

Introduzione alle reti di telecomunicazioni

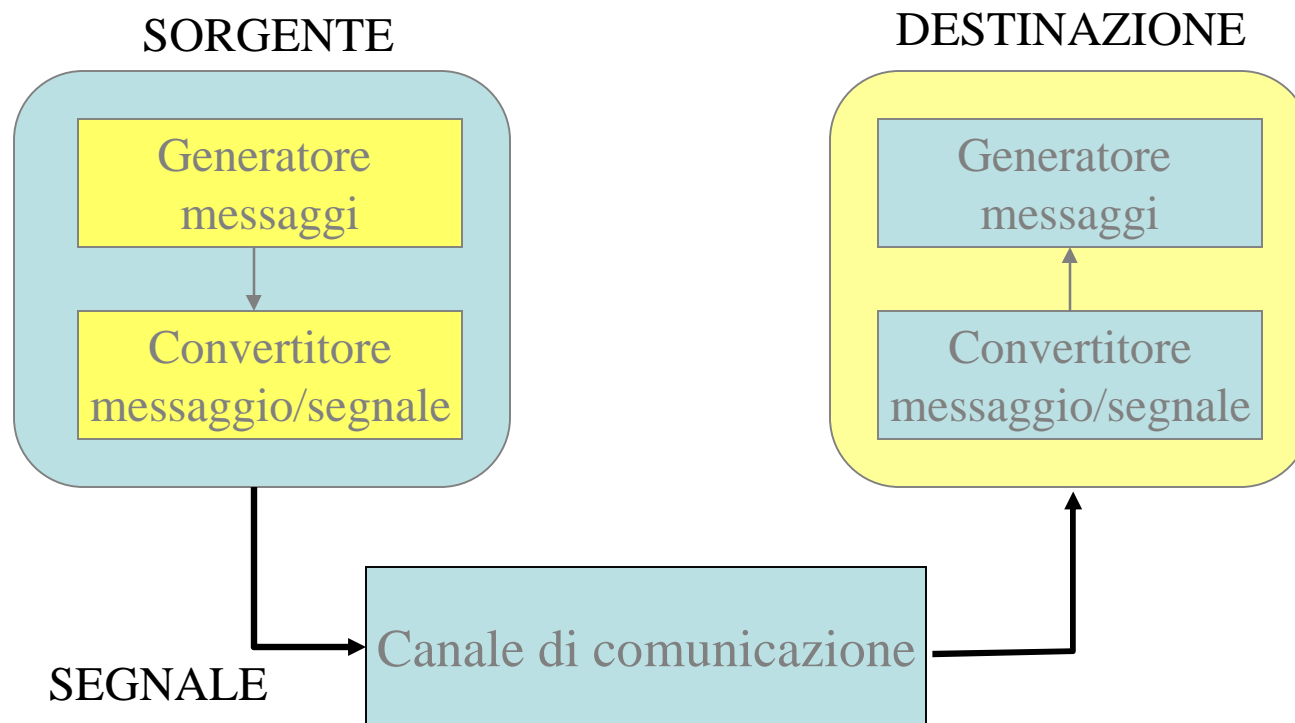
La comunicazione

È Nello studio dei sistemi di telecomunicazione si è soliti fare riferimento a tre entità fondamentali:

È il **messaggio**, che rappresenta l'oggetto della comunicazione

È la **sorgente** del messaggio

È il **destinatario** del messaggio

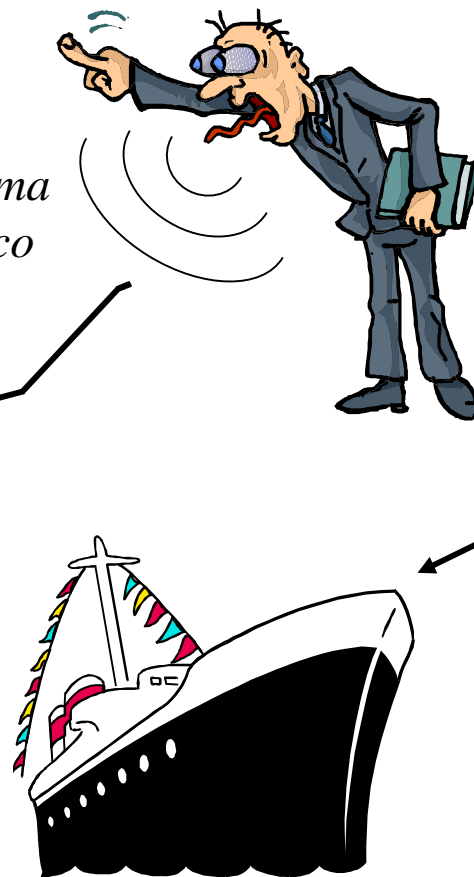
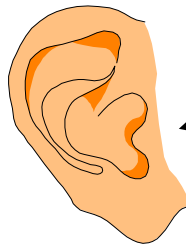


La comunicazione

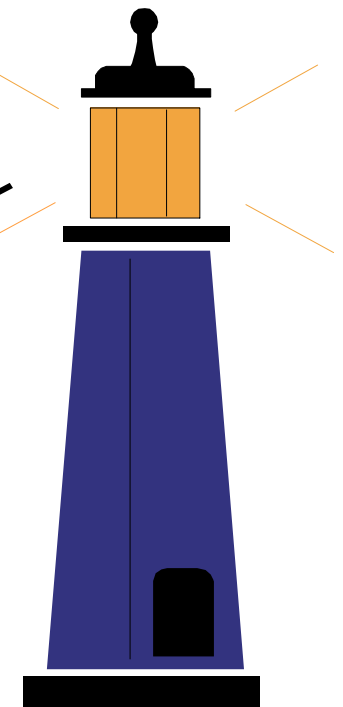
É Affinché il messaggio astratto possa giungere al destinatario è necessario concretizzarlo in una **forma fisica**:

