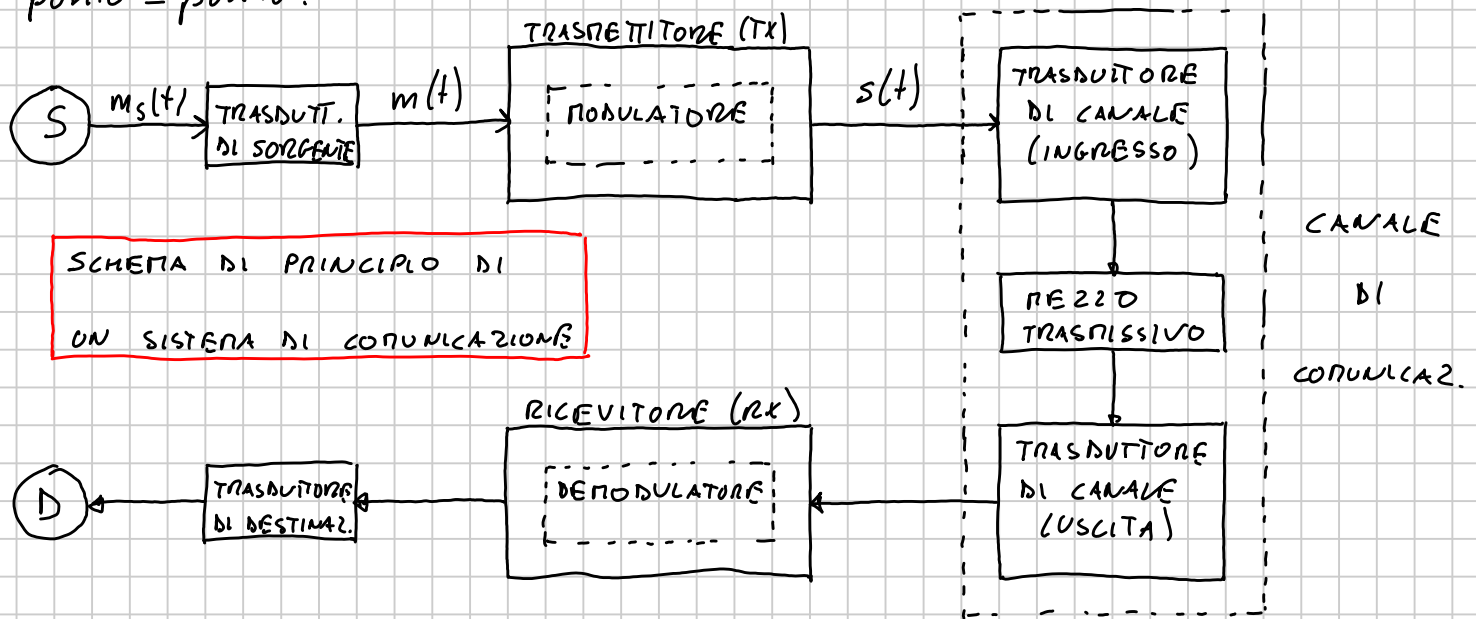


INTRODUZIONE AI SISTEMI DI COMUNICAZIONE

I sistemi di comunicazione sono sistemi che permettono di trasferire informazione tra una o più sorgenti ad una o più destinazioni. Il sistema di comunicazione basilare è quello che vede un nodo sorgente ed un nodo destinazione. Tale sistema di comunicazione si denomina come sistema di comunicazione punto - punto.



$m_s(t)$ = segnale fisico prodotto dalla sorgente (es. voce)

$m(t)$ = segnale elettrico ottenuto per trasduzione del segnale di sorgente (es. segnale audio)

$s(t)$ = segnale modulato (trasmesso)

