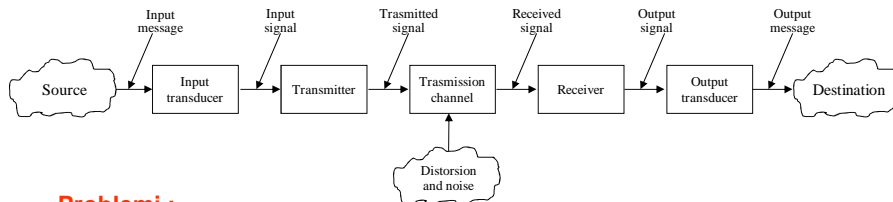


TRASMISSIONE DEI SEGNALI

Tutti i sistemi di comunicazione comprendono tre principali sottosistemi: **Trasmittitore, Canale di trasmissione, Ricevitore.**



Problemi :

- La limitata larghezza di banda di un canale limita il numero di segnali e produce "Intersymbol Interference".
- Il rumore, l'attenuazione e lo sfasamento si accumulano durante il percorso del segnale.
- Occorre evitare i loop di terra che possono indurre elevate correnti nei cavi (uso di codifiche).
- Riflessione dei segnali.

Basi Teoriche della Trasmissione Dati

- L'informazione può essere trasmessa a distanza variando opportunamente alcune caratteristiche fisiche del mezzo scelto per la trasmissione. Variazione che si propaga, con una certa velocità lungo il mezzo fisico di trasmissione e dopo un certo tempo arriva all'altra estremità del mezzo, dove può essere rilevata.
- Tipologie di mezzi trasmissivi:
 - ✓ **Mezzi elettrici** (cavi): il fenomeno fisico utilizzato per il trasporto del segnale è l'energia elettrica.
 - ✓ **Mezzi wireless** (onde radio): il fenomeno fisico utilizzato è l'onda elettromagnetica, una combinazione di campo elettrico e campo magnetico variabile, che si propaga nello spazio e che induce a distanza una corrente elettrica in un dispositivo ricevente (antenna).
 - ✓ **Mezzi ottici** (LED, laser e fibre ottiche): il fenomeno fisico utilizzato è la luce. Si tratta dei mezzi più recenti, che hanno rivoluzionato il settore della trasmissione dati.

Basi Teoriche della Trasmissione Dati

- **Modalità di trasmissione:**
 - ✓ Trasmissione di un **segnale analogico**.
 - ✓ Trasmissione di un **segnale digitale**.
- Differenza fra un segnale analogico e uno digitale:
 - ✓ Il primo può variare **gradualmente** in un intervallo costituito da un **numero infinito** di possibili valori.
 - ✓ Il secondo può variare solamente passando **bruscamente** da uno all'altro di un **insieme molto piccolo** di valori (da due a qualche decina).
- **Il fenomeno fisico utilizzato non è digitale ma analogico.** Un segnale non passa istantaneamente da un valore ad un altro, ma impiegherà un certo tempo per effettuare la transizione, per cui un mezzo fisico non riuscirà a fare arrivare un segnale digitale com'era partito.

Analisi di Fourier (Analisi Armonica)

Una **funzione sinusoidale**(seno o coseno), è caratterizzata da :

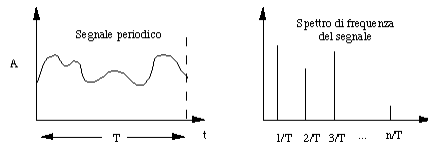
- ✓ **Ampiezza**, A: la differenza fra il valore massimo ed il minimo.
- ✓ **Periodo**, T: la quantità T di tempo trascorsa la quale la funzione si ripete.
- ✓ **Frequenza**: l'inverso del periodo $f = 1/T$, misurata in **cicli al secondo (Hz)**.
- Fourier (matematico francese dell'800) dimostrò che una funzione $g(t)$, definita in un intervallo T, può essere espressa come una somma di un numero infinito di funzioni sinusoidali:

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2 \pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2 \pi nft)$$

dove :

- ✓ $f = 1/T$ è la **frequenza fondamentale**
- ✓ a_n e b_n sono le **ampiezze dell'ennesima armonica** (o termine), che ha una frequenza n volte più grande della frequenza fondamentale

- Un segnale $g(t)$ di durata T si può rappresentare attraverso il suo **spettro di frequenze**, ossia attraverso la sua scomposizione in sinusoidi.



- **Banda di frequenza (frequency band) del segnale:** un intervallo di frequenze nel quale sono comprese le frequenze delle sinusoidi che descrivono il segnale.