IL SEGNALE

Messaggio in forma di segnale acustico

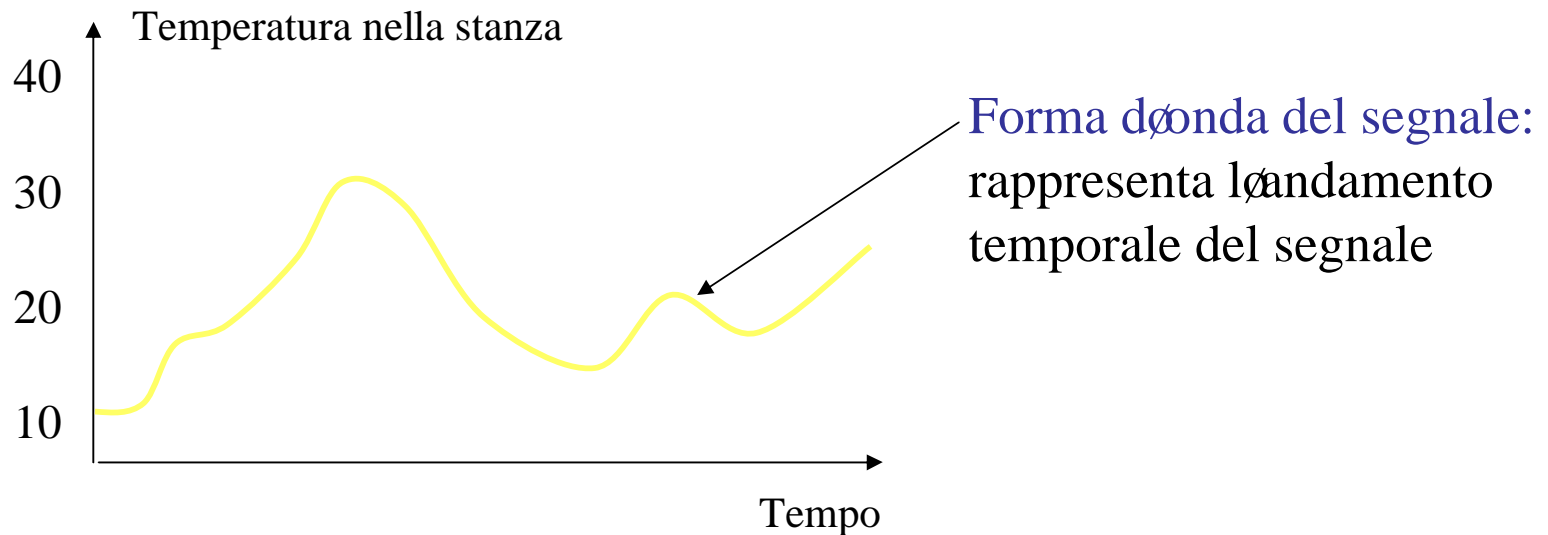


Messaggio in forma di segnale luminoso



Classificazione dei segnali

Un segnale può essere definito come una grandezza fisica che varia nel tempo



Segnali analogici



**segnali definiti per ogni
valore del tempo.**

Segnali digitali o numerici



**segnali formati da numeri di un
alfabeto finito,
ad esempio una sequenza di 0 e 1.**

La banda di un segnale

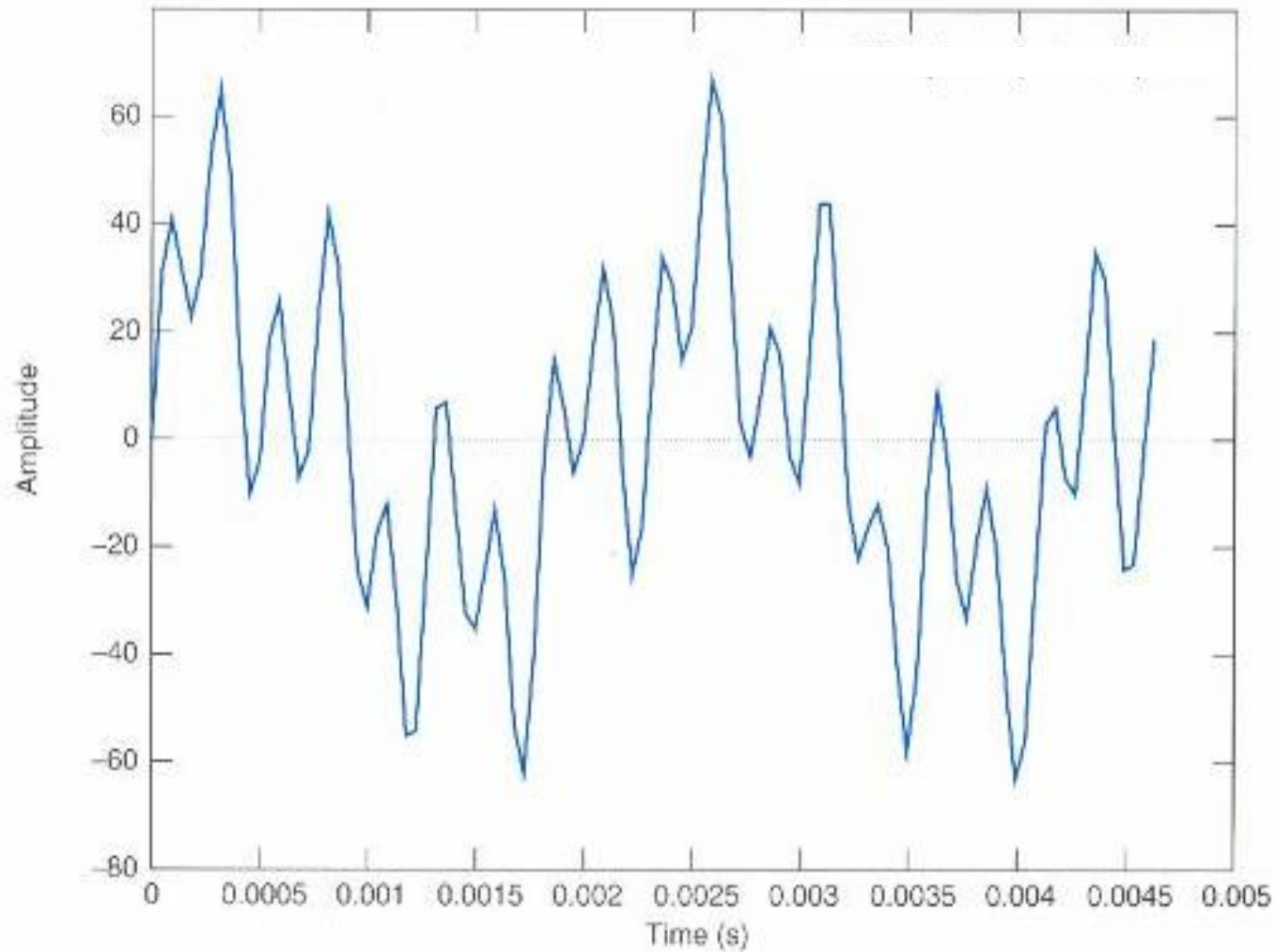
Nelle telecomunicazioni sono particolarmente importanti quei segnali per i quali tutte le armoniche di frequenza superiore ad un certo valore **B** risultano di ampiezza nulla o trascurabile.

I segnali di questo tipo si dicono **limitati in banda** ed il valore **B** prende il nome di **larghezza di banda** del segnale.

In generale si chiama **banda** l'insieme delle frequenze comprese in un certo intervallo

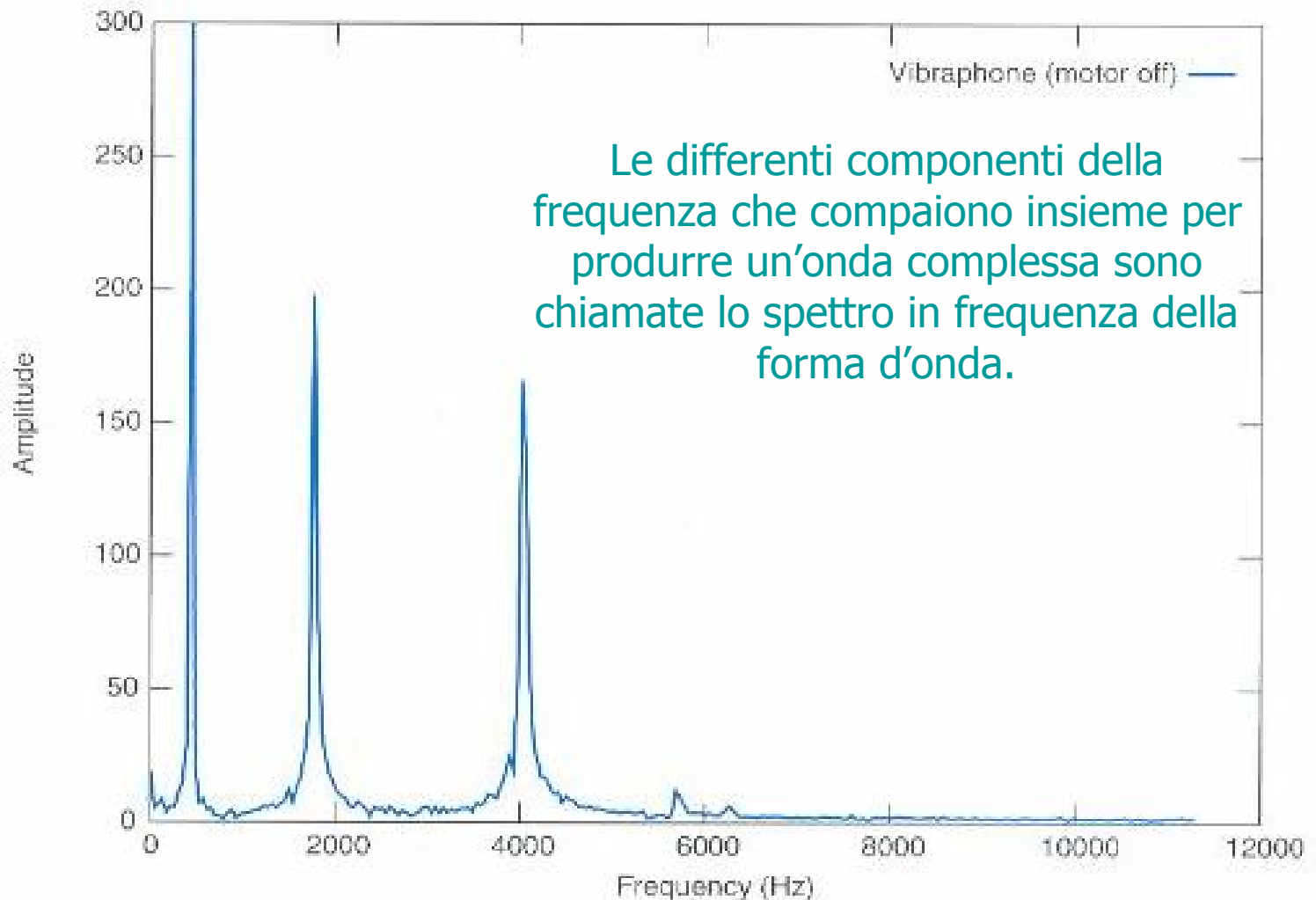
Componenti dei Segnali Audio

Nota LA su un diapason

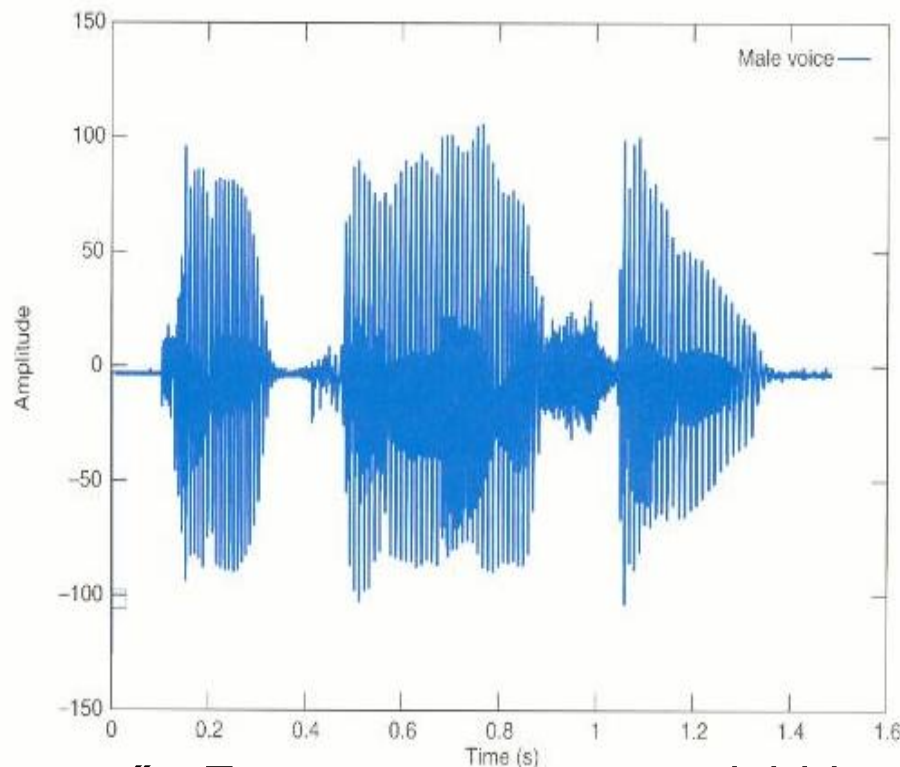


Le onde sonore sono la sovrapposizione di semplici toni puri

Composizione della Frequenza (spettro) del segnale e



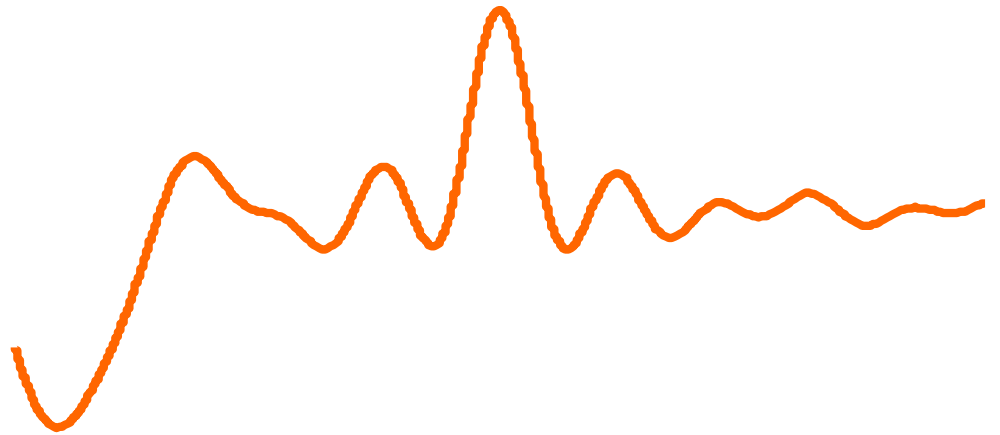
Onda sonora Vs. Spettro in Frequenza



- “ Fortunatamente, non dobbiamo conoscere lo specifico contenuto in frequenza di un segnale per digitalizzarlo.
- “ Dobbiamo solo conoscere la più alta frequenza del segnale del campione. Perché?