$r(t)$ = segnale ricevuto

$\hat{m}(t)$ = segnale demodulato

$\hat{m}_s(t)$ = segnale trasdotto

NODO DI SORGENTE: genera il messaggio (informazione) da comunicare

NODO DI DESTINAZIONE: riceve il messaggio trasmesso

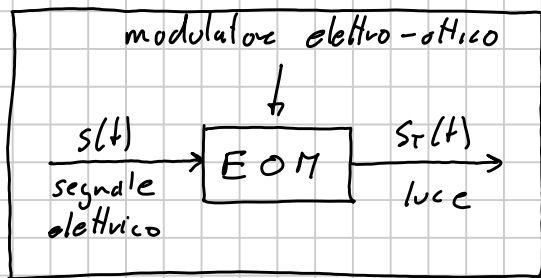
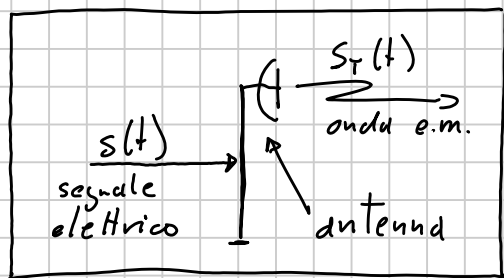
TRASDUTTORE DI SORGENTE: può convertire, ove necessario, il supporto fisico del segnale $m_s(t)$ così da generare un segnale elettrico opportuno per la trasmissione.

TRASMETTITORE: converte il segnale elettrico $m(t)$ in un nuovo segnale elettrico adatto per la trasmissione attraverso il canale di comunicazione a disposizione. Effettua sostanzialmente le seguenti operazioni:

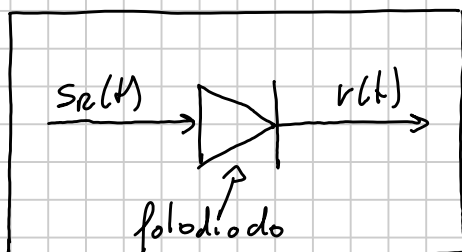
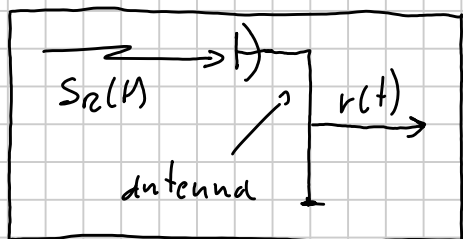
- 1) traslatore in frequenza (modulazione): fa sì che la occupazione di banda del segnale sia a cavallo di una opportuna frequenza centrale.
- 2) sagomatura: garantisce che la occupazione di banda sia quella ottimale e che non disturbi eventuali altre comunicazioni presenti nello stesso canale di comunicazione.

CANALE DI COMUNICAZIONE: permette il trasferimento del segnale $s(t)$ dal nodo sorgente a quello di destinazione. Il canale di comunicazione prevede:

- 1) un trasduttore di ingresso: converte il segnale elettrico $s(t)$ in un segnale con supporto fisico compatibile con il mezzo trasmissivo (es. onde e.m. per la trasmissione in aria, luce per la trasmissione su fibra ottica, ecc.)



- 2) un mezzo trasmissivo: rappresenta il mezzo fisico sul quale si propaga il segnale trasmesso (es. aria o vuoto per le onde e.m.) o la fibra ottica per segnali luminosi)
- 3) un trasduttore di uscita: converte il segnale ricevuto tramite il mezzo trasmissivo in un segnale elettrico $r(t)$.



RICEVITORE: trasforma il segnale $r(t)$ in un segnale $\hat{m}(t)$ traslando il segnale in frequenze (operazione di demodulazione) e operando un filtraggio. L'operazione di filtraggio si rende necessaria in quanto il segnale è generalmente una versione modificata del segnale $s(t)$ ($r(t) \neq s(t)$) a causa di:

·) presenza di rumore introdotto dal canale di comunicazione e dai dispositivi elettronici che compongono il ricevitore.

·) presenza di distorsioni introdotte dal canale di comunicazione

In ogni caso il ricevitore deve effettuare una operazione di sagomatura inversa per ottenere il segnale $\hat{m}(t)$ in modo che esso sia il più simile possibile al segnale $m(t)$.

