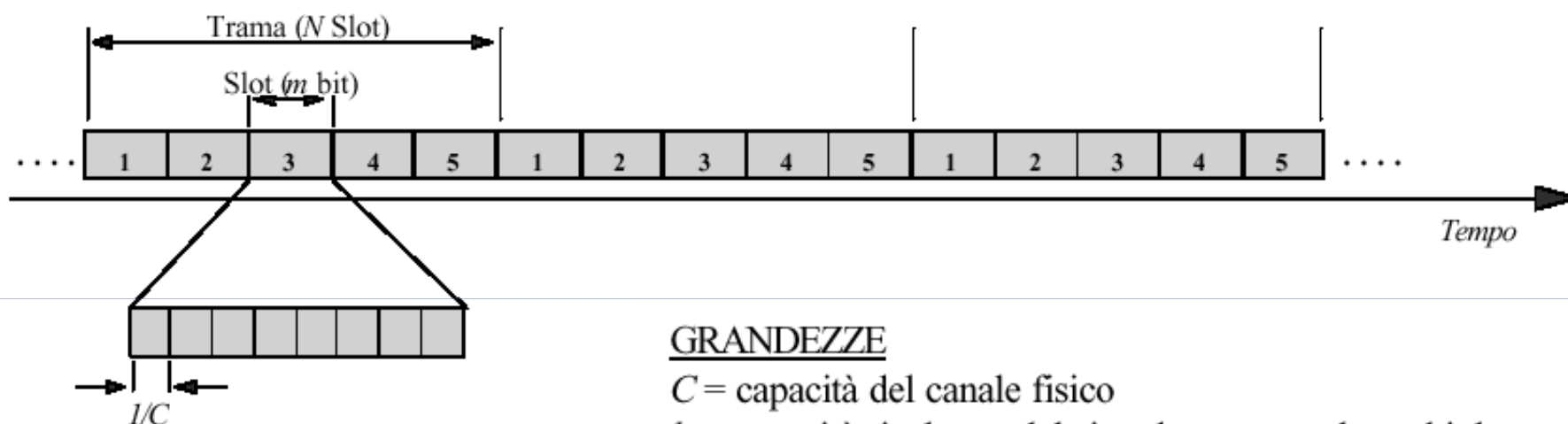
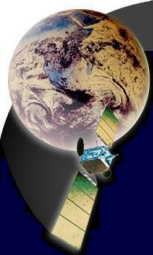
❖ Scelta della durata di slot:

- n_i numero di bit per slot
- T_i durata di uno slot ($T_i = n_i / C$)

❖ la velocità del canale c non dipende da T_i ma solo da N ($c = C/N$)

❖ tempo di adattamento (tempo di trama): $T_a = n_i / c$





Relazioni tra le grandezze:

$$b = C/N$$

$$\text{Intervallo_di_Canale} = m(1/C) = m/C$$

$$\text{Tempo_di_Adattamento} = N(m/C) = m/b$$

GRANDEZZE

C = capacità del canale fisico

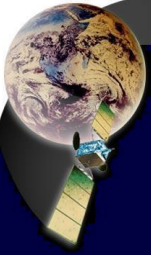
b = capacità risultante del singolo sottocanale moltiplicato

N = numero di Slot in una trama

m = numero di bit che costituiscono uno Slot

$\text{Intervallo_di_Canale}$ = durata (in s) di uno Slot

$\text{Tempo_di_Adattamento}$ = durata della trama



TDM

- ❖ Al crescere di T_a cresce la memoria necessaria in trasmissione per accumulare i bit e cresce anche il ritardo con il quale tali bit vengono consegnati in ricezione.
- ❖ Al contrario del caso FDM, nessun intervallo di guardia è necessario, ma i bit si possono susseguire sul collegamento senza soluzione di continuità.
- ❖ Vedremo che ciò non è possibile nella tecnica di accesso multiplo a divisione di tempo.
- ❖ L'esempio più importante di moltiplicazione TDM è quello offerto dai sistemi telefonici digitali



Esercizio

- ❖ Si consideri un canale di velocità $C=2,048$ Mbit/s
- ❖ si vogliano ricavare canali di velocità $c=64$ kbit/s con un ritardo di adattamento massimo di 10 ms
- ❖ si calcoli:

- il numero di canali ottenibili N
- la durata massima di slot T_i
- il numero di bit per slot n_i

$$❖ N = C/c = 2048/64 = 32$$

$$❖ T_a = n_i / c = 10 \text{ ms}$$

$$❖ n_i = T_a c = 0,01 \times 64000 = 640 \text{ bit}$$

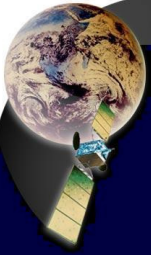
$$❖ T_i = n_i / C = 0,3125 \text{ ms}$$



Esercizio

- ❖ Si consideri un canale di velocità $C=900$ kbit/s
- ❖ si vogliano ricavare 4 canali di velocità $c=200$ kbit/s e un canale di velocità 100 kbit/s
- ❖ si definisca allo scopo una struttura di trama TDM