CLASSIFICAZIONE DEI SEGNALI

- “ I segnali possono dividersi in due classi :
- ◆ **segnali analogici** : segnali definiti per ogni valore del tempo.

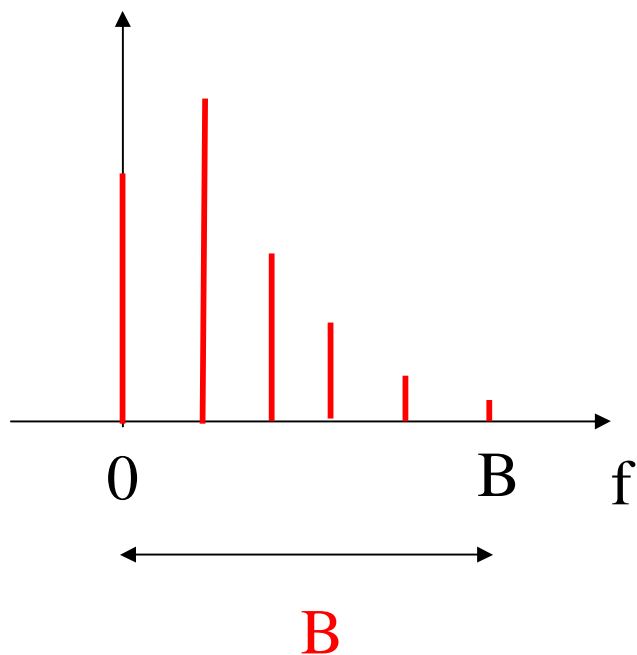


- ◆ **segnali digitali o numerici** : segnali formati da numeri di un alfabeto finito, ad esempio una sequenza di 0 e 1.

Frequenze tipiche di alcuni segnali

” Segnali sismici	1 ÷ 200 Hz
” Elettrocardiogramma	0.05 ÷ 100 Hz
” Segnali audio	20 Hz ÷ 15 kHz
” Segnali video	50 Hz ÷ 4,2 MHz
” Segnali radio AM	540 ÷ 1600 kHz
” Segnali radio FM	88 ÷ 106 MHz
” Video VHF	54 ÷ 60 MHz
” Video UHF	470 ÷ 806 MHz
” Telefonia cellulare 1	824 ÷ 891.5 MHz
” Video satellitare	3.7 ÷ 4.2 GHz
” Comunicazioni a microonde	1 ÷ 50 GHz

La banda di un segnale (periodico)



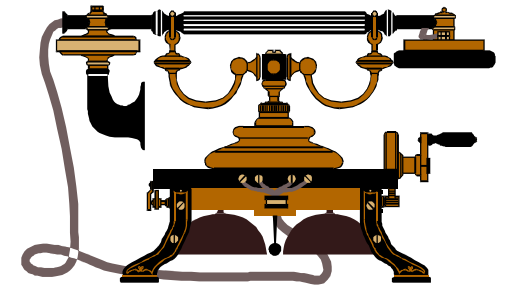
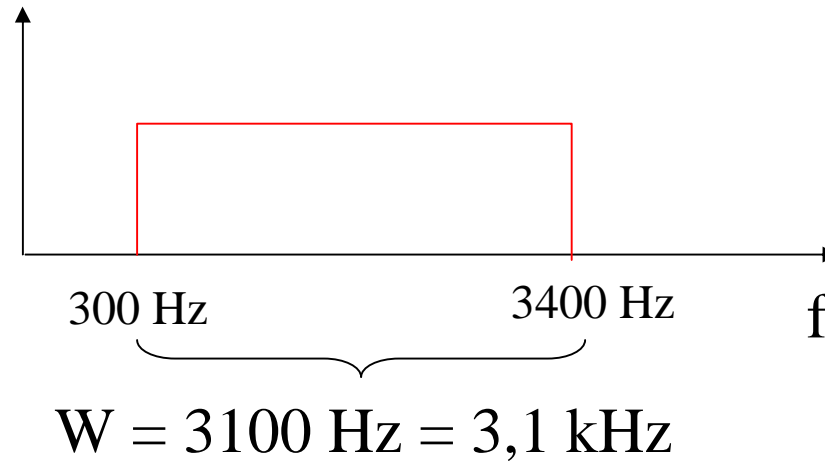
Larghezza di banda
o banda

Regola generale:

Più un segnale varia velocemente nel tempo, tanto più lentamente decrescono le ampiezze delle sue componenti armoniche e quindi tanto maggiore è la sua banda.

Esempi

L'intervallo di frequenze in cui è definito il segnale telefonico è 300 Hz - 3400 Hz. L'ampiezza di banda risulta quindi pari a 3100 Hz.



Il segnale radio di una emittente televisiva occupa una banda di circa 6 MHz.

Campionamento

Nel mondo reale tutti i segnali sono analogici.

Consideriamo ad esempio il peso di un neonato.

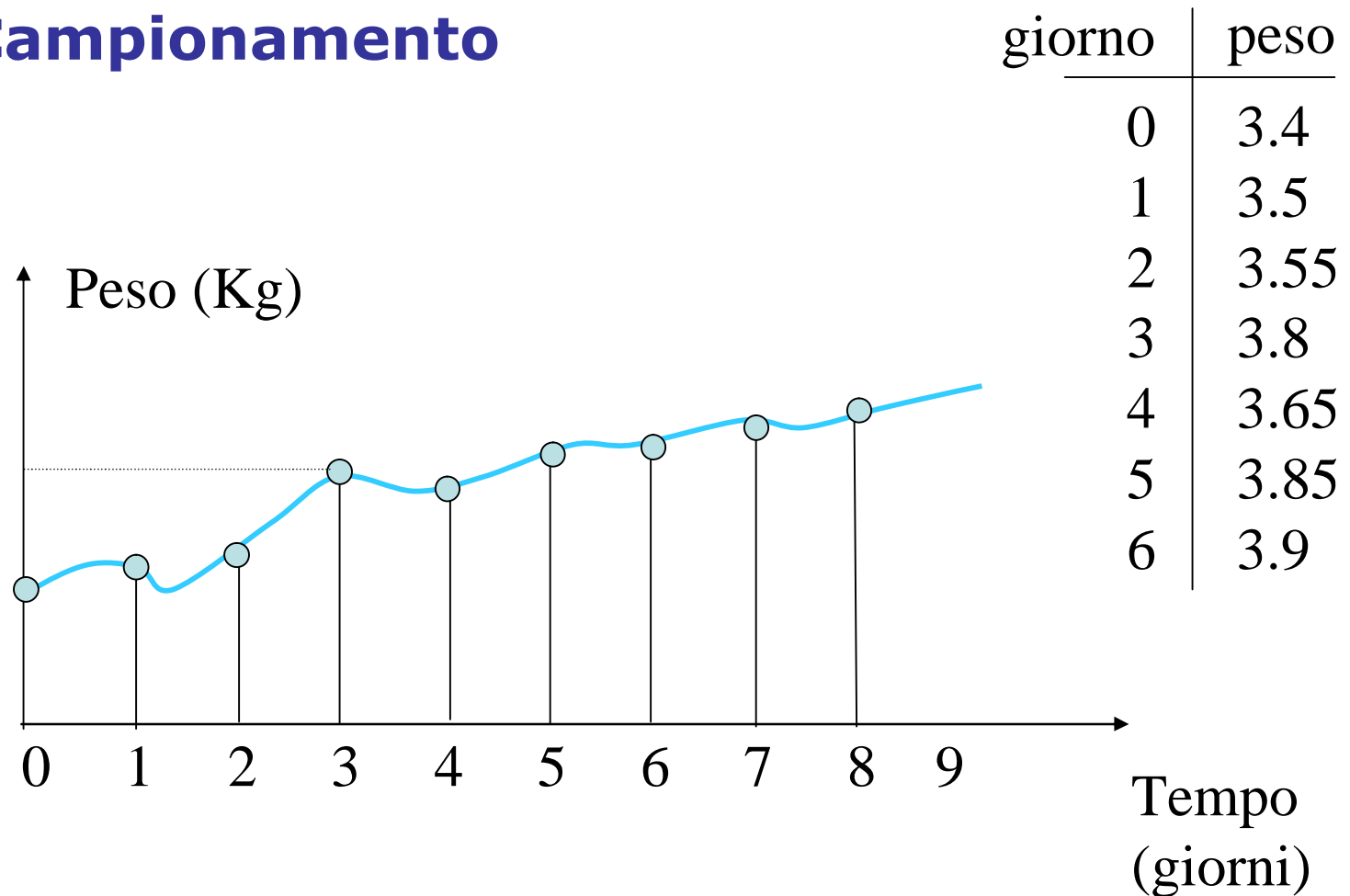


Si tratta ovviamente di una grandezza continua nel tempo: ad ogni istante temporale il bambino avrà un ben preciso peso.