Una condizione necessaria sul ricevitore è la seguente:

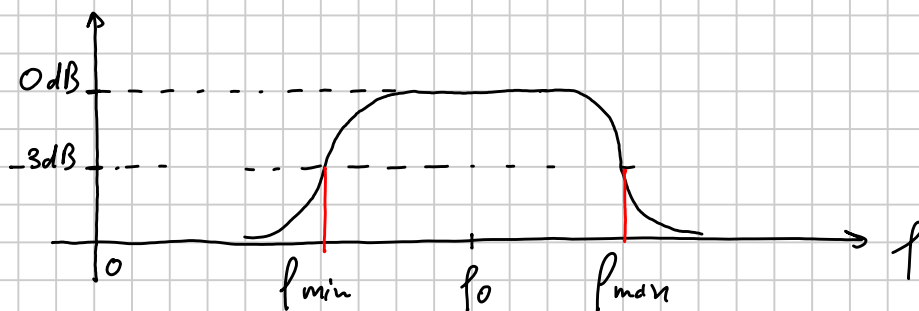
$$\text{Se } r(t) = s(t) \quad \text{allora} \quad \hat{m}(t) = m(t)$$

Questa condizione deve essere interpretata nel seguente modo:

" se il segnale ricevuto è identico a quello trasmesso (assenza di disturbi introdotti dal canale di comunicazione) allora il segnale demodulato $\hat{m}(t)$ deve essere identico a $m(t)$.

BANDA PASSANTE E LARGHEZZA DI BANDA DI UN CANALE DI COM.

Si può applicare il concetto di banda di un filtro

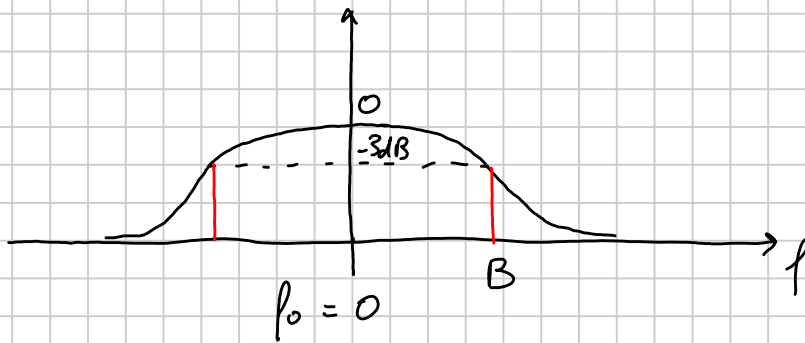


$$\text{BANDA PASSANTE: } \{ f : f_{\min} \leq f \leq f_{\max} \}$$

$$\text{LARGHEZZA DI BANDA: } B = f_{\max} - f_{\min}$$

$$\text{FREQUENZA CENTRALE: } f_0 = \frac{f_{\max} + f_{\min}}{2}$$

Per i canali in banda base



CANALI A BANNA LARGA E A BANNA STRETTA

Il concetto di banda larga o stretta è relativo alla frequenza centrale

$$\text{BANNA LARGA} \Rightarrow f_0 \leq 2B$$

$$\text{BANNA STRETTA} \Rightarrow f_0 > 2B$$

Esempi:

1) DOPPIO TELEFONICO

BANNA PASSANTE: 300 Hz ÷ 4 KHz
(banda lineare)

$$f_0 = 2.15 \text{ KHz}$$

$$B = 3.7 \text{ KHz}$$

BANNA LARGA

2) CANALE RADIO (DVB-T)

$$f_0 = 400 \text{ MHz}$$

$$B = 8 \text{ MHz}$$

BANNA STRETTA

NB. nonostante la larghezza di banda nel secondo caso sia maggiore che nel primo caso, si ha che nel primo caso la banda è larga e nel secondo caso è stretta.

IL CANALE RADIO

Il canale radio merita un po' di attenzione in quanto rappresenta il canale per le comunicazioni "wireless".

Caratteristiche principali di un canale radio

- 1) È sempre un canale passa-banda
- 2) È tipicamente un canale a banda stretta
- 3) I trasduttori di canale sono detti ANTENNE, e queste devono avere delle dimensioni non inferiori a $\frac{\lambda}{10}$. Questo comporta dei limiti inferiori alle frequenze utilizzabili per la trasmissione radio.