- Fattori che influenzano le caratteristiche della banda sono :
 - ✓ Tanto più è breve la durata T del segnale, tanto più è alto il valore della frequenza fondamentale.
 - ✓ Tanto più velocemente nel tempo varia la $g(t)$, tanto più numerose sono le armoniche necessarie a descriverlo.

- I mezzi fisici sono caratterizzati da una banda di frequenze:
 - ✓ **Banda passante:** l'intervallo di frequenze che il mezzo fisico è in grado di trasmettere senza alterarle oltre certi limiti. La banda passante si riduce all'aumentare della lunghezza del mezzo trasmissivo.
- Le alterazioni principali causate dai mezzi fisici sono:
 - ✓ **Attenuazione:** in proporzione alla distanza percorsa e alla frequenza del segnale.
 - ✓ **Introduzione di ritardo** a velocità proporzionali alle loro frequenze.

- Perché un segnale sia ricevuto com'è stato trasmesso:

banda passante \geq banda di frequenza del segnale

Altrimenti: il **segnale arriva distorto** (mancano armoniche). Se un numero sufficiente d'armoniche arriva a destinazione, il segnale è lo stesso utilizzabile.

Teorema di Nyquist

- **Hp:** Canale privo di disturbi
- Un segnale analogico di banda h (da 0 ad h Hz) può essere completamente ricostruito mediante una **campionatura effettuata $2h$ volte al secondo**.
- “Convoglia” una quantità d’informazione rappresentabile con un numero di bit pari a:

$$2h \cdot [\log_2 (\text{numero di possibili valori del segnale})] \text{ al sec.}$$

- **Massimo data rate** (o **Velocità di trasmissione**) di un canale di comunicazione dotato di una banda passante da 0 Hz ad h Hz, che trasporta un segnale consistente di V livelli discreti è:

$$\text{Massimo Data Rate (bit/sec.)} = 2h \log_2 V$$

Teorema di Shannon

- **Hp:** Canale rumoroso
- **Rapporto segnale/rumore** (signal to noise ratio, **S/N**): rapporto fra la potenza del segnale e quella del rumore. Si misura in **decibel (dB)**.
- **Massimo data rate di un canale rumoroso**, con banda passante di h Hz e rapporto segnale/rumore pari a S/N , è dato da:

$$\text{Massimo Data Rate (bit/sec.)} = h \lg_2 (1 + S/N)$$

Non conta il numero V di livelli del segnale, poiché a causa del rumore, aumentarne il numero può renderli indistinguibili.

CODIFICA DEI DATI

- Tecnica di rappresentazione dei bit da un certo repertorio di segni verso un altro, utile a facilitare il trasporto della trama dalla sorgente su un mezzo fisico verso i consumatori non modificandone il contenuto ma solo la forma.

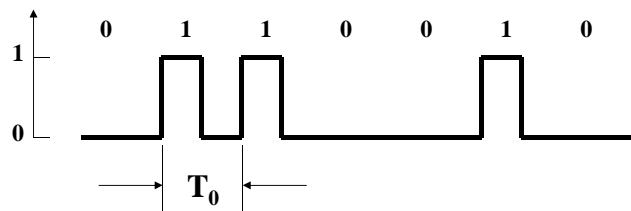
Caratteristiche:

- ✓ **Capacità di contenere informazioni di temporizzazione.**
- ✓ **Efficienza come immunità ai disturbi.**
- ✓ **Capacità di rivelare errori o correggerli.**
- ✓ **Densità spettrale favorevole.**
- ✓ **Trasmissione corretta indipendentemente dal pattern di 1/0 (data transparency).**
- ✓ **Velocità massima lungo il canale**

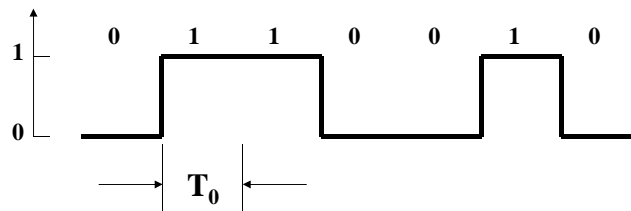
REGOLE DI CODIFICA
SPETTRO IN FREQUENZA

CODIFICA ON-OFF

- **Return to Zero (RZ):** un 1 è codificato come mezzo impulso rettangolare $p(t)$. Lo 0 è codificato come assenza di impulso.