Tuttavia, il peso del bambino viene misurato una volta al giorno, ad esempio alle 20:00 di ogni giorno.

Ogni valore di peso misurato si chiama **CAMPIONE** e l'operazione di pesatura giornaliera prende il nome di **CAMPIONAMENTO**

Campionamento



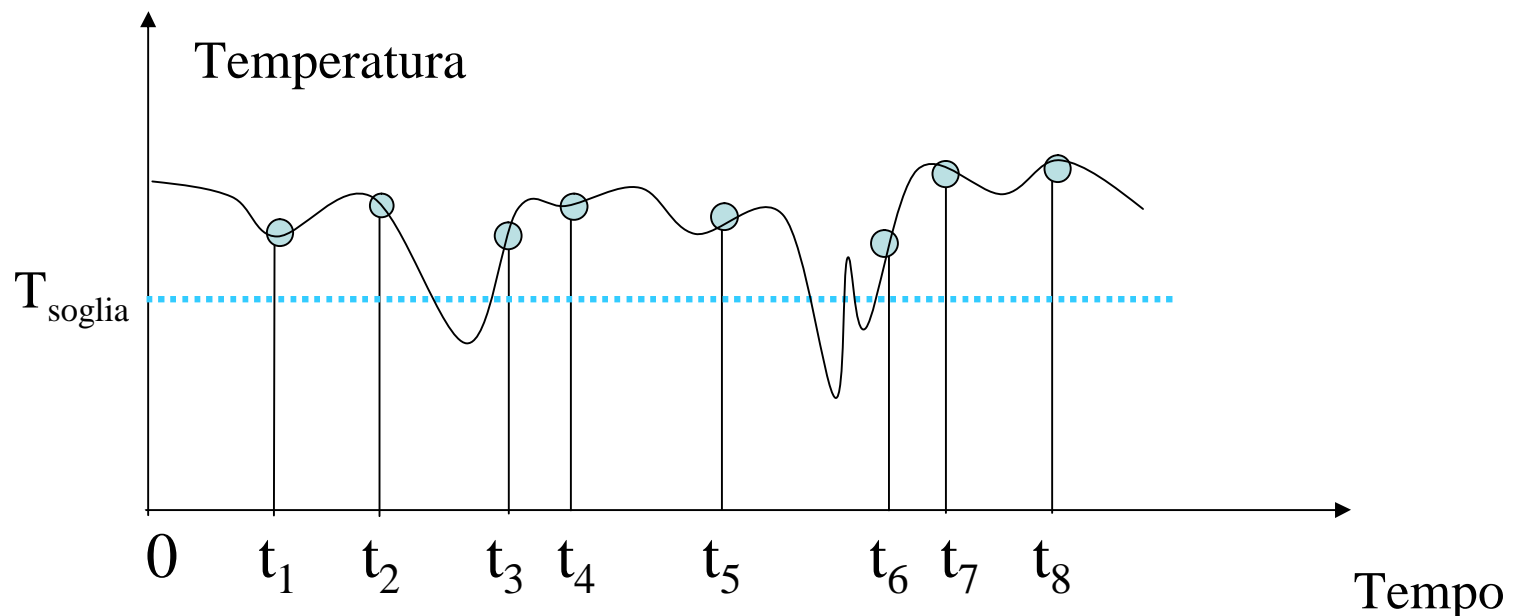
In generale, campionare un segnale è un metodo per registrare un valore istantaneo di quel segnale

Frequenza di campionamento

Supponiamo che un tecnico debba monitorare la temperatura di un acquario attraverso periodiche letture del termometro per calcolare il numero di volte che la temperatura scende sotto un valore di soglia T_{soglia} critico per la sopravvivenza dei pesci.



Supponiamo che il tecnico sia poco diligente e che effettui i rilevamenti ad istanti di tempo casuali.



Frequenza di campionamento

Dall'esempio precedente possiamo concludere che:

È necessario campionare un segnale ad intervalli di tempo regolari

È la frequenza di campionamento (numero di campioni registrati al secondo) deve essere sufficientemente elevata.

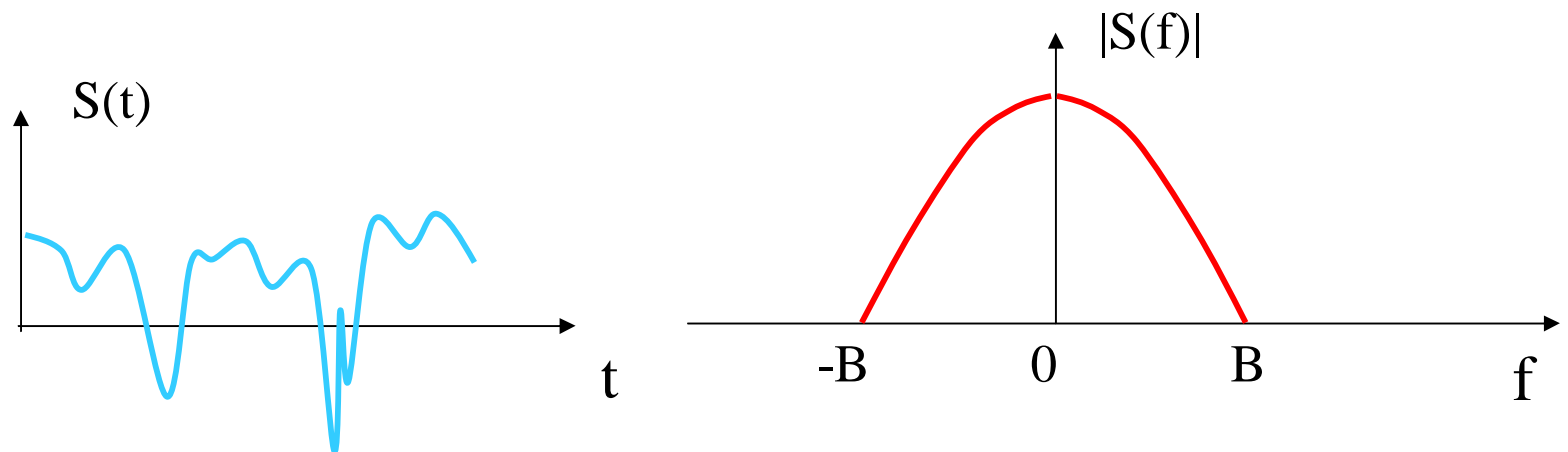
Questo problema è stato formalizzato nel 1948 da Shannon tramite il

Teorema del campionamento

che consente di descrivere un segnale analogico con banda finita mediante un numero finito di valori, detti campioni del segnale.

Teorema del campionamento

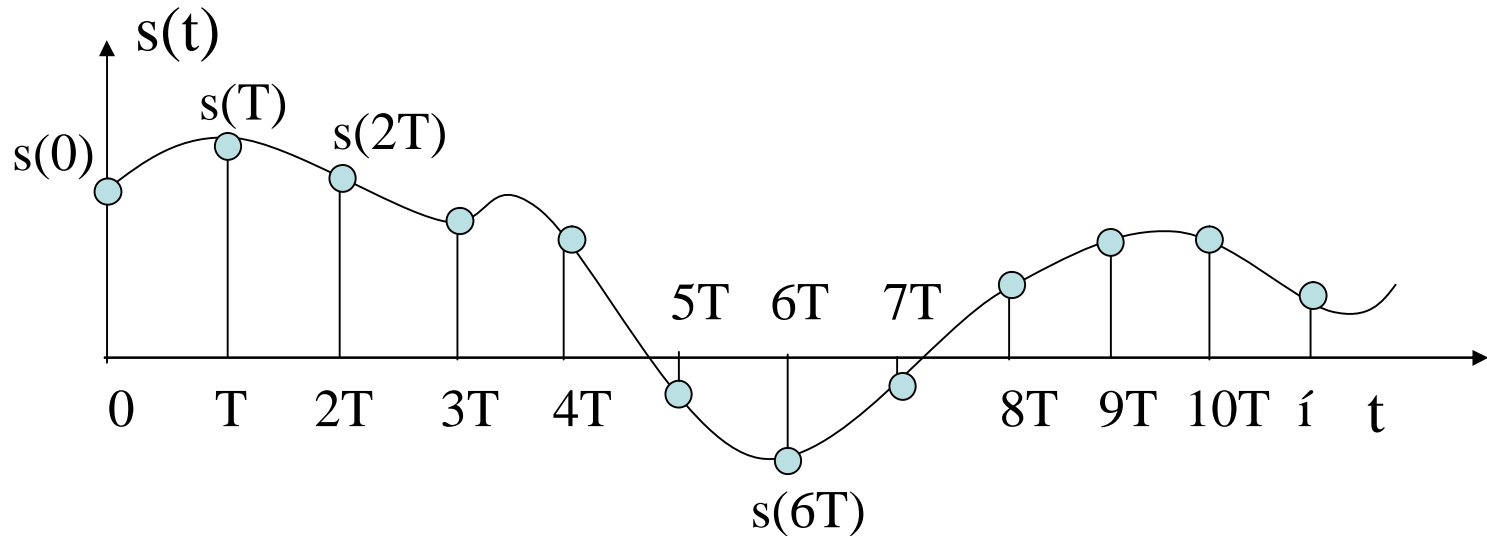
Sia dato un segnale $s(t)$ con spettro diverso da zero nella banda $(-B, B)$. Il segnale $s(t)$ risulta completamente determinato una volta noti i suoi valori $s(iT)$ agli istanti discreti $t=iT$ separati l'uno dall'altro da un intervallo di durata T purché T sia minore o uguale a $1/2B$.



$$T = \frac{1}{2B} \quad \text{Periodo di campionamento}$$

$$f_s = \frac{1}{T} = 2B \quad \text{Frequenza di Campionamento o frequenza di Nyquist.}$$