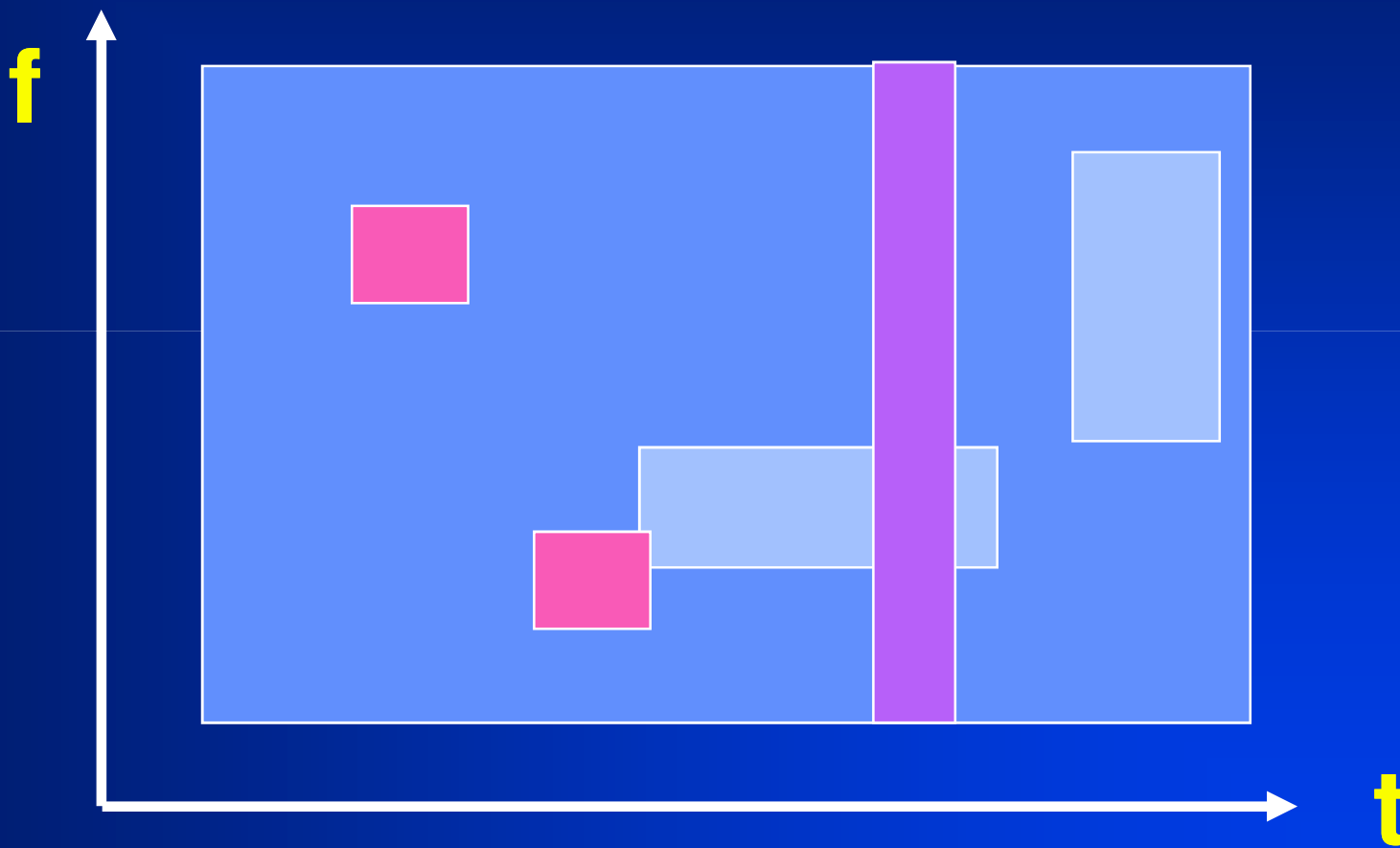
da fare a casa

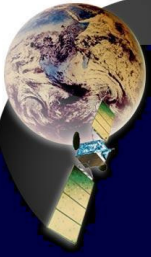


Multiplazione di codice (CDMA)

**La separazione tra i flussi è ottenuta usando
codifiche diverse**

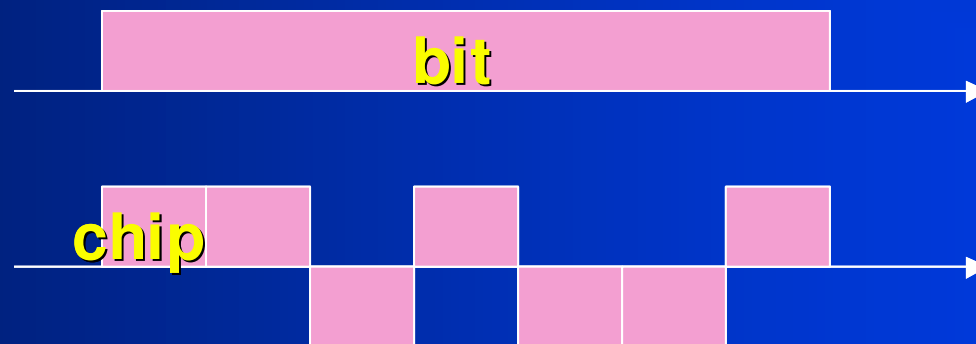
Servono codici riconoscibili





CDM (Code Division Multiplexing)

- ❖ La tecnica CDM consiste nel miscelare N flussi di bit previa moltiplicazione di ciascuno di questi con una parola di codice C_i scelta fra le N parole di un codice ortogonale
- ❖ le parole del codice sono costituite da N simboli binari, chiamati **chip** per distinguerli dai bit di informazione, di durata N volte inferiore al bit di informazione





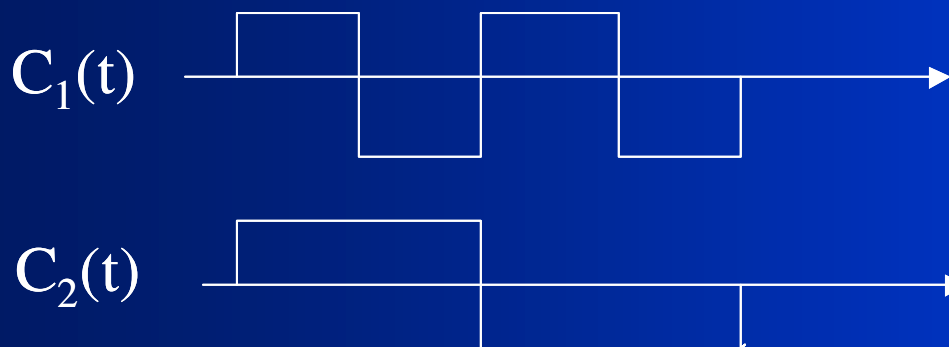
Codici ortogonali

❖ **segnali ortogonali:**

$$\int s_1(t) \cdot s_2(t) = 0$$

❖ **sequenze ortogonali:**

cik è il chip k-esimo della parola di codice i-esima e assumiamo che possa assumere o il valore +1 o -1



$$\int_0^T C_1(t) \cdot C_2(t) = 0$$
$$\sum_{i=1}^N c_{1i} \cdot c_{2i} = 0$$



Codici ortogonali

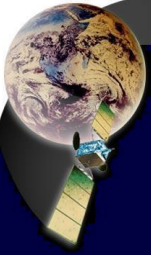
matrici di Hadamart:

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$
$$H_{2n} = \begin{bmatrix} H_n & H_n \\ H_n & -H_n \end{bmatrix}$$