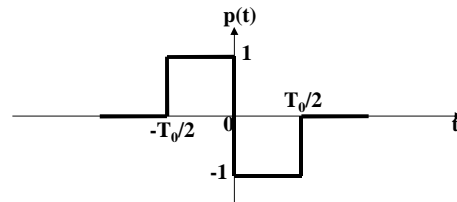


- **Non Return to Zero (NRZ):** un 1 è codificato come un impulso rettangolare $p(t)$. Lo 0 è codificato come assenza di impulso.

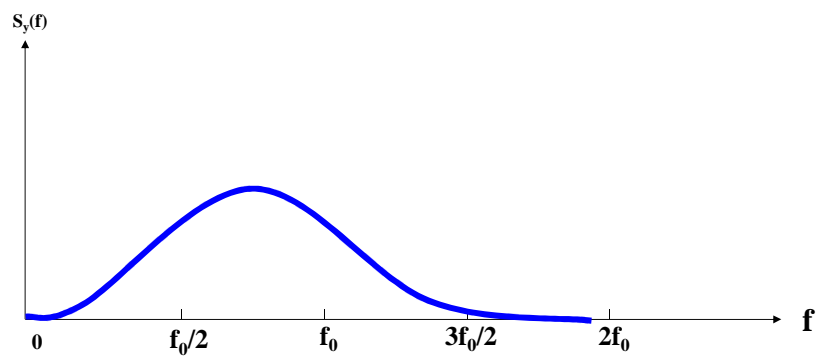
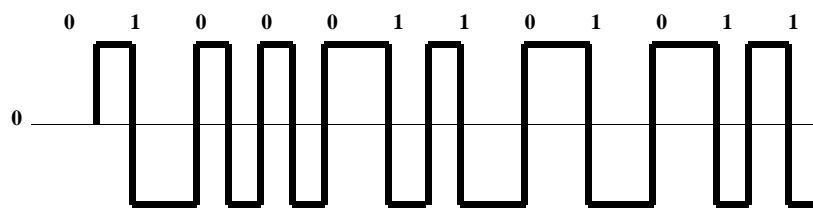


CODIFICA MANCHESTER

- Un 1 è codificato come un impulso $p(t)$; uno 0 è codificato come $-p(t)$.



Forma dell'impulso $p(t)$



- Assenza di componente continua.
- Self clocking.
- Permette la creazione di delimitatori basati sulla presenza di violazioni del codice.

MEZZI DI TRASMISSIONE

- I mezzi fisici possono essere classificati in:
 - ✓ **Mezzi Guidati:** fili di rame, fibre ottiche.
 - ✓ **Mezzi Non Guidati:** radio, laser via etere.
- Le caratteristiche specifiche di ogni mezzo di comunicazione sono:
 - ✓ **Larghezza di banda.**
 - ✓ **Ritardo.**
 - ✓ **Costo.**
 - ✓ **Facilità d'installazione e manutenzione.**

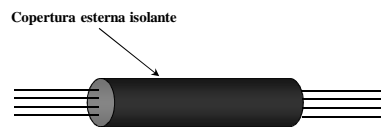
MEZZI GUIDATI (2): Doppino (Twisted Pair Lines)

- Coppia di fili isolati, in rame. Intrecciati per ridurre le interferenze.
- Fino a qualche Km di lunghezza non necessita di amplificatori.
- Usato sia per trasmissione analogica, che digitale.
- Ha una larghezza di banda di alcuni Mbit/sec.
- Ha un basso costo

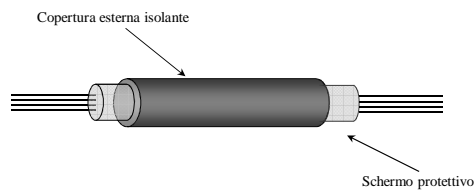
TIPOLOGIE DI DOPPINI

- **Categoria 3** : due fili isolati lascamente intrecciati. Generalmente 4 coppie sono raggruppate insieme in una guaina di plastica per ottenere otto fili.
- **Categoria 5** (1988): più intrecciamenti per centimetro e isolamento in teflon => minori interferenze e una migliore qualità del segnale su distanze più lunghe => più adatti a comunicazioni ad alta velocità.

UTP (Unshield Twisted Pair) => Doppini Non Schermati



- **STP (Shielded Twisted Pair) (IBM)** voluminosi, costosi, cavi schermati da interferenze elettromagnetiche.