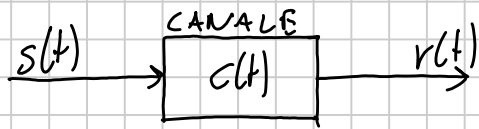
$$\lambda = \frac{c}{f}$$

LF (Low Frequency)	30 - 300 KHz (1 - 10 km)	Radiolocalizzazione marittima e aeronautica
MF (Medium Frequency)	300 - 3000 KHz (100 - 1000 m)	Radionavigazione e radiodiffusione
HF (High Frequency)	3 - 30 MHz (10 - 100 m)	Collegamenti a lunga distanza (riflessione ionosferica)
VHF (Very High Freq.)	30 - 300 MHz (1 - 10 m)	Radio diffusione
UHF (Ultra High Freq.)	300 - 3000 MHz (0.1 - 1 m)	Servizi TV, telefonia mobile
SHF (Super High Freq.)	3 - 30 GHz (1 - 10 cm)	TV satellitare, ponti radio

SISTURBI INTRODOTTI DAL CANALE DI COMUNICAZIONE

Il canale di comunicazione introduce distorsioni sul segnale trasmesso che possono essere descritte da trasformazioni deterministiche. In prima approssimazione tali distorsioni si possono assumere lineari e stazionarie.

Quindi, sotto questa ipotesi, il canale di comunicazione può essere visto come un filtro lineare e stazionario, che può introdurre quindi distorsioni lineari. La sua modellizzazione può essere a questo punto definita come segue:

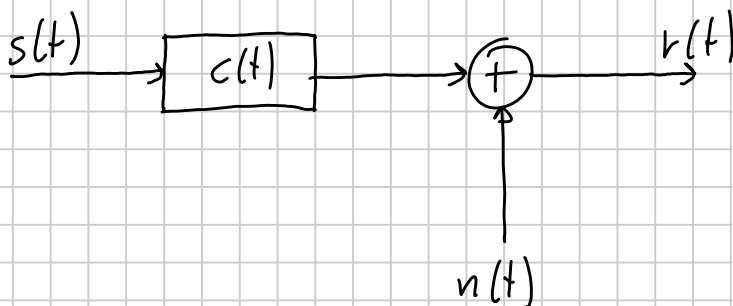


$$r(t) = s(t) \otimes c(t)$$

$c(t)$ = risposta impulsiva
del canale di
comunicazione

Il canale di comunicazione introduce inoltre un disturbo di tipo aleatorio, noto come RUMORE. Tale rumore si può quindi modellare come un processo aleatorio di tipo additivo, che quindi si somma alla componente utile del segnale ricevuto.

Quindi la modellizzazione completa di un canale di comunicazione può essere, in prima approssimazione, definita come segue:



$$r(t) = s(t) \otimes c(t) + n(t)$$

CANALE IDEALE

$$1) c(t) = \delta(t)$$

$$2) n(t) = 0$$

}

$$r(t) = s(t)$$

SISTEMI DI COMUNICAZIONE ANALOGICI

Un sistema di comunicazione si dice analogico quando sia $m(t)$ che $\hat{m}(t)$ sono segnali analogici.

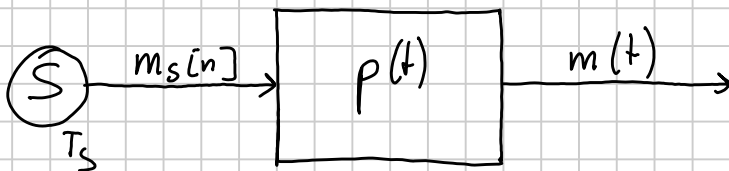
Da notare che:

- 1) ovviamente anche $m_s(t)$ e $\hat{m}_s(t)$ sono segnali analogici, in quanto differiscono rispettivamente da $m(t)$ e $\hat{m}(t)$ per un cambio del supporto fisico.
- 2) $s(t)$ e $r(t)$ sono sempre segnali analogici in quanto il primo deve essere trasdotto in un segnale fisico e immesso nel mezzo trasmissivo ed il secondo si ottiene per trasduzione di un segnale fisico.

SISTEMI DI COMUNICAZIONE NUMERICI

Per definizione un sistema di comunicazione numerico è tale quando $m_s(t)$ e $\hat{m}_s(t)$ sono sequenze numeriche ($m_s[n]$ e $\hat{m}_s[n]$) e $m(t)$ e $\hat{m}(t)$ sono "segnali numerici".

N.B. $s(t)$ e $r(t)$ continuano ad essere segnali analogici.