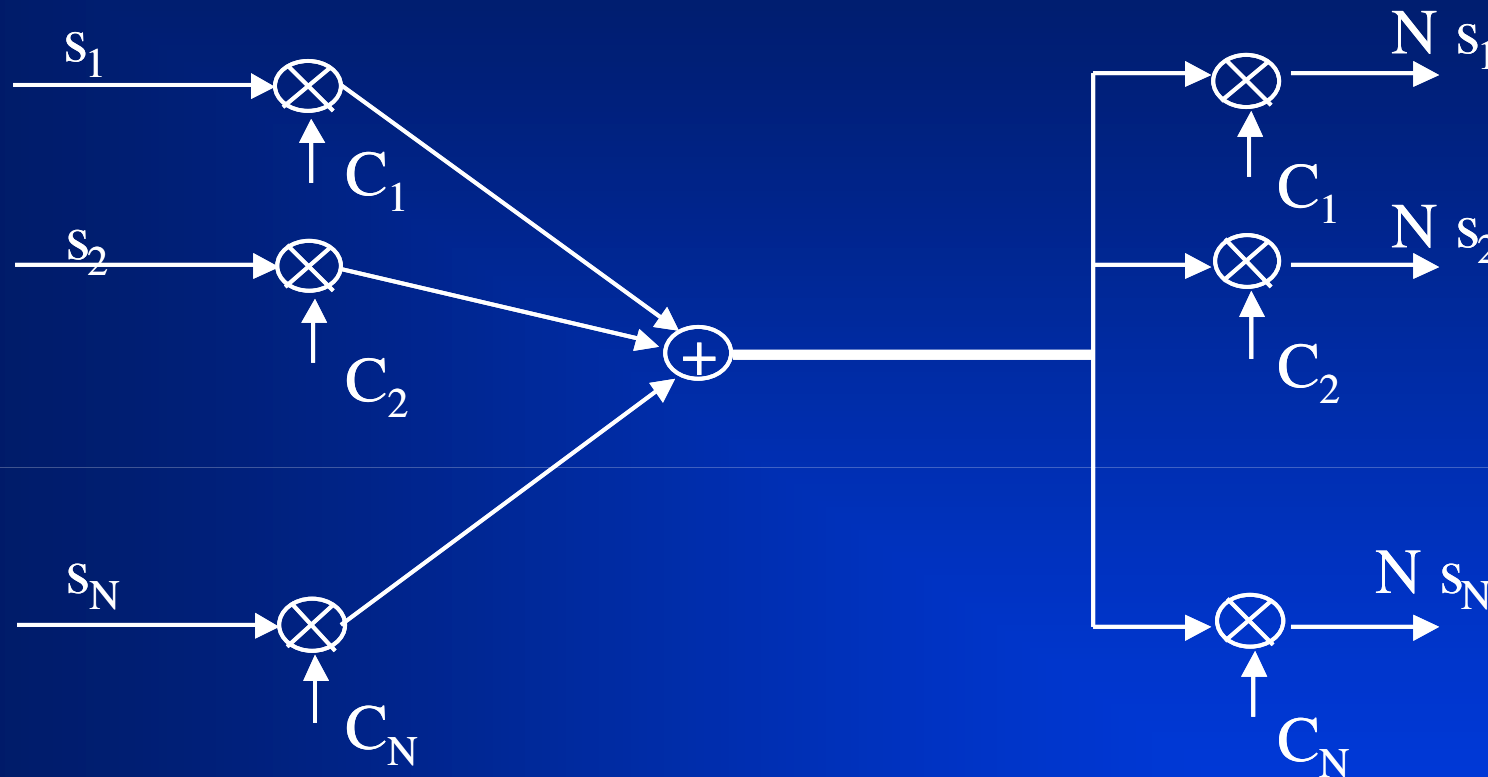
Esempio N=4

$$C_0 = \{1, 1, 1, 1\}$$
$$C_1 = \{1, -1, 1, -1\}$$
$$C_2 = \{1, 1, -1, -1\}$$
$$C_3 = \{1, -1, -1, 1\}$$

per ottenere l'ortogonalità le parole di codice di tutti i canali devono essere perfettamente sincrone sia nel chip che nell'inizio della parola stessa.

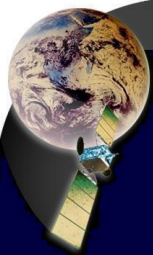


CDM



CDM non si trova come tecnica di moltiplicazione nei sistemi classici, ma sta emergendo anche come tecnica di accesso multiplo nei sistemi radio cellulari (UMTS)

$$\left(\sum_{i=0}^{N-1} s_i C_i \right) \cdot C_k = N \cdot s_k$$



WDM (Wavelength Division Multiplexing)

❖ **è analogo a FDM, si chiama WDM per ragioni storiche legate allo sviluppo della fibra ottica**

– i diversi canali sono ottenuti utilizzando diversi intervalli di frequenze trasportabili da una fibra ottica

❖ **motivazione**

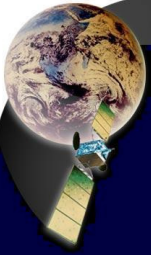
– la banda teorica a disposizione in una fibra ottica è così grande da non poter essere sfruttata con apparati elettronici

- la tecnologia elettronica non consente per ora una velocità che oltrepassi 5-10 Gbit/s, mentre la banda ottica è superiore di almeno tre ordini di grandezza



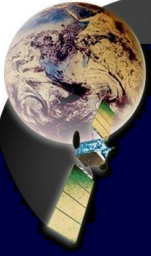
WDM

- ❖ **la multiplazione di lunghezza d'onda consente di affasciare in una fibra ottica più fasci luminosi a diversa lunghezza d'onda**
- ❖ **le diverse portanti ottiche alle diverse lunghezze d'onda sono gestite con dispositivi ottici**
- ❖ **ciascuna portante ottica viene modulata ai limiti delle velocità elettroniche (5-10 Gbit/s)**
- ❖ **il limite tecnologico è dovuto alla stabilità in frequenza dei laser usati per la modulazione e alla scarsa risoluzione dei filtri ottici**



WDM

- fino a poco tempo fa non si riusciva ad ottenere prodotti commerciali con più di 2/4 lunghezze d'onda con bande di guardia dell'ordine di 100 nm
- all'inizio del '99 sono stati introdotti in commercio sistemi ad alta densità di impaccamento (Dense Wavelength Division Multiplexing -DWDM) che multiplano 16 lunghezze d'onda nella gamma di 1550 nm con distanza di 0.8 nm
- sono stati annunciati sistemi a 32, 64 e 128 lunghezze d'onda
- ciascuna lunghezza d'onda è modulata indipendentemente con flussi TDM con velocità massima di 2.5 Gbit/s
- ad es. la capacità dei cavi transoceanici viene moltiplicata dal numero di lunghezze d'onda



Moltiplicazione di spazio

Le reti permettono di sfruttare la diversità spaziale del sistema per far coesistere più flussi di informazione in punti diversi

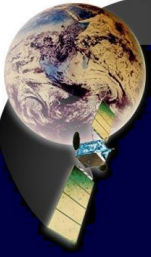
L'instradamento può cercare di sfruttare una moltiplicazione di spazio per aumentare la capacità di una rete

Il progetto della topologia della rete può cercare di aumentare la diversità spaziale



Multiplazione statistica

La multiplazione nelle dimensioni tempo, frequenza (o lunghezza d'onda), codice e spazio può essere predeterminata (sulla scala temporale della dinamica delle connessioni) o statistica (funzione delle variazioni “istantanee” di traffico)



Accesso Multiplo

- ❖ FDMA: Accesso multiplo a divisione di frequenza
- ❖ TDMA: Accesso multiplo a divisione di tempo
- ❖ CDMA: Accesso multiplo a divisione di codice
- ❖ WDMA: Accesso multiplo a divisione di lunghezza d'onda



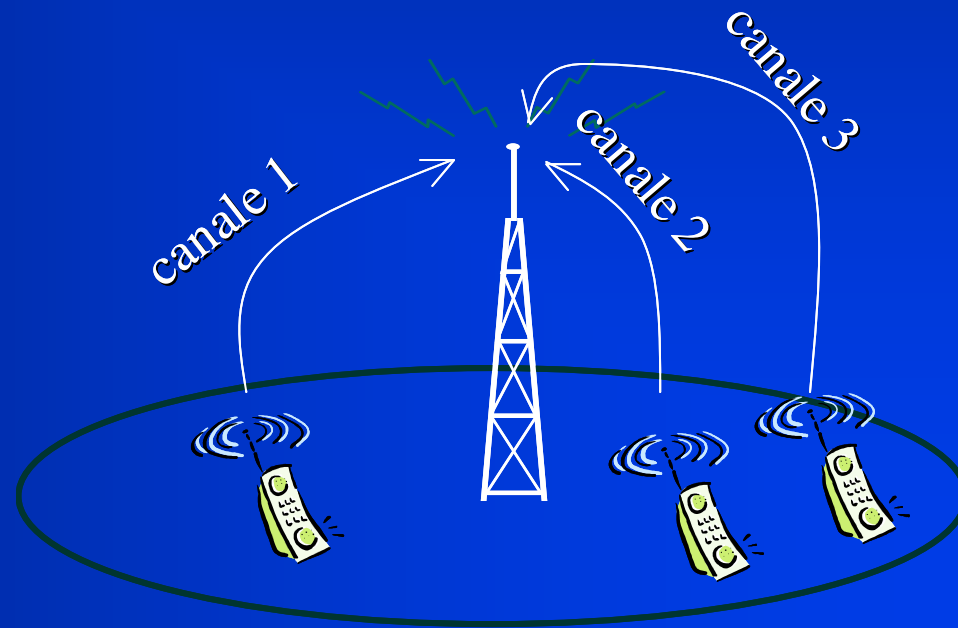
Accesso Multiplo

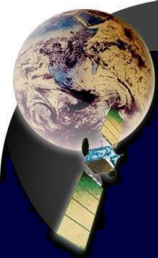
- ❖ E' l'analogo della moltiplicazione ma per canali broadcast
 - l'accesso multiplo a livello fisico è la tecnica con la quale da un unico canale broadcast o a bus se ne possono ricavare altri, di tipo punto-punto o punto multi-punto
- ❖ le stazioni che accedono sono distanti e devono coordinarsi per accedere al canale broadcast