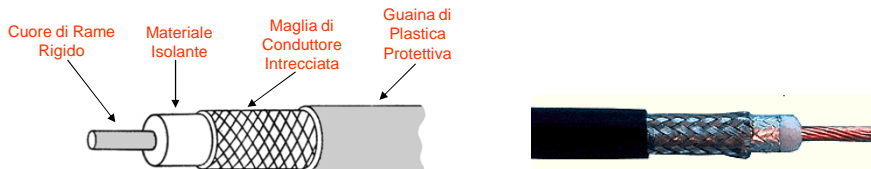


MEZZI GUIDATI (3): Cavo Coassiale

- Detto comunemente "**COAX**", offre migliori prestazioni rispetto al cavo intrecciato, e può percorrere distanze più lunghe ad una velocità maggiore.
- Due tipi di cavo coassiale:
 - ✓ **Banda Base**
 - ✓ **Larga Banda**

CAVO COASSIALE A BANDA BASE

- Un tipo a **50 Ω** , è comunemente usato per le trasmissioni digitali.
- La struttura di un cavo coassiale è quella indicata in figura:



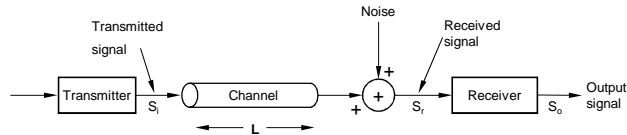
- La costruzione e la schermatura del cavo coassiale dà una buona combinazione di alta larghezza di banda e di eccellente immunità al rumore.
- La larghezza di banda possibile dipende dalla lunghezza del cavo (**1km da 1 fino a 10 Mbps**). Per cavi di lunghezza maggiore si opera ad una velocità di trasmissioni dati più bassa o facendo uso di amplificatori.
- I cavi coassiali sono usati nei sistemi telefonici, per la televisione via cavo e per alcune LAN.

CAVO COASSIALE A LARGA BANDA

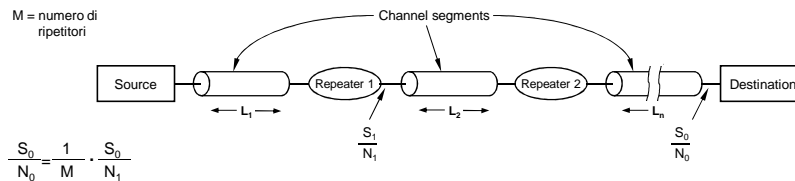
- A **75 Ω** è usato per la trasmissione analogica della televisione via cavo.
- Nel mondo delle reti di computer "cavo a larga banda" denota una rete di cavi che impiega la trasmissione analogica.
- Le reti a larga banda usando la tecnologia standard della televisione via cavo, permettono che i cavi possano essere usati fino a **300 Mhz** (e spesso a 450 Mhz) e possano correre per quasi 100 Km grazie alla segnalazione analogica, meno critica della segnalazione digitale.
- Per trasmettere segnali digitali su una rete analogica, ogni interfaccia deve contenere un circuito per convertire il flusso di bit in uscita in un segnale analogico, e il segnale analogico in entrata in un flusso di bit.

COMUNICAZIONE "BASEBAND"

- La trasmissione è ottenuta senza ricorrere alla modulazione.
- E' la tecnica maggiormente utilizzata nelle reti.
- Economica.
- Le prestazioni sono limitate dalle presenza di rumore additivo.

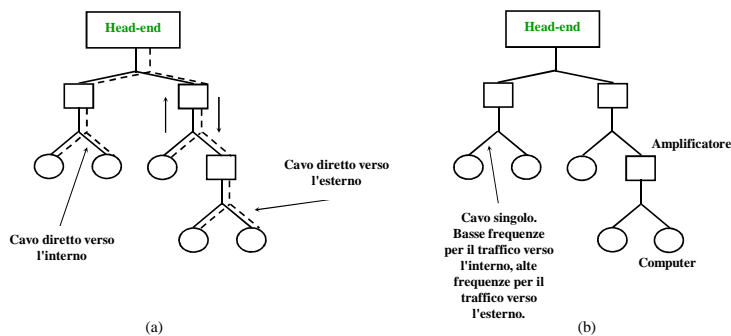


- L'uso di ripetitori limita la degradazione del rapporto S/N con la distanza.