Teorema del campionamento



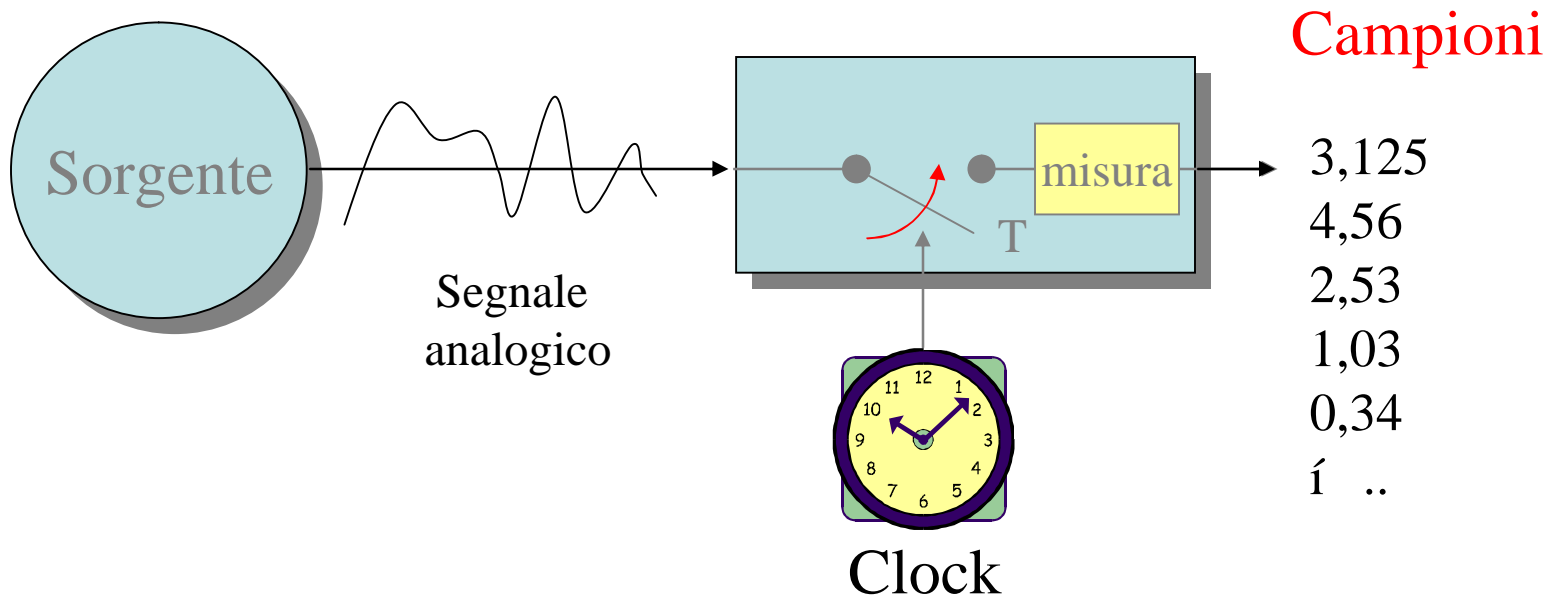
Come conseguenza del teorema del campionamento si ha che non e' necessario trasmettere il segnale $s(t)$, ma e' sufficiente conoscere il valore che esso assume ad istanti discreti separati da un intervallo di ampiezza T . Il valore $s(iT)$ prende il nome di *campione di $s(t)$* all'istante $t=iT$. L'intervallo T viene detto *intervallo di campionamento* e $f_c=1/T$ prende il nome di *frequenza di campionamento* o *frequenza di Nyquist*.

Se i campioni sono stati collezionati rispettando il teorema di Shannon, il ricevitore potrà ricostruire il segnale dalla conoscenza dei campioni.

Esempio

Abbiamo visto che il segnale telefonico ha una banda netta di 3100 Hz. A fronte di questa banda netta, si considera una banda lorda di 4 kHz.

Assumendo quindi $B = 4$ kHz, si ha che la frequenza di campionamento deve essere pari a $f_s = 2B = 8$ kHz e quindi occorre campionare il segnale telefonico ogni $T = 1/(2B) = 125 \mu\text{s}$.



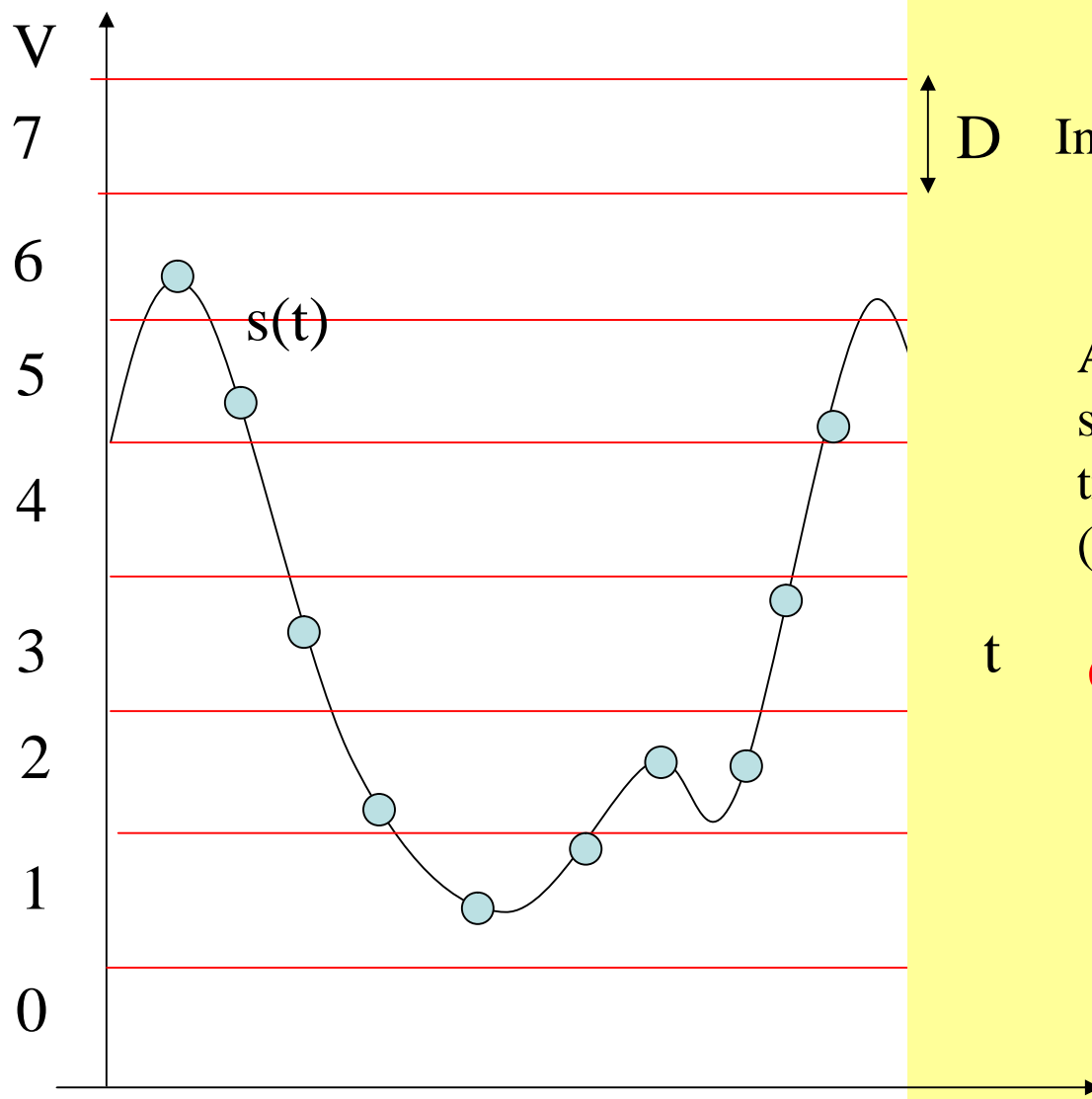
I campioni sono numeri reali che possono assumere qualsiasi valore fra un minimo ed un massimo

Quantizzazione

Il rumore e le distorsioni presenti in un canale di comunicazione limitano la qualità con cui può essere ricostruito un segnale. Per questo motivo non è in generale richiesto una riproduzione esatta del segnale trasmesso, ma solo una sua versione approssimata. I campioni del segnale trasmesso possono perciò essere approssimati mediante numeri interi; questo processo di approssimazione prende il nome di **quantizzazione**. La quantizzazione si dice lineare se tutti gli intervalli hanno la stessa ampiezza.

ESEMPIO : Consideriamo il caso di quantizzazione di un segnale con valore minimo 0 e valore massimo V mediante 8 intervalli di quantizzazione di uguale ampiezza D .