Es. sistemi radiomobili

- uplink: accesso multiplo
- downlink: moltiplicazione

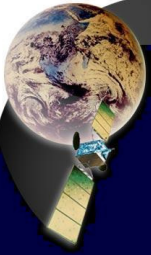
Es: LAN



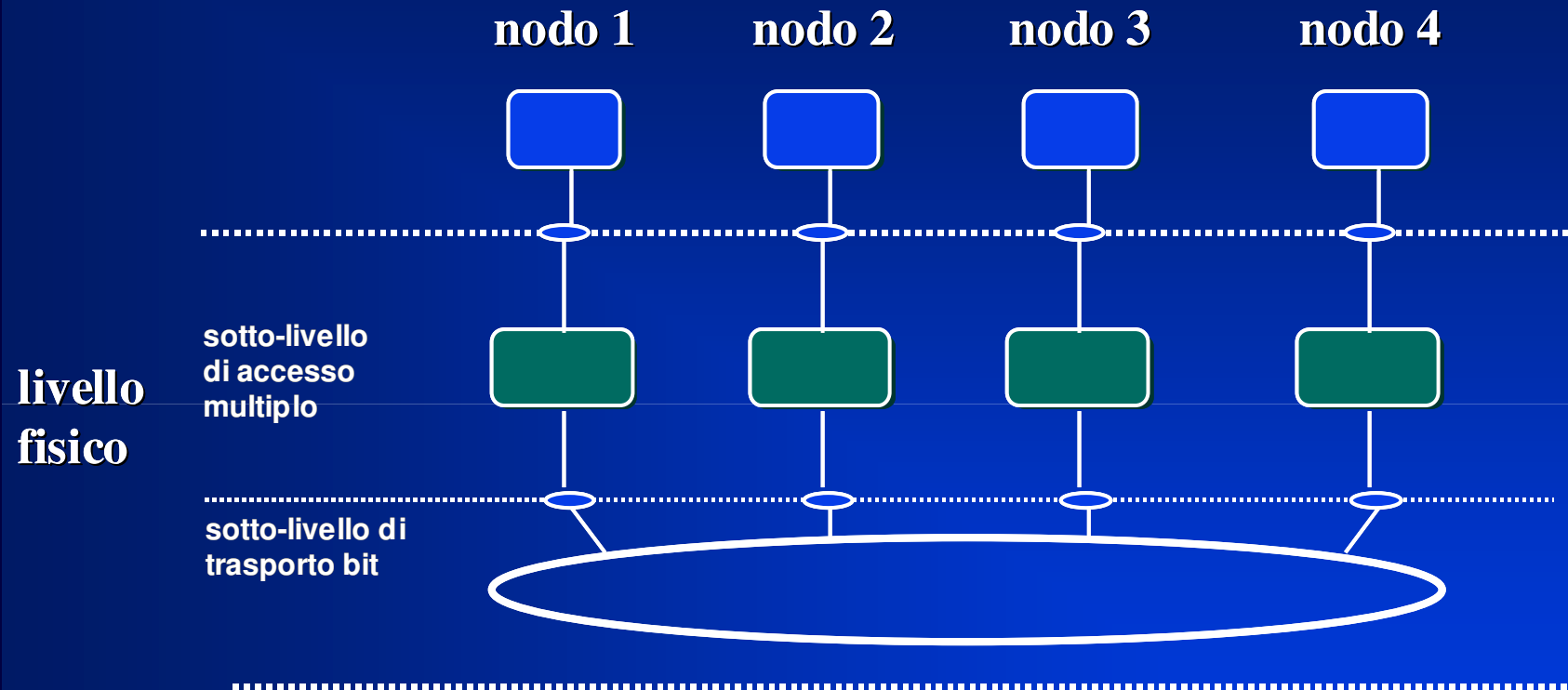


Canali ad accesso multiplo

- ❖ Collegano direttamente N nodi di rete tra loro
 - Ogni nodo può comunicare con qualunque altro nodo (es. stazioni collegate elettricamente in parallelo sulla stessa coppia di conduttori)
- ❖ L'accesso a questi canali è gestito da un insieme di regole che prendono il nome di protocolli di accesso
- ❖ Possono essere canali simplex o half-duplex



Accesso multiplo fisico



Anche la funzione di accesso multiplo può essere vista come appartenente al sottolivello più alto del livello fisico.



Accesso multiplo fisico

Il problema dell'accesso multiplo verrà ripreso in seguito con riferimento alle reti a commutazione di pacchetto e, in particolare, alle reti locali.

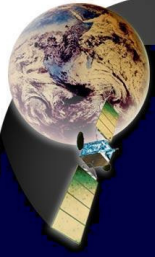
In questo caso, però, la distinzione tra le trasmissioni delle diverse stazioni non avverrà mediante parametri fisici, come la frequenza portante (accesso multiplo a divisione di frequenza) o la posizione dell'intervallo all'interno di una trama (accesso multiplo a divisione di tempo), ma mediante degli identificativi logici contenuti negli header dei pacchetti.