SISTEMI BROADBAND

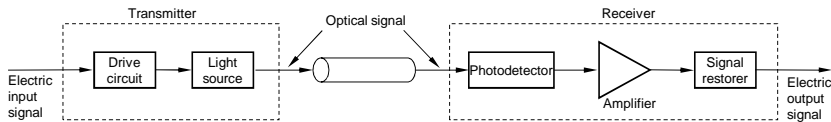
- **Sistemi a cavo doppio** (a): hanno due cavi identici stesi in parallelo, uno vicino all'altro. I computer ricevono su un cavo e trasmettono sull'altro. In ognuno dei due cavi è posto un amplificatore, collegato nel verso giusto.
- **Sistemi a singolo cavo** (b): alloca bande di frequenza differenti per le comunicazioni in entrata e in uscita su un singolo cavo. 2 amplificatori che operano su bande di frequenza diversa, collegati nei due versi.



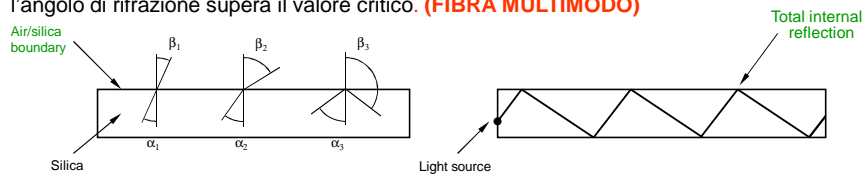
FIBRA OTTICA

Un sistema di trasmissione ottica ha tre componenti :

- mezzo fisico (fibra ottica)
- sorgente di luce (LED o LASER)
- rivelatore (fotodiodo)



La luce è confinata nella fibra dall'effetto di rifrazione all'interfaccia aria/silicio, quando l'angolo di rifrazione supera il valore critico. **(FIBRA MULTIMODO)**

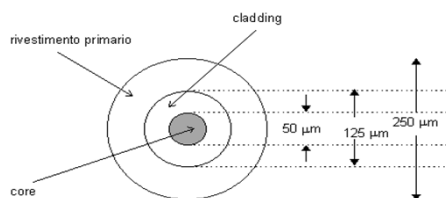


Se il diametro della fibra è ridotto ad una lunghezza d'onda della luce, essa si comporta come una guida d'onda **(FIBRA MONOMODO)**. Come sorgente è richiesto un laser.

Le fibre attualmente disponibili possono operare ad oltre 1 Gbps per 1Km, senza ripetitori.

FIBRA OTTICA E CAVI DI FIBRA

- Al centro c'è il nucleo di vetro attraverso il quale si propaga la luce.
- Nelle fibre **Multimodo**, il nucleo è di 50 m di diametro, nelle fibre a **Modo Singolo**, il nucleo varia da 8 a 10 m.
- Il nucleo è circondato da un rivestimento di vetro con indice di rifrazione più basso di quello del nucleo, per mantenere tutta la luce nel nucleo. Vicino c'è una sottile copertura di plastica per proteggere il rivestimento.
- Tipicamente le fibre sono raggruppate insieme in fasci, e protette da una guaina esterna (fig. destra).



Fibra Ottica



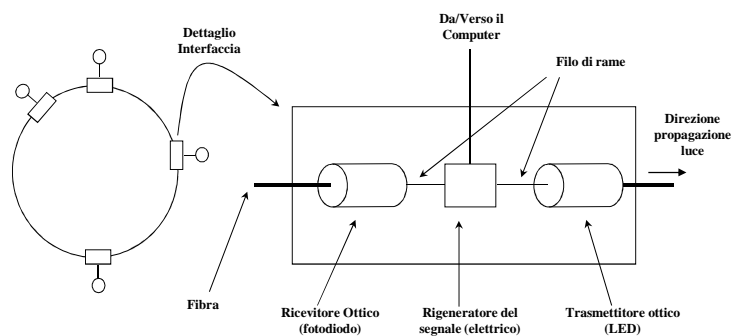
Cavo di Fibre Ottiche

RETI DI FIBRE OTTICHE

- Le fibre ottiche possono essere usate per le LAN così come per trasmissioni a lungo percorso, sebbene utilizzarle sia più complesso che connettersi a una rete Ethernet.
- Le topologie possibili per costruire LAN usando fibre ottiche sono:
 - ✓ **Topologia ad Anello.**
 - ✓ **Stella Passiva.**

TOPOLOGIA AD ANELLO

- L'interfaccia di ciascun computer fa passare il flusso di luce alla connessione successiva e serve anche come giunzione a T per permettere al computer di spedire e ricevere messaggi.