T_s = periodo di segnalazione della sorgente

$m_s[n]$ = sequenza generata dalla sorgente con periodo di segnalazione T_s . Ogni simbolo di $m_s[n]$ appartiene ad un alfabeto prefinito

$$m_s[n] \in A_s, \quad A_s = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_M\}, \quad M \geq 2$$

La sequenza $m_s[n]$ può essere vista come il risultato (realizzazione) del campionamento di un processo aleatorio.

$$M(t) \xrightarrow{T_s} M[nT_s] = M[n]$$

$M(t)$ = processo aleatorio

$M_s[n]$ = v.d. estratta dal processo

Si definisce la sequenza aleatoria di sorgente come

$$\{M_s[n] \in A_s, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$$

N.B. $m_s[n]$ è una realizzazione di $M[n]$

Alla destinazione si definisce in maniera analoga la sequenza di destinazione

$$\{\hat{M}_s[n] \in A_s, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$$

Il segnale $m(t)$ è ottenuto dalla sequenza aleatoria di sorgente tramite una operazione di modulazione che è del tutto equivalente alla operazione di interpolazione

$$m(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} m_s[n] p(t - nT_s)$$

dove $p(t)$ è l'impulso in trasmissione.

Ad esempio $p(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T_s}\right)$

TASSO DI EROGAZIONE DELLA SORGENTE

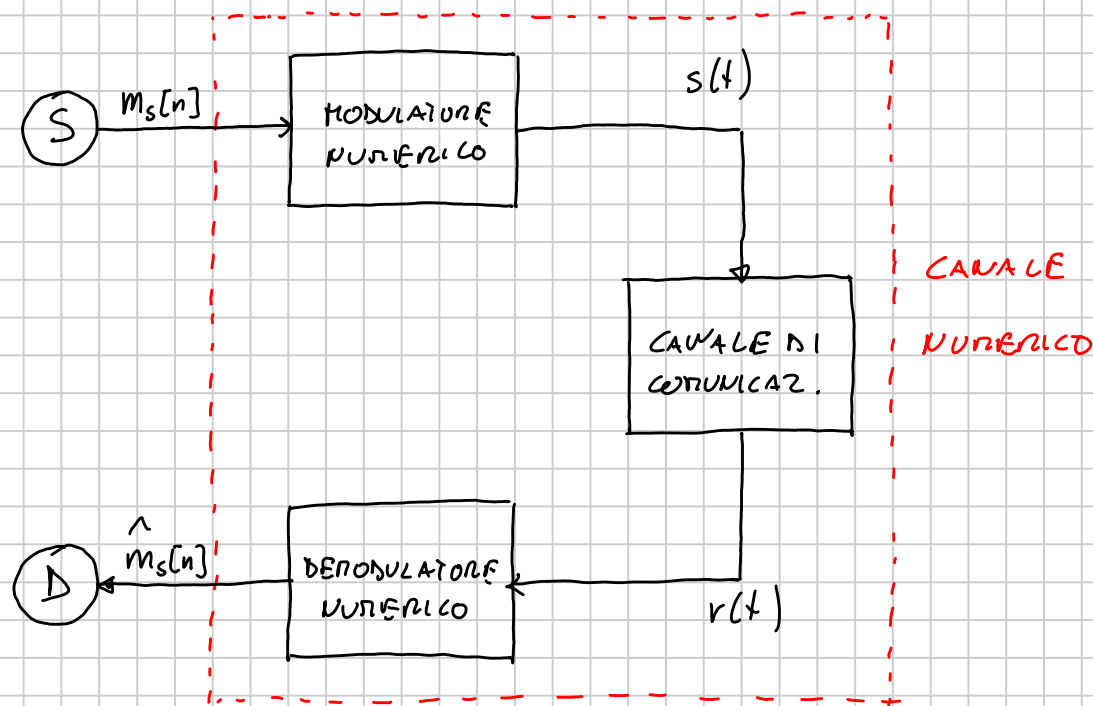
$R_s \triangleq \frac{1}{T_s}$ è il rate con cui escono i simboli appartenenti all'alfabeto A_s

Se è presente una codifica binaria, per rappresentare un simbolo dell'alfabeto A_s occorrono $\log_2 M$ simboli binari.

Per cui si definisce il TASSO DI EROGAZIONE BINARIO come:

$$R_b \triangleq \frac{\log_2 M}{T_s}$$

SCHEMA FUNZIONANTE DI UN SISTEMA DI COM. NUMERICO



La coppia modulatore/demodulatore numerico può essere interpretata come un livello di trasduzione. Questo ci permette di vedere il sistema di comunicazione come un canale numerico tra "S" e "D".