FDMA

Frequency Division Multiple Access

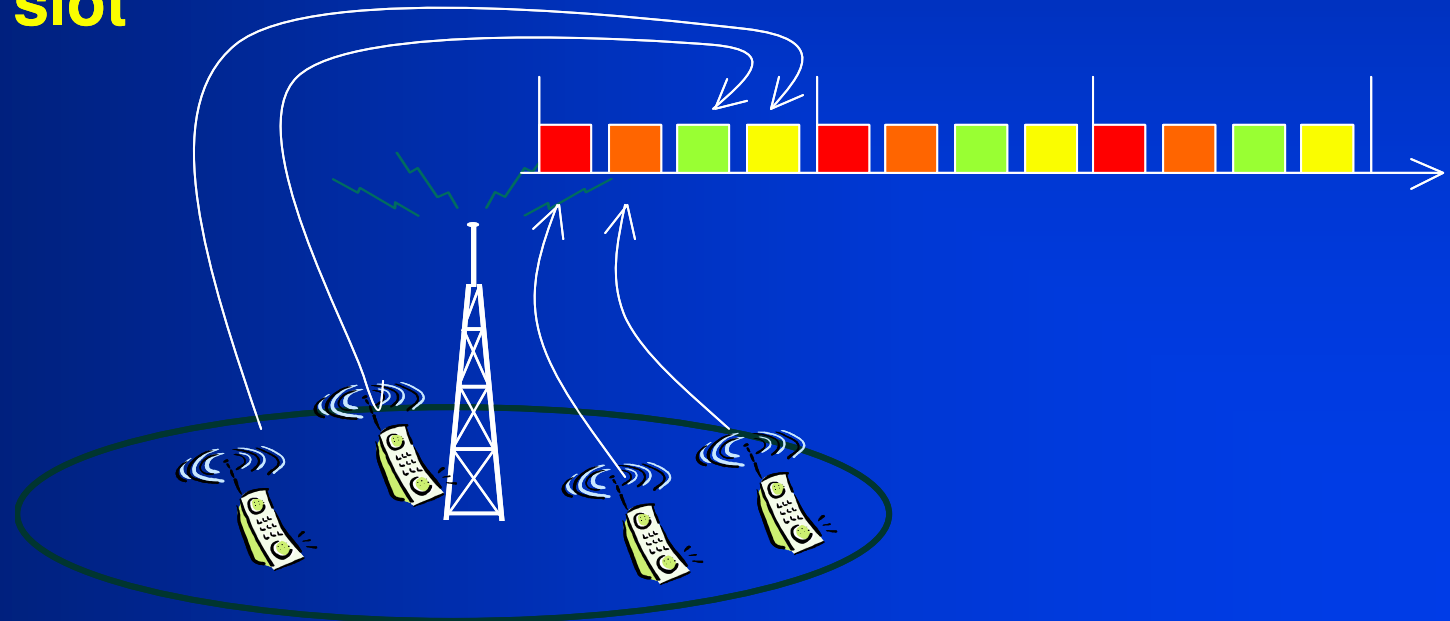
- ❖ **E' analogo a FDM:** alle diverse stazioni viene assegnata una frequenza diversa
- ❖ **la necessità del coordinamento delle stazioni non crea problemi nel caso di divisione di frequenza**
 - **unico accorgimento:** assegnare alle diverse stazioni frequenze (e quindi canali) differenti
- ❖ **esempi:**
 - **trasmissioni radiofoniche e televisive**
 - **sistema cellulare TACS (Total Access Cellular System)**
utilizza una portante modulata FM con banda 25 kHz
per ciascun canale

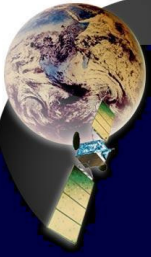


TDMA

Time Division Multiple Access

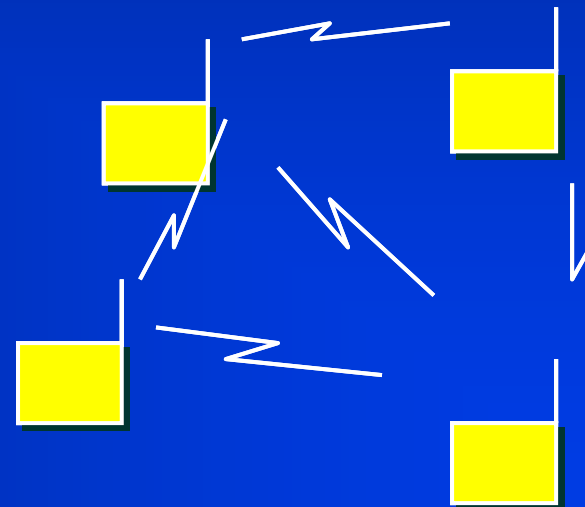
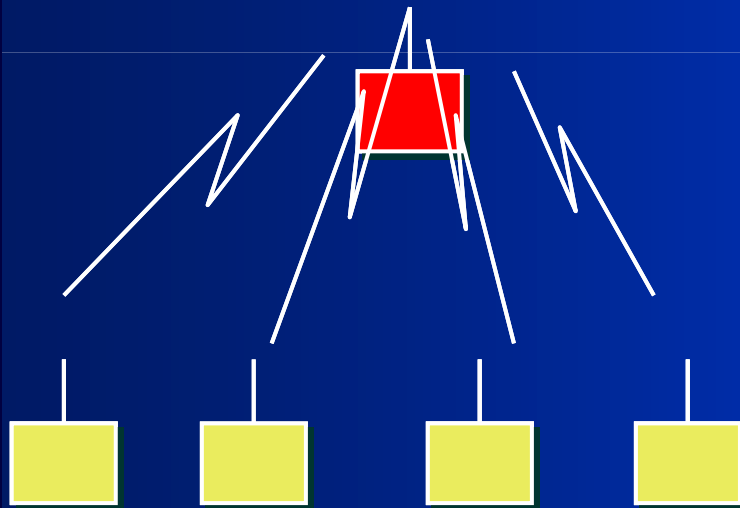
- ❖ è l'analogo del TDM
- ❖ differenza col TDM: è necessario un coordinamento per trovare una base temporale comune alle stazioni (sincronismo di trama)
- ❖ il sincronismo non può essere perfetto: tempi di guardia tra slot

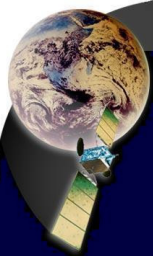




Sincronismo di trama

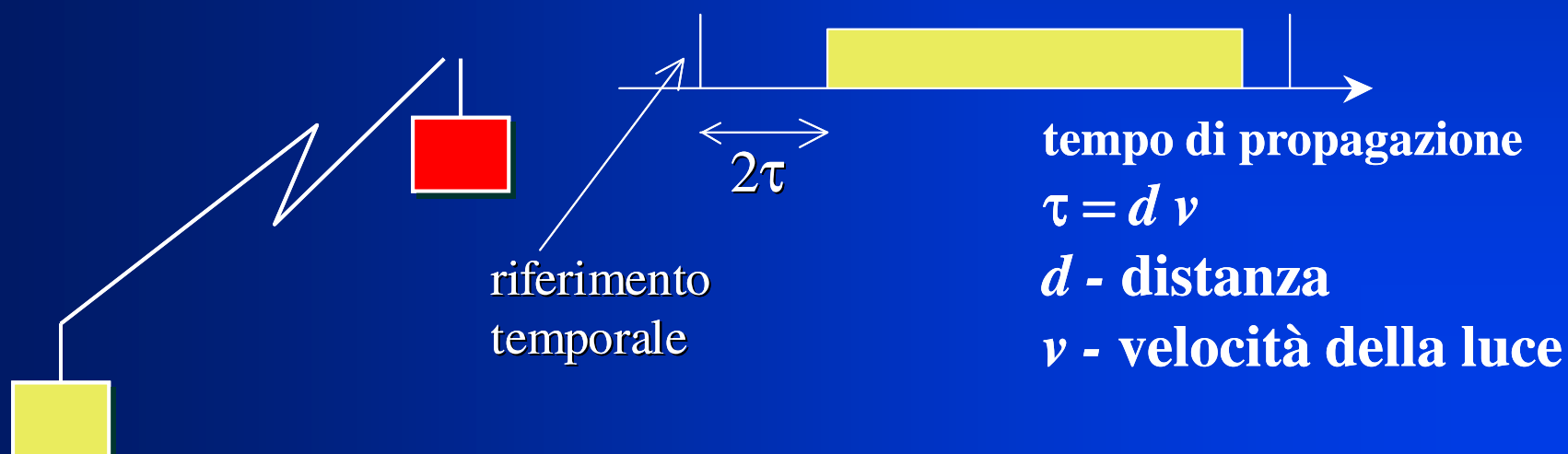
- canali broadcast centrali (es. sistemi radiomobili e satellitari)
- canali broadcast non-centrali