- Esistono 2 tipologie di interfacce:
 - ✓ **Interfaccia Passiva**
 - ✓ **Ripetitore Attivo**

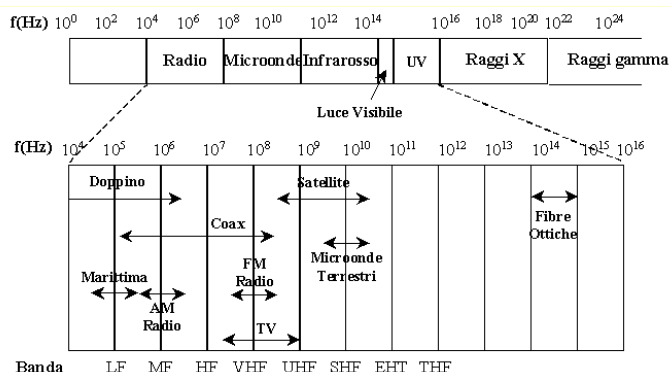
TIPOLOGIE DI INTERFACCE

- **Interfaccia Passiva:** 2 prese fuse insieme nella fibra principale. Una ha un LED o un diodo laser all'estremità (per trasmettere) e l'altra ha un fotodiodo per ricevere. La presa è completamente passiva e così è affidabile poiché un LED o un fotodiodo guasto non rompono l'anello, ma sconnettono solo la stazione dall'anello.
- **Ripetitore Attivo:** la luce in entrata è convertita in un segnale elettrico, è rigenerata a piena potenza e ritrasmessa come luce. L'interfaccia col computer è un filo di rame che entra nel rigeneratore del segnale. Sono usati anche ripetitori solo ottici, che non richiedono la conversione ottica-elettrica-ottica, possono operare a larghezze di banda estremamente alte. Se si guasta un ripetitore attivo l'anello si rompe e la rete va giù. E' possibile realizzare connessioni computer-computer molto lunghe poiché il segnale è rigenerato.

MEZZI NON GUIDATI, TRASMISSIONE SENZA FILO

- Quando gli elettroni si muovono, creano delle **Onde Elettromagnetiche** che si possono propagare attraverso lo spazio libero (persino nel vuoto).
- **Frequenza f :** numero di oscillazioni al secondo di un'onda elettromagnetica si chiama, e si misura in **Hz**.
- **Lunghezza D'Onda λ :** la distanza fra due massimi consecutivi (o minimi).
- **Principio funzionamento della comunicazione senza filo:** collegando un'antenna di dimensioni appropriate a un circuito elettrico, le onde elettromagnetiche possono essere trasmesse efficientemente e ricevute da un ricevitore a una certa distanza.
- La quantità d'informazione che può trasportare un'onda elettromagnetica è correlata alla sua larghezza di banda. Con la tecnologia attuale, è possibile codificare diversi bit per Hz.

SPETTRO ELETTRMAGNETICO



- Onde radio, microonde, infrarossi e luce visibile dello spettro possono essere usate per trasmettere informazione modulando l'ampiezza, la frequenza o la fase delle onde. La luce ultravioletta, i raggi x e gamma sarebbero ancora meglio per le loro più alte frequenze, ma sono difficili da produrre, modulare, non si propagano bene attraverso gli edifici e sono pericolosi per gli esseri viventi. Le bande elencate alla fine della figura sono i nomi ufficiali della **International Telecommunication Union (ITU)**.

TRASMISSIONE RADIO

- Le onde radio sono facili da generare, possono viaggiare per lunghe distanze (l'interferenza fra gli utenti è un problema) e penetrano facilmente negli edifici, sono largamente usate per la comunicazione sia interna che esterna.
- Sono **Omnidirezionali** cioè viaggiano dalla sorgente in tutte le direzioni => trasmittente e ricevente non devono essere fisicamente allineati.
- Le proprietà delle onde radio dipendono dalla frequenza:
 - ✓ **Basse Frequenze:** le onde radio passano bene attraverso ostacoli, ma la potenza decade precisamente con la distanza, circa come $1/r^3$ nell'aria.
 - ✓ **Alte Frequenze:** le onde radio sono soggette ad interferenza con altre apparecchiature elettriche ma possono essere concentrate (usando antenne direttive).