Quantizzazione

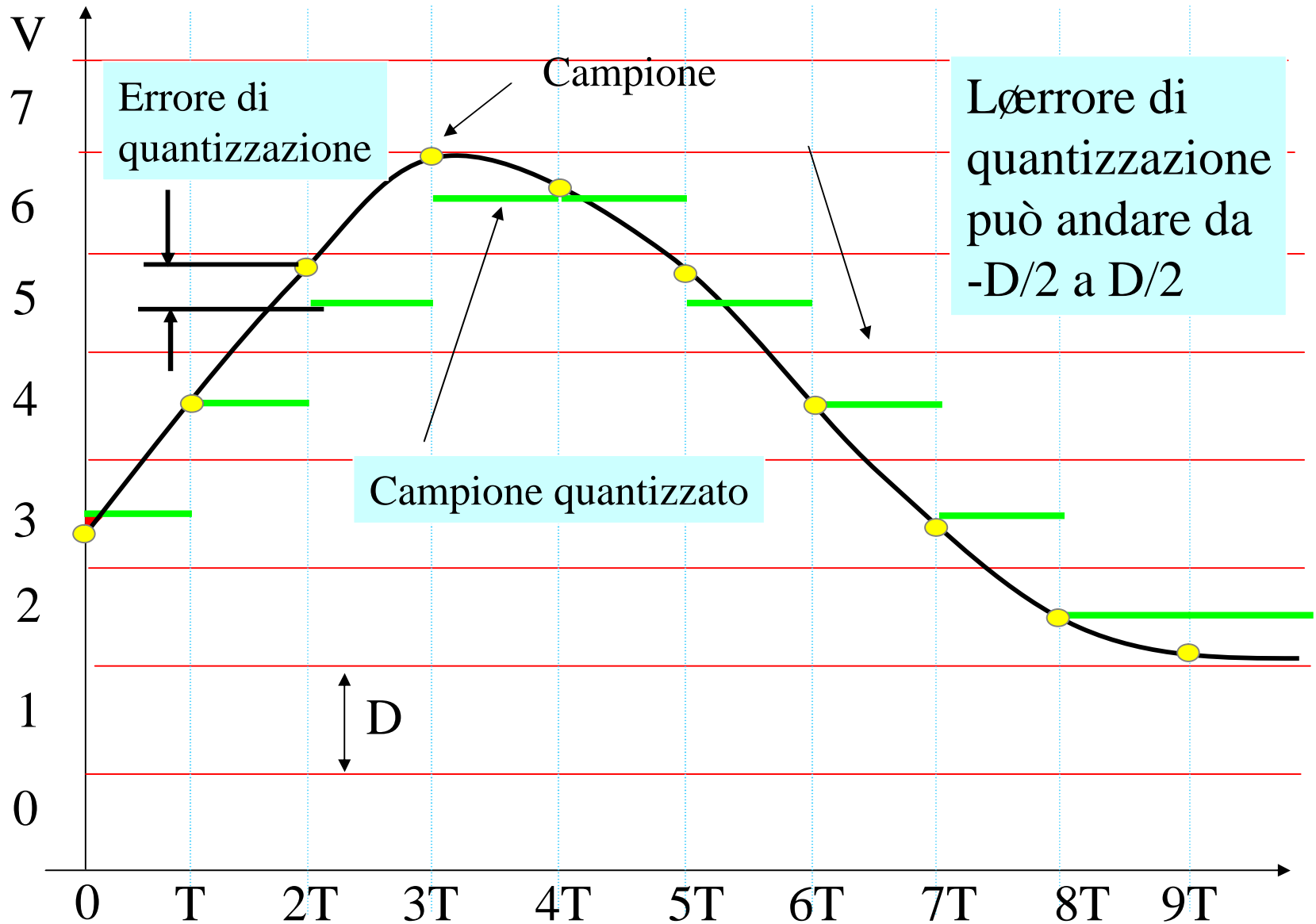


D Intervallo di quantizzazione

Al posto dei campioni $s(iT)$ del segnale sono trasmessi i numeri:
(valori quantizzati):

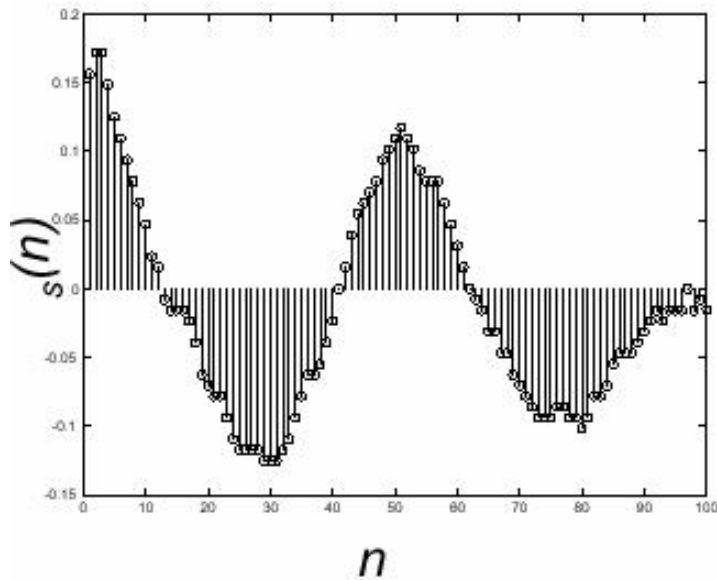
t 6 5 3 2 1 1 2 2 3 5

Errore di quantizzazione

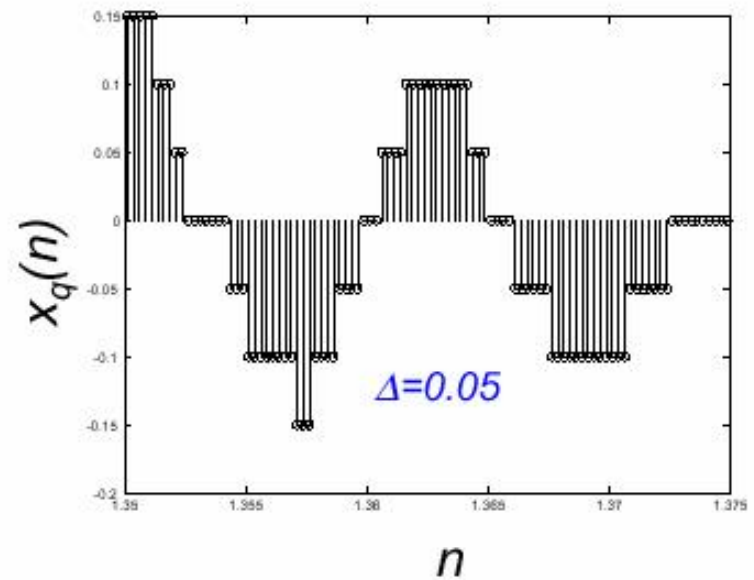


Quantizzazione

Segnale campionato

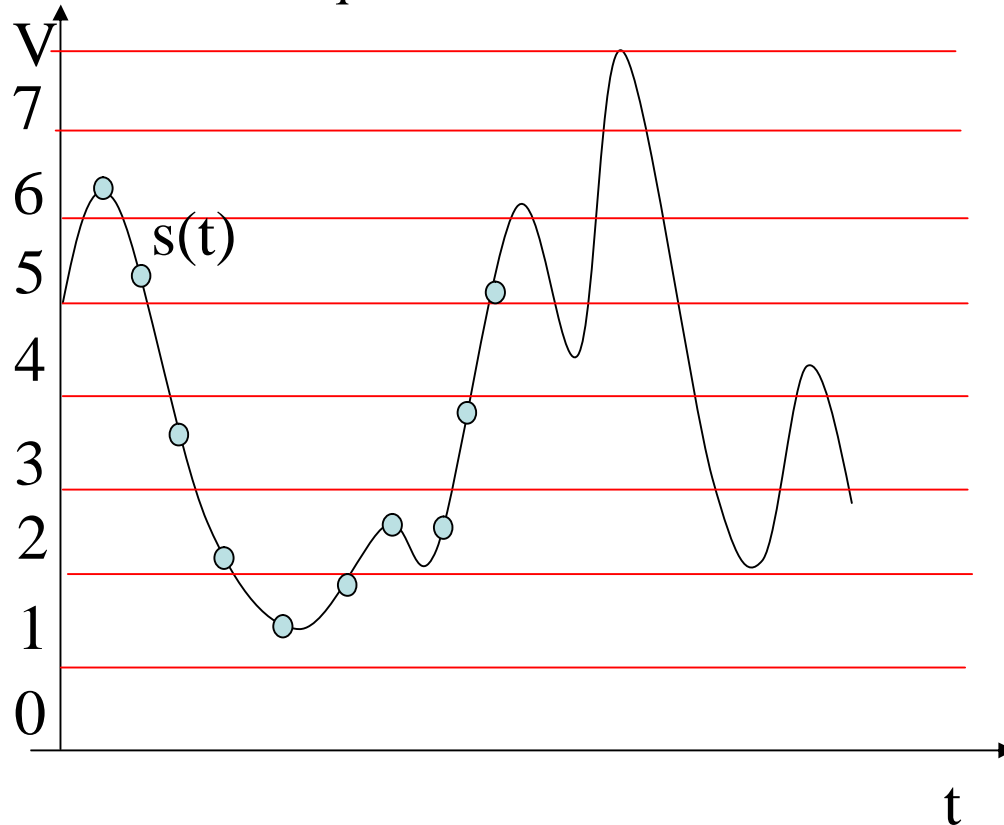


Segnale quantizzato



Rappresentazione binaria dei livelli di quantizzazione

Supponiamo di campionare un segnale e di quantizzare i campioni tramite un quantizzatore ad 8 livelli