Canali broadcast centrali

- ❖ il punto centrale può essere di riferimento per il sincronismo
- ❖ le sue trasmissioni regolari possono sincronizzare le trasmissioni delle altre (ad es. una trasm. ogni trama, o ad intervalli multipli)



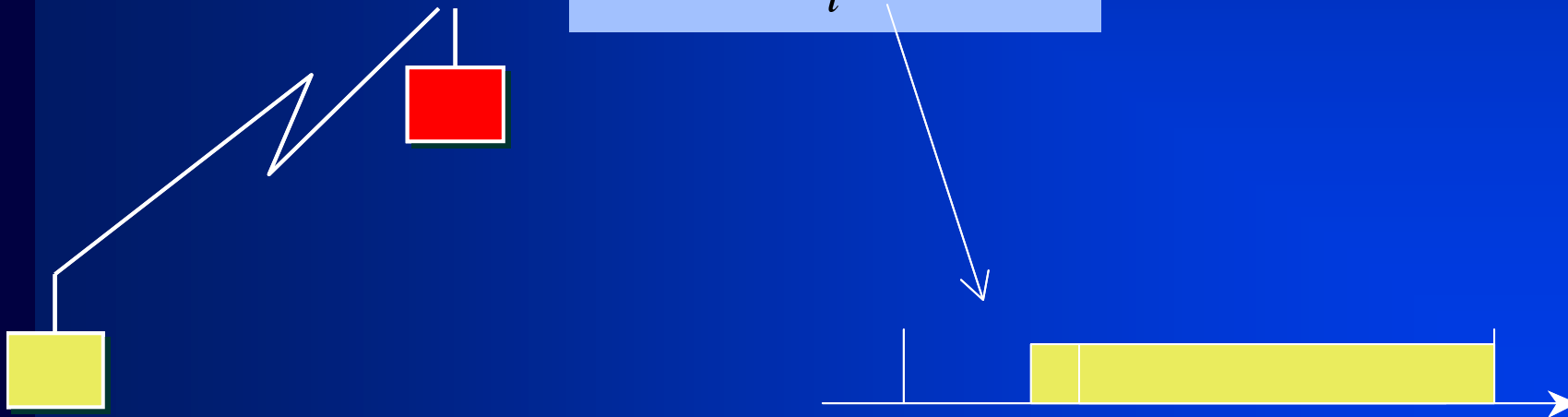


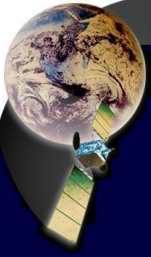
Canali broadcast centrali

Tempo di guardia T_g :

- ❖ A causa del tempo di propagazione del segnale τ_i di ogni stazione verso il centro, l'errore nel calcolo può essere di $2\tau_i$

$$T_g = \max_i (2\tau_i)$$



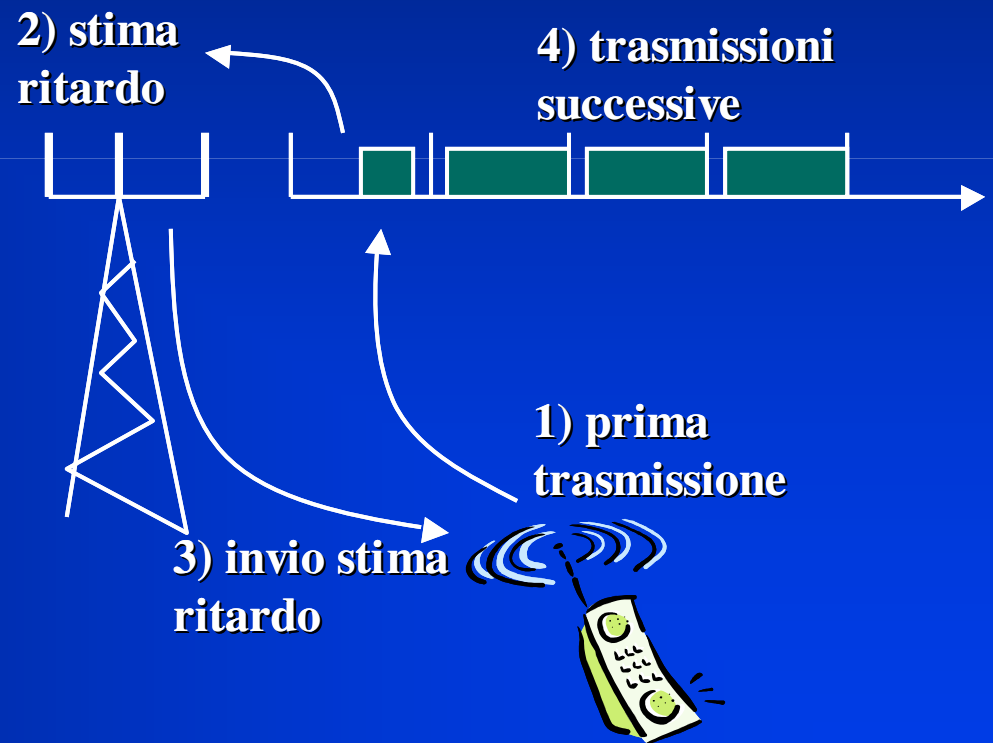


Canali broadcast centrali

La situazione può essere migliorata se i tempi di propagazione sono noti.

❖ Timing Advance:

- noti i tempi di propagazione le stazioni possono compensarli con una trasmissione anticipata
- necessità di stimare τ (possono essere variabili)
- errore di stima: tempi di guardia (più piccoli)
- tecnica usata in GSM



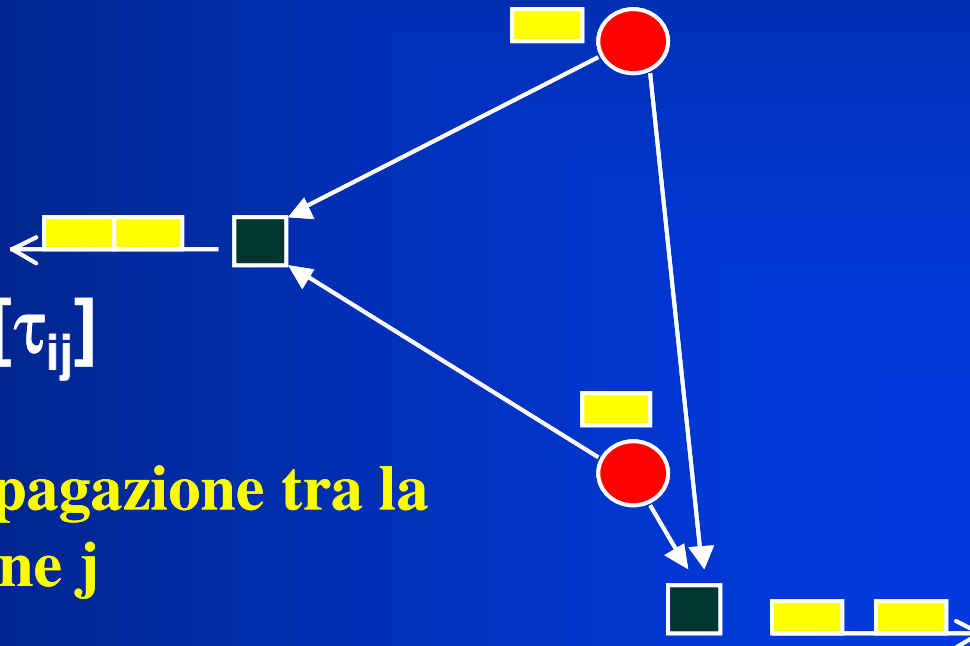


Canali broadcast non centrali

- ❖ non c'è il riferimento
- ❖ trasmissioni diverse possono combaciare in un punto ed essere distanti in un altro

$$❖ T_g = 2 \max[\tau_{ij}]$$

τ_{ij} è il tempo di propagazione tra la stazione i e la stazione j





Efficienza TDMA

$$\eta = \frac{T_i}{T_i + T_g} = \frac{1}{1 + \frac{T_g}{T_i}} = \frac{1}{1 + T_g \frac{C}{n_i}}$$