SISTEMA DI TRASMISSIONE-RICEZIONE RADIO

- **Il Transceiver:** è l'unità centrale, genera il segnale da trasmettere ed interpreta il segnale che riceve dalla postazione remota.
- **L'Antenna:** "cattura" il segnale che transita in aria ma al contempo può anche trasmettere il segnale che viene generato dal transceiver. L'antenna permette di "amplificare" passivamente il segnale in ricezione; se utilizziamo antenne abbastanza "sensibili" si può allungare la distanza di operatività dell'intero sistema.
- **Il Cavo Di Collegamento Transceiver-Antenna:** poichè gli apparati che utilizziamo sono limitati per legge ad una certa potenza di trasmissione, se il cavo di collegamento non è di ottima qualità gran parte del segnale si disperderà in esso diminuendo notevolmente il "range" di azione (un cavo con bassa dispersione a 2.4 GHz ha un costo notevole ma è necessario).

WLAN

Principi di funzionamento:

- Le WLAN utilizzano le **onde elettromagnetiche, radio (RF) o infrarosse (IR)**, per trasferire informazioni da un punto all'altro senza una connessione fisica.
- I dati trasmessi sono sovrapposti alla portante (**modulati**) in modo che possano essere accuratamente estratti dal ricevitore. Il segnale modulato non occupa più una singola frequenza ma uno spettro di frequenze, dipendente dalla velocità dell'informazione.
- Per estrarre i dati il ricevitore sintonizza la portante e demodula i segnali nello spettro adiacente, captando tutti i segnali alle altre frequenze.
- I terminali degli utenti accedono alla WLAN attraverso adattatori wireless realizzati come **PCMCIA card** o schede **PCI-ISA**. Gli adattatori forniscono inoltre l'interfaccia con il sistema operativo di rete.

WLAN

- Le configurazioni descritte funzionano sul principio della copertura di uno spazio, chiamato **Micro-cella**, in cui i dispositivi wireless possono comunicare.



- Un insieme di Micro-celle permette un roaming limitato, da cella a cella, purché ci sia sufficiente sovrapposizione tra esse.
- La dimensione della cella, cioè la distanza coperta, è limitata dalla potenza emessa.

WLAN

- L'**Access Point**, o meglio la sua antenna, è solitamente montato in una qualsiasi posizione per ottenere la copertura radio richiesta e generalmente nell'area da coprire vengono installati diversi punti di accesso, collegati tra di loro tramite una dorsale cablata.

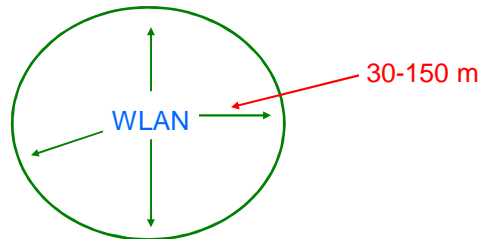


- Un terminale è sempre associato ad un singolo Access Point e a una cella.

WLAN

Distanza, copertura e throughput: (1/2)

- La distanza su cui le onde RF possono comunicare dipende dalla tecnica, dalla propagazione e dall'interazione con i tipici oggetti presenti negli edifici, come muri, metalli e anche persone.



- La maggior parte dei sistemi wireless LAN utilizzano onde radio RF che penetrano muri e superfici interne. La **distanza (raggio di copertura)** per sistemi WLAN tipicamente varia tra **30-150 m**.

WLAN

Distanza, copertura e throughput: (2/2)

- Il **throughput** dipende dalla predisposizione della velocità di trasferimento dati del prodotto. I fattori che ne determinano il valore reale sono:
 - **la congestione delle frequenze** (numero di utenti).
 - **fattori di propagazione** (distanza, interferenze da riflessione, tecnologia).
 - **latenze e colli di bottiglia sulle parti cablate**.

La tecnologia sottostante

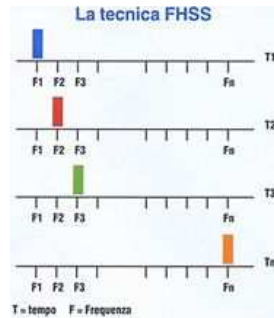
Lo sviluppo delle WLAN è essenzialmente basato sulle tecnologie radio **Spread-Spectrum (SS)**.



WLAN

FHSS: il salto delle frequenze

- FHSS utilizza una portante a banda stretta che cambia frequenza in base a una sequenza (codice PN) conosciuta dal trasmettitore e dal ricevitore.



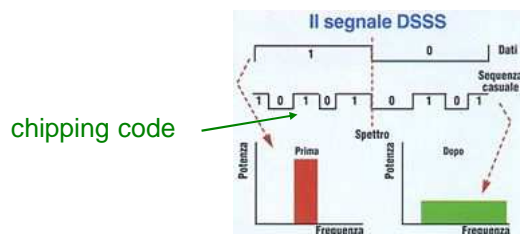
Sequenza delle frequenze (F_1, F_2, \dots, F_n) generate negli istanti T_1, T_2, \dots, T_n

- Il salto di frequenza (**Frequency hop**) avviene su una differenza di frequenze (FSK) tale da evitare le interferenze.