- .) La sorgente genera una sequenza di simboli appartenenti all'alfabeto A_s che vogliono trasferire al nodo di destinazione
- .) Il modulatore numerico può essere visto come l'insieme del trasduttore di sorgente e del modulatore. Questo genera quindi il segnale $s(t)$ analogico che può essere di tipo passa-basso (in banda base) o di tipo passa-banda (in banda passante).
- .) Il canale di comunicazione è sempre lo stesso (per segnali numerici e analogici.)

3) Il demodulatore numerico può essere visto come l'insieme del demodulatore e del trasduttore di destinazione. Esso produce la sequenza $\hat{m}_s[n]$ dal segnale $r(t)$.

Un canale numerico ideale produce:

$$\hat{m}_s[n] = m_s[n] \quad \forall n$$

In casi pratici un canale numerico non è mai ideale, per cui ha senso definire il suo comportamento e quindi le sue prestazioni.

PROBABILITÀ DI TRANSIZIONE

$$P\{i|j\} \triangleq P\{\hat{m}_s[n] = \alpha_i \mid m_s[n] = \alpha_j\}$$

Un canale numerico è statisticamente caratterizzato quando sono note le $P\{i|j\} \quad \forall i, j$

Se le $P\{i|j\}$ non dipendono da "n" allora il canale numerico si dice STAZIONARIO.

L'insieme delle $P\{i|j\}$ è pari a M^2 dove M è la cardinalità dell'alfabeto A_s .

Per un canale ideale quindi:

$$\begin{cases} P\{i|j\} = 1 & \text{se } i=j \\ P\{i|j\} = 0 & \text{se } i \neq j \end{cases}$$

N.B. Le $P\{i|j\}$ non dipendono solo dai disturbi introdotti dal canale di comunicazione, ma anche dalla modulazione impiegata, per cui esse tengono conto delle prestazioni di tutto il sistema numerico.

MISURA DELLE PRESTAZIONI DI UN SISTEMA DI COM. NUMERICO

Le prestazioni di un sistema di comunicazione numerico sono associabili alla Probabilità di Errore di simbolo M-ario

$$P_E(M) \triangleq P\{\hat{m}_s[n] \neq m_s[n]\}$$

Se la $P_E(M)$ non dipende da "n", allora il sistema di comunicazione è STAZIONARIO.

QUALITY of SERVICE (QoS)

La qualità del servizio per un sistema di comunicazione numerico è associabile alla probabilità di errore $P_E(M)$. È ragionevole, quindi, pensare che si debba fissare una $P_E(M)$ massima, al di là della quale la QoS non è accettabile.

$$P_E(M) \leq P_{\max}$$

Es. per i servizi voce $P_{\max} = 10^{-3}$ mentre per i servizi dati queste scende a $P_{\max} = 10^{-7}$

DUALISMO BANDA E POTENZA

Aumentando la potenza del segnale in trasmissione si può fare in modo che la componente utile del segnale prevalga sulla componente di rumore. Questo intuitivamente tende a migliorare le prestazioni del sistema. La potenza però costa e comunque esistono dei limiti fisici o imposti che la limitano. Lo stesso si può dire per la banda, si può dimostrare che all'aumentare della banda del segnale trasmesso si migliorano le prestazioni del sistema. Anche la banda però è una risorsa limitata.

EFFICIENZA DI POTENZA E EFFICIENZA SPETTRALE

Una modulazione si dice:

- 1) efficiente in potenza: quando la potenza trasmessa è bassa a fronte di un certo livello di prestazioni
- 2) efficiente spettralmente: quando la banda utilizzata è piccola a fronte di un certo livello di prestazioni

Sfortunatamente sistemi efficienti spettralmente non sono anche efficienti in potenza.

VANTAGGI DI UN SISTEMA DI COM. NUMERICO RISPETTO AD UNO ANAL.

- 1) Basso costo
- 2) Sicurezza nella trasmissione di un messaggio
- 3) Trasferimento aggregato di messaggi di natura diversa (multiplexing, audio, video, dati)
- 4) Possibilità di utilizzare modulazioni e codifiche che rendono il sistema efficiente in potenza e/o spettralmente.

SVANTAGGI

- 1) Generalmente la banda occupata da un segnale numerico è maggiore del corrispondente analogico
- 2) Complessità, soprattutto per la sincronizzazione.