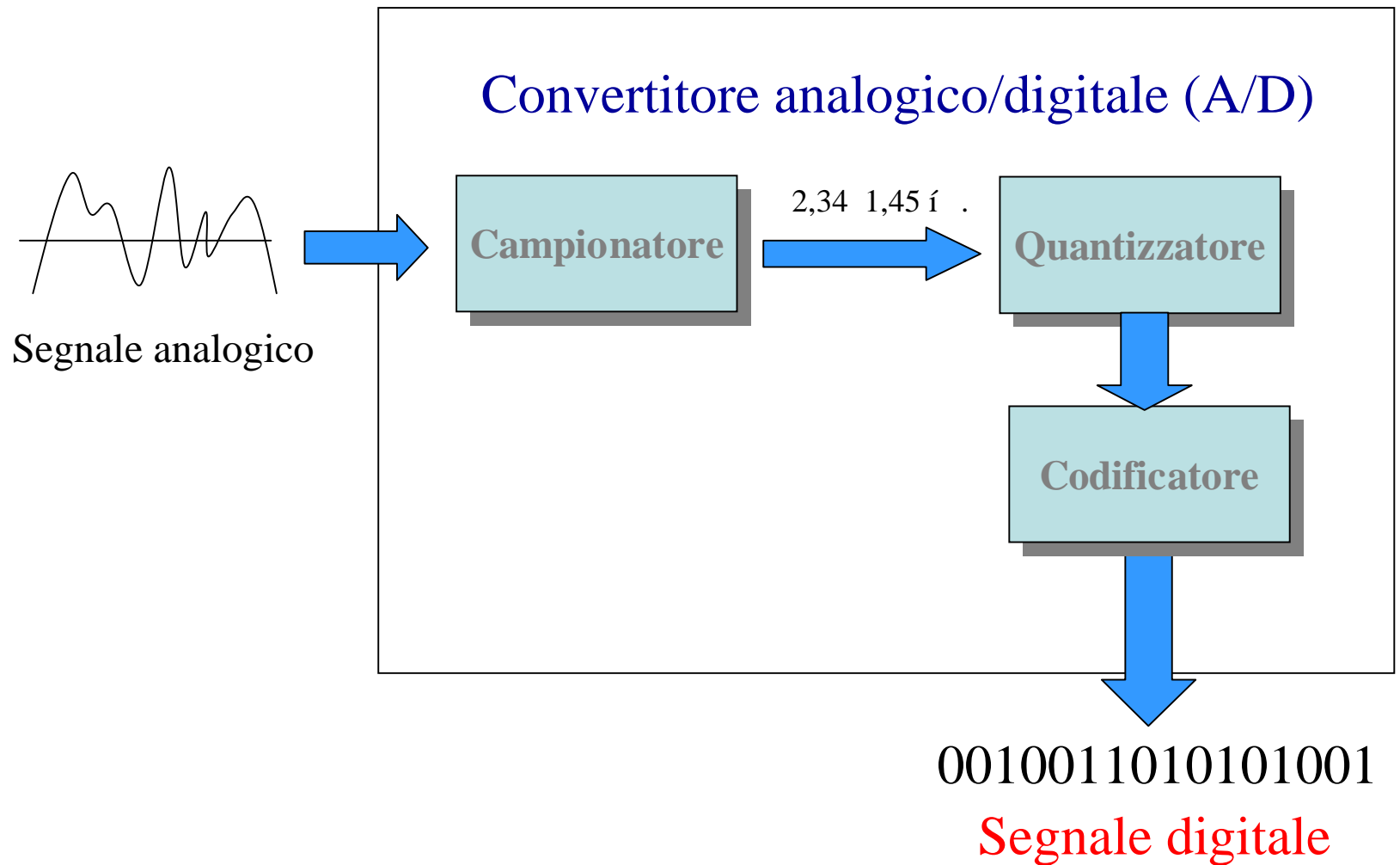
Possiamo indicare ciascun livello tramite una sequenza di tre bit. Infatti con tre bit possiamo rappresentare i numeri da 0 a 7 (sono 8 valori)

La sequenza dei campioni quantizzati: 6 5 3 2 1 1 2 2 3 5 diventa

6	5	3	2	1	1	2	2	3	5
110	101	011	010	001	001	010	010	011	101

Segnale digitale

Ricapitolando í í ..

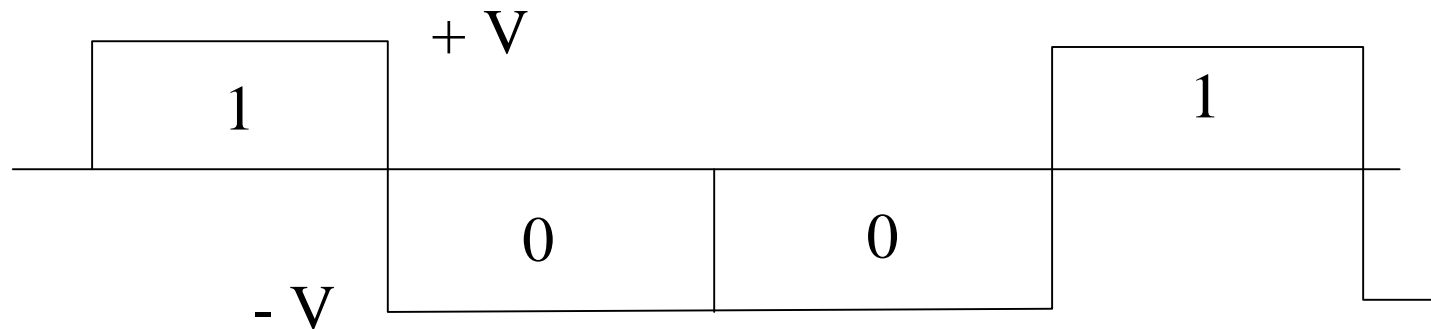


Trasmissione di segnali digitali

Il convertitore A/D permette di trasformare un segnale analogico
In una sequenza di bit.

Ogni bit può essere rappresentato fisicamente da un valore di
tensione, dallo stato di un circuito, dalla polarizzazione di un
materiale magnetico.

Per trasmettere un bit occorre associargli una forma d'onda, ad
esempio:



Esempi di segnali

- Segnale vocale:
 - $B=20$ KHz
 - Scegliendo $M=256=2^8$ si ha
 - n.campioni/s = 40.000 e n.bit/s = 320.000 = 320 Kb/s
 - Scegliendo $M=1024=2^{10}$ si ha
 - N.campioni/s = 40.000 e n-bit/s = 400.000 = 400 Kb/s
 - Segnale telefonico: $B=4$ KHz
 - Scegliendo $M=256=2^8$ si ha :
 - N.campioni/s = 8.000 e n.bit/s = 64.000 = 64 Kb/s

Esempi di segnali

- “ Segnale video : $B=5$ MHz
 - “ Scegliendo $M=256 = 2^8$ si ha:
 - “ N.campioni/s= 10.000.000
 - “ n.bit/s= 80.000.000 = 80 Mb/s

Esempi di segnali

- “ Memoria richieste per memorizzare i segnali
 - “ 10 m di una conversazione telefonica
 - “ Memoria (Byte) = $10 \times 60 \times 64.000 : 8$ (1 campione =8 bit) = 4.800.000 B (byte)= 4.8 MB
 - “ 10 m di un segnale telefonico con banda 20 KHz e M=1024
 - “ Memoria(Byte)= $10 \times 60 \times 400.000 : 8$ (1 campione =10 bit) = 240.000.000 B (byte)= 240 MB

Esempi di segnali

- “ Memoria richieste per memorizzare i segnali
 - “ 10 immagini con frequenza $B=5$ MHz e $M=256=2^8$
 - “ Memoria (Byte) = $10 \times 10.000.000 \times 8 = 800.000.000 : 8 = 100.000.000$ Byte = 100 MB

Esempi di segnali

” Tempo di trasmissione

➤ Trasmissione di 10 m di un segnale vocale non in tempo reale con una velocità di 64.000 bit/s

➤ Con $M=256$ il segnale è composto da $10 \times 60 \times 320.000$ bit = 192.000.000 bit

➤ TEMPO RICHIESTO = $192.000.000 : 64.000 = 3000$ s = 50 m

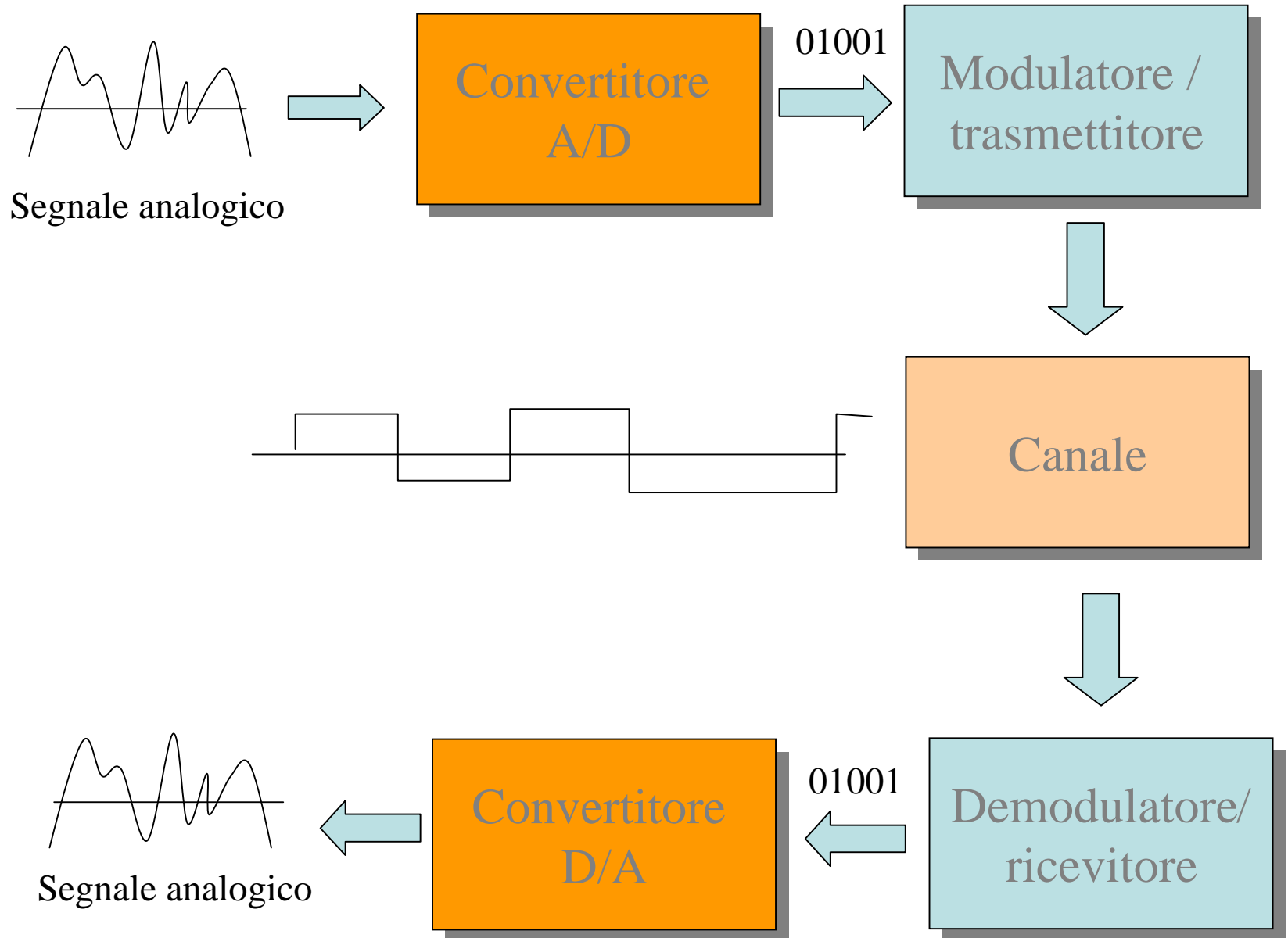
➤ Con $M=1024=2^{10}$ il segnale è composto da $10 \times 60 \times 400.000$ bit = 240.000.000 bit