T_i è la durata dello slot, C la velocità del collegamento e n_i il numero di bit che possono essere trasmessi in un tempo di slot

- ❖ **T_g dipende dal massimo ritardo di propagazione, ovvero dalla massima distanza, essendo $\tau_{ij} = d_{ij} / v$, dove d_{ij} è la distanza (m) tra le stazioni i e j , v è la velocità di propagazione del segnale (pari a 3×10^8 m/s nel mezzo trasmissivo radio, e 2×10^8 m/s nei mezzi trasmissivi ad onde guidate (doppini, cavi, ecc.)**
- ❖ **T_i , pari a n_i / C , cresce all'aumentare del numero di bit per slot n_i e decresce all'aumentare della velocità del collegamento C**



Efficienza TDMA

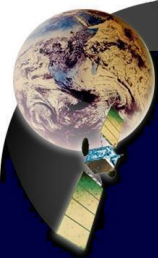
$$\eta = \frac{T_i}{T_i + T_g} = \frac{1}{1 + \frac{T_g}{T_i}} = \frac{1}{1 + T_g \frac{C}{n_i}}$$

T_i è la durata dello slot, C la velocità del collegamento e n_i il numero di bit che possono essere trasmessi in un tempo di slot

❖ dipende dal rapporto T_g/T_i

❖ l'efficienza scende:

- all'aumentare delle distanze (aumenta T_g)
 - il TDMA non è adatto a sistemi con grandi distanze tra le stazioni
- all'aumentare della velocità del canale
- al diminuire della durata dello slot T_i
 - conviene avere tempi di slot T_i lunghi per aumentare l'efficienza e, invece, T_i corti per avere bassi ritardi di adattamento T_a



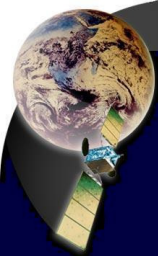
CDMA

Code Division Multiple Access

❖ **analogo alla tecnica CDM**

❖ **differenze col CDM:**

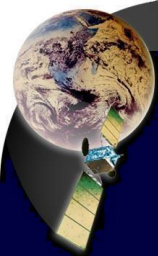
- per definizione di accesso multiplo, la somma dei segnali è fatta sulla rete fisica broadcast e non dall'unico trasmettitore come nel caso del CDM
- i codici utilizzati non sono ortogonali
 - non è possibile ottenere il sincronismo dei bit e delle parole di codice a causa dei tempi di propagazione



CDMA

Code Division Multiple Access

- ❖ **le trasmissioni delle diverse stazioni risultano, dunque, sfasate in modo casuale**
- ❖ **anche se si utilizzassero codici ortogonali lo sfasamento distruggerebbe l'ortogonalità e l'uscita dei ricevitori sarebbe affetta dall'interferenza generata dagli altri segnali**
- ❖ **il problema è allora quello di scegliere delle sequenze di codice in grado di minimizzare l'interferenza**
 - **di solito la scelta cade su sequenze pseudo-casuali che rendono l'interferenza quasi equivalente a rumore puramente casuale**



CDMA

Code Division Multiple Access

- ❖ **non è possibile avere trasmissioni sincrone e quindi non si riesce a conservare l'ortogonalità dei codici**
- ❖ **si usano codici a bassa correlazione per qualunque sfasamento temporale**
- ❖ **usato nel sistema UMTS (telefonini di 3a generazione)**

$$\int_0^T C_1(t) \cdot C_2(t) \neq 0$$

$$\int_0^T C_1(t) \cdot C_2(t + \Delta)$$

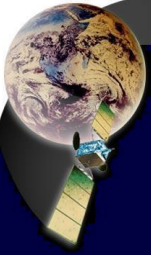


Modi di trasferimento

Per modo di trasferimento si intende la modalità operativa di trasferire informazione attraverso la rete

Le componenti di un modo di trasferimento sono:

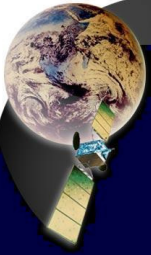
- schema di moltiplicazione**
- il principio di commutazione**
- l'architettura protocollare**



Modi di trasferimento

Le componenti di un modo di trasferimento sono:

- **schema di multiplazione**
identifica il modo in cui la capacità di trasferimento dei rami della rete viene logicamente condivisa dai flussi informativi che li attraversano
- **il principio di commutazione**
identifica il modo in cui l'informazione è trattata nei nodi della rete per essere guidata verso la destinazione (attraversamento e utilizzo della capacità elaborativa)
- **l'architettura protocollare**
individua le funzioni che ogni nodo deve svolgere sull'informazione entrante e uscente



Modi di trasferimento

Le caratteristiche prestazionali di un modo di trasferimento:

- **l'integrità informativa**
è inversamente legata alla frequenza media dell'errore (i dati richiedono un alto grado di integrità)
- **la trasparenza temporale**
è inversamente legata alla variabilità dei ritardi di transito delle unità informative della sequenza di ricezione rispetto alle corrispondenti unità informative della sequenza di trasmissione (i servizi isocroni richiedono un alto grado di trasparenza)

dell'operazione di trasferimento



Modi di trasferimento nelle reti dedicate

- **Modo di trasferimento a circuito**
 - usato nelle reti a circuito (rete telefonica)
- **Modo di trasferimento a pacchetto**
 - alternative: chiamata virtuale e datagramma
 - usato nelle reti a pacchetto (reti dati)