WLAN

DSSS: il metodo a sequenza diretta

- DSSS genera una sequenza ridondante di bit per ogni bit in ingresso. La sequenza è chiamata "chip" o "chipping code";



- Al crescere della velocità del chip (chip-rate), deve naturalmente crescere anche la larghezza di banda.

- Tanto più grande è la lunghezza del chip, maggiore è la probabilità che i dati originali possano essere ricostruiti.

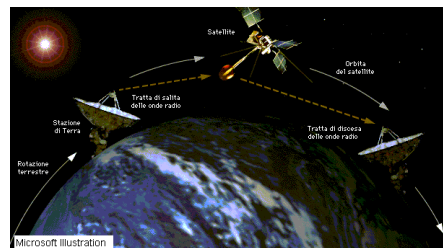
WLAN

DSSS: il metodo a sequenza diretta

- Il "chipping code" appare come uno pseudo-rumore (PN). Il codice PN viene utilizzato per codificare il segnale di informazione e trasmesso utilizzando una delle diverse tecniche di modulazione (BPSK, QPSK e altre).
- Si utilizza quindi un mixer bilanciato doppio per moltiplicare la portante RF e i dati codificati da PN.
- Questo processo fa sì che il segnale RF sia rimpiazzato da un segnale a banda molto larga con lo spettro equivalente del rumore (PN).
- Il processo di demodulazione (per il caso BPSK) è quindi semplicemente un mixer/moltiplicatore della stessa portante codificata in PN con il segnale RF entrante.

Comunicazioni Satellitari

- Si qualificano come uno dei mezzi trasmissivi più versatili per fornire servizi di telecomunicazioni internazionali, regionali e domestici in tutto il mondo.
- Un satellite è un dispositivo trasmissivo per telecomunicazioni che riceve un segnale da una stazione sulla superficie terrestre (ground station), lo amplifica e lo trasmette (broadcast) a tutte le stazioni a terra capaci di vederlo e riceverne le trasmissioni.
- Nessuna trasmissione a livello utente finale ha origine o termina sul satellite.
- Una trasmissione satellitare inizia dunque da una singola stazione a terra, passa attraverso il satellite e finisce ad una o più stazioni di terra.



Comunicazioni Satellitari

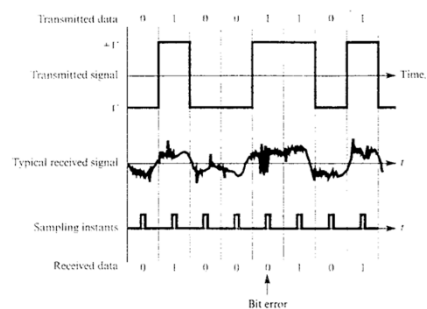
Satelliti GEO:

- Il periodo orbitale è uguale a quello di un punto sulla superficie terrestre.
 - L'altitudine del satellite approssima la lunghezza della circonferenza terrestre.
- ⇒ Il ritardo: una delle maggiori restrizioni delle comunicazioni satellitari.
- I segnali radio trasmessi verso un satellite viaggiano alla velocità della luce (**300.000 Km/s**); a quella velocità essi impiegano circa **125 ms** per raggiungere il satellite e altrettanto per ritornare sulla terra.
 - Questo ritardo di **250 ms** (un quarto di secondo) nella propagazione del segnale è molte volte superiore al ritardo per un segnale trasmesso attraverso qualunque altro link terrestre.



Limiti dei mezzi trasmissivi wired

Poiché i segnali sono attenuati e distorti dai mezzi trasmissivi, un ricevitore può essere incapace di distinguere correttamente i bit 1 dagli 0.



L'attenuazione e la distorsione sono fortemente influenzati da :

- tipo di mezzo trasmissivo
- bit rate del dato trasmesso
- distanza fra i dispositivi comunicanti.

Cause di Attenuazione e Distorsione dei cavi in rame.

- **Attenuazione** : limita la lunghezza massima del mezzo fisico (uso di amplificatori). Inoltre varia con la frequenza e distorce il segnale digitale.
- **Larghezza di Banda limitata** : attenua le armoniche più elevate del segnale.
- **Propagation Delay** : varia con la frequenza e introduce distorsione.
- **Noise** : Crosstalk noise, impulse noise, thermal noise.