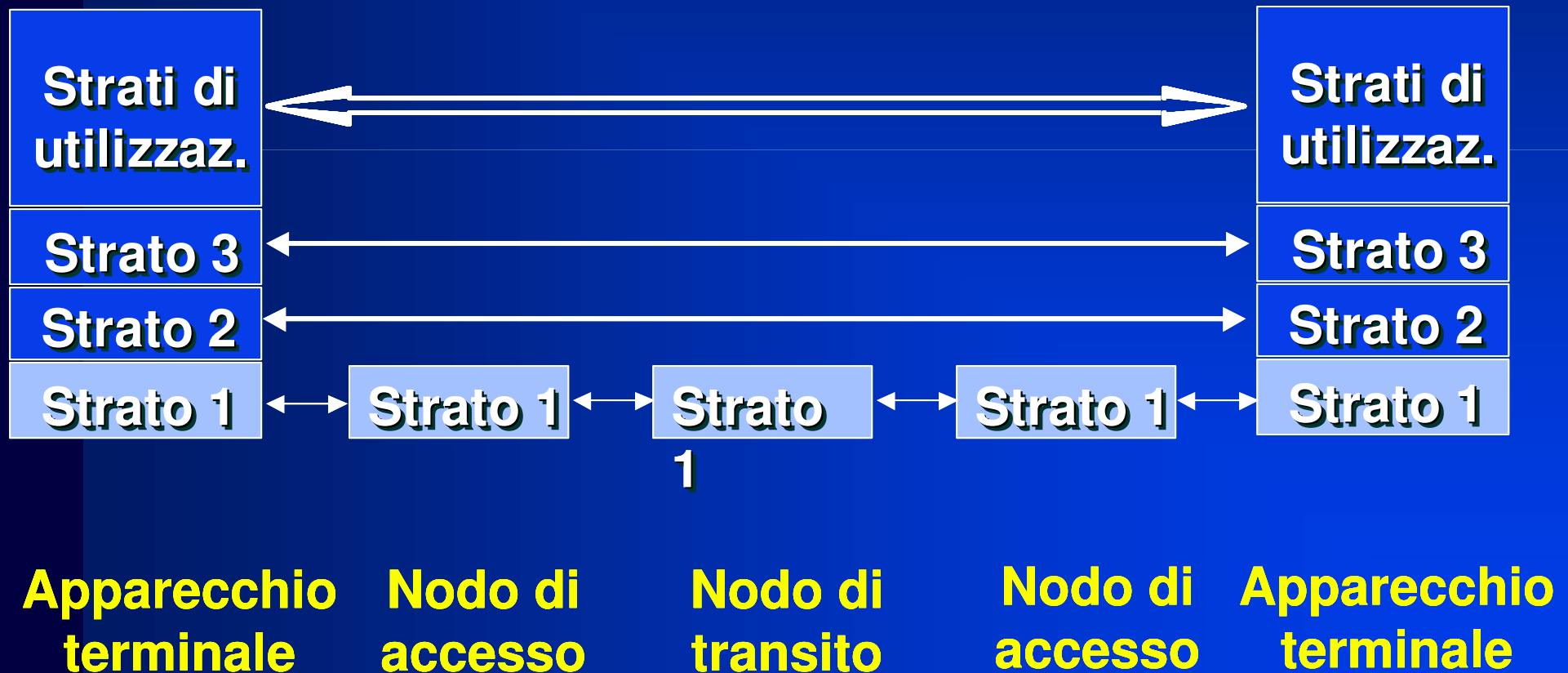
Modo di trasferimento a circuito

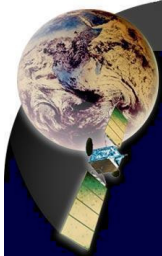
- **Schema di moltiplicazione statica**
 - pre -assegnazione individuale delle risorse su base trama
- **Principio di commutazione a circuito**
 - servizio di trasferimento con connessione
 - attraversamento diretto e sincrono
- **Architettura protocollare**
 - moltiplicazione e commutazione sono funzioni dello strato 1



Modo di trasferimento a circuito

❖ Architettura protocollare





Modo di trasferimento a pacchetto

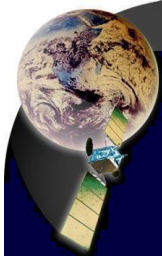
- **Schema di multiplazione dinamica**
 - pre-assegnazione collettiva o assegnazione individuale a domanda delle risorse
- **Principio di commutazione a pacchetto**
 - trasferimento con connessione e pre-assegnazione di risorse per il servizio a chiamata virtuale
 - trasferimento senza connessione e assegnazione delle risorse a domanda per il servizio a datagramma
 - attraversamento store-and-forward e asincrono
- **Architettura protocollare**
 - multiplazione e commutazione funzioni dello strato 3



Modo di trasferimento a pacchetto

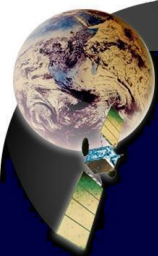
❖ Architettura protocollare





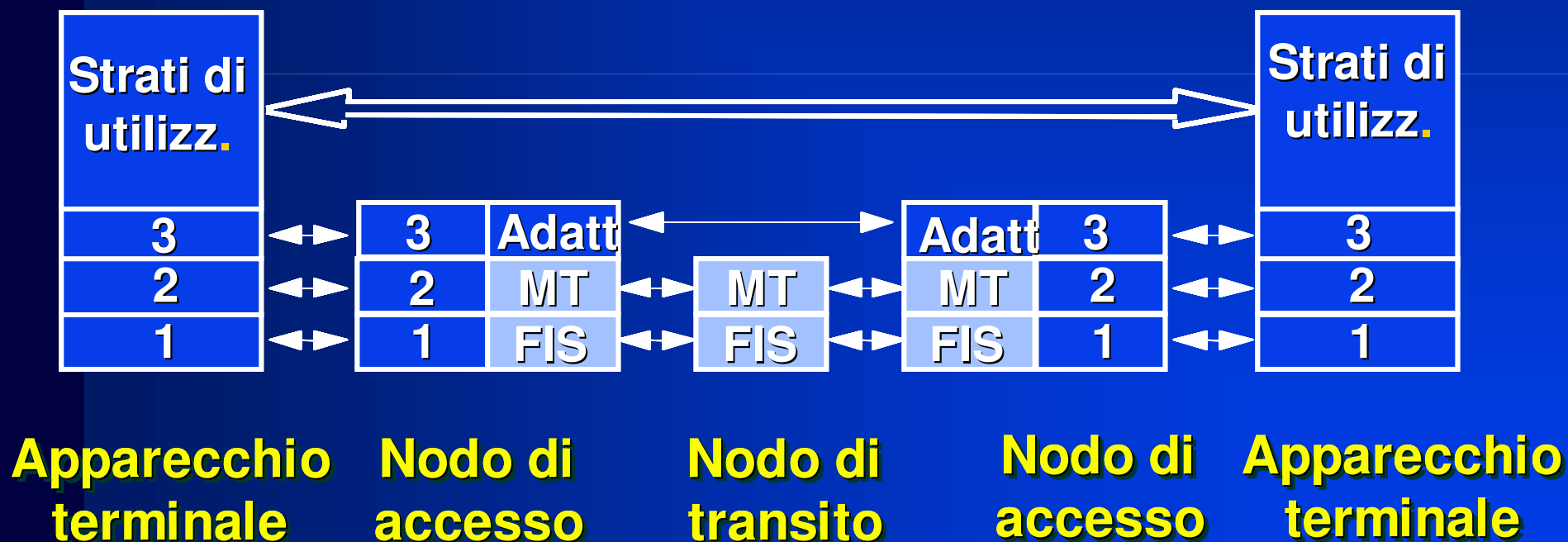
Modo di trasferimento asincrono (ATM)

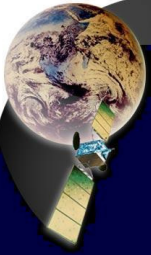
- **Schema di moltiplicazione dinamica**
 - i pacchetti hanno lunghezza fissa
- **Principio di commutazione a pacchetto**
 - trasferimento con connessione e assegnazione di risorse logiche per il servizio a chiamata virtuale
 - attraversamento store-and-forward e asincrono
- **Architettura protocollare**
 - moltiplicazione e commutazione nello strato immediatamente superiore allo stato fisico



Modo di trasferimento asincrono (ATM)

❖ Architettura protocollare





- ❖ La rete di segnalazione telefonica (separata dalla rete di traffico voce) ha i livelli 1 e 2 implementati nei nodi di commutazione