➤ TEMPO RICHIESTO = $240.000.000 : 64.000 = 3750$ s = 1 h 2 m 30 s

Esempi di segnali

- “ Tempo di trasmissione
- Trasmissione di 10 immagini con $B=5$ MHz
 - Con $M=256$ n. bit = 800.000.000
 - TEMPO RICHIESTO = $800.000.000 : 64.0000 = 12.500$ s =
3 h 28 m 20 s

Un sistema di trasmissione digitale



Sorgenti numeriche

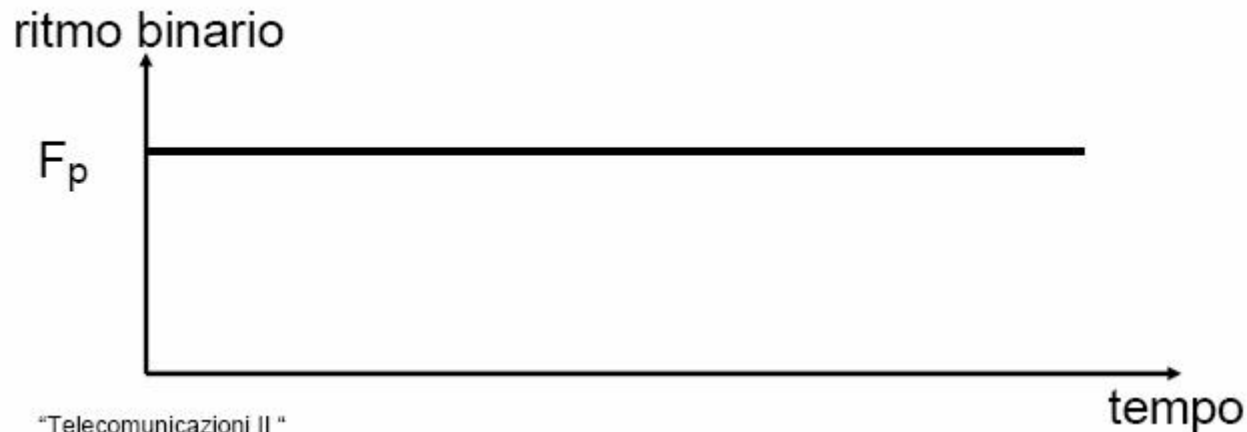
a velocità costante (CBR - continuous bit rate)

a velocità variabile (VBR - variable bit rate)

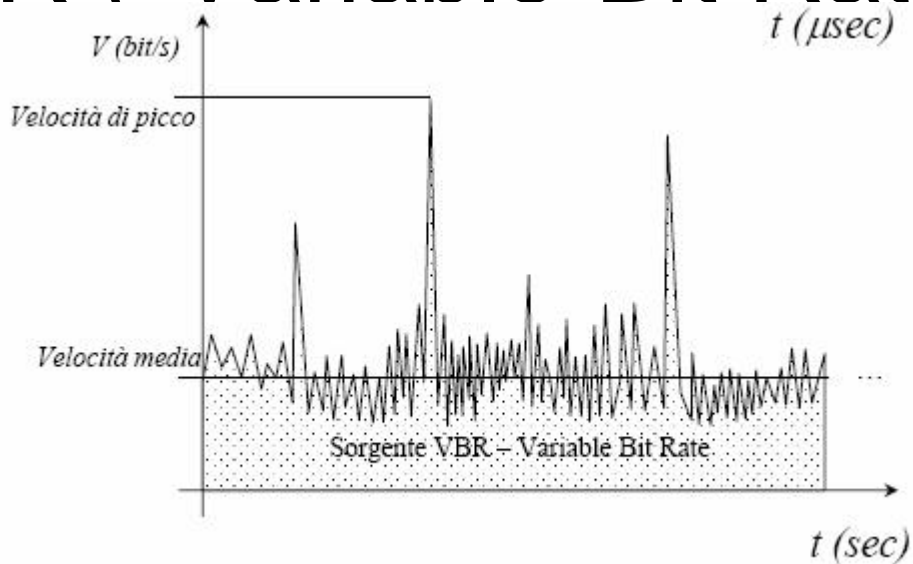
Classificazione delle sorgenti

CBR: Constant Bit Rate

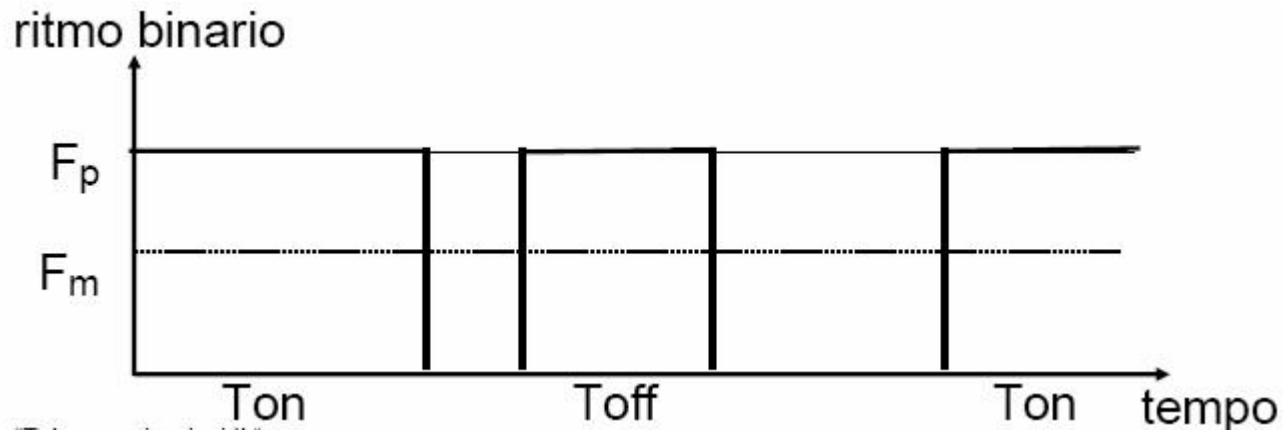
- ” Esempio: uscita da un codificatore opera un campionamento di un segnale analogico (codificatore vocale o musicale)
- ” Voce codificata PCM = 64 kbit/s = 8bit/125 s



Sorgenti VBR (Variable Bit Rate)



- “ Sorgenti VBR a due stati o anche sorgenti ONOFF
- “ Esempio: sorgenti vocali con rivelazione di tratti vocali



Esempi sorgenti

- “ **a velocità costante (Constant Bit Rate - CBR)**
 - . **voce digitale (64 kb/s, 32 kb/s)**
 - . **videoconferenza (n x 64 kb/s)**
- “ **a velocità variabile (Variable Bit Rate - VBR)**
 - . **video MPEG (ordine dei Mb/s)**
 - . **file transfer (da kb/s a Mb/s)**

Caratterizzazione

" sorgenti CBR

- velocità (bit/s)**

- durata (s)**

Caratterizzazione

" sorgenti VBR

- velocità di picco (bit/s)**
- durata (s)**
- velocità media (bit/s)**
(o grado di intermittenza =
velocità di picco / velocità media)

Parametri delle sorgenti CBR e VBR

“ **Sorgenti CBR**

- . velocità (b/s)
- . durata (s)
- . processo di generazione delle chiamate

“ **Sorgenti VBR**

- . velocità di picco (b/s)
- . velocità media (b/s)

“ ***oppure***

- . grado di intermittenza
- . velocità di picco / velocità media
- . durata (s)
- . processi di generazione delle chiamate

Qualità della trasmissione

- “ **Tipi di informazione diversi richiedono alla rete prestazioni di verse**
- “ **Indici di qualità**
 - . **ritardo (valor medio, percentile, tempo reale)**
 - . **velocità**
 - . **probabilità di errore**
 - . **probabilità di blocco**

Esempi

“ *La telefonia (CBR)*

- . ritardo massimo pari a qualche decimo di secondo
- . tempo reale
- . velocità 64 kb/s (o meno)
- . probabilità di errore non superiore a qualche %
- . probabilità di blocco bassa

“ *La posta elettronica (VBR)*

- . ritardo massimo fino a diversi minuti
- . velocità bassa
- . probabilità di errore trascurabile
- . probabilità di blocco trascurabile

Esempi

“ *Il video su richiesta* ”

- . ritardo massimo fino a qualche secondo - tempo reale
- . velocità di decine di Mbit/s
- . probabilità di errore non superiore a qualche %
- . probabilità di blocco molto bassa

Caratteristiche di alcuni servizi

SERVIZIO	$E[v(t)]$	B
Voce	32 kbit/s	2
Dati interattivi	1 - 100 kbit/s	10
Trasferimento di file	1 - 10 Mbit/s	1 - 10
TV standard	20 - 30 Mbit/s	2 - 3
TV ad alta definizione	100 - 150 Mbit/s	1 - 2
Video telefonia di qualità	~ 2 Mbit/s	5

Esempi tipi di sorgenti

	Ritmo binario	Tipo di emissione
Voce qualità telefonica	64 kbit/sec	CBR
Voce qualità migliorata	48, 56 o 64 kbit/s	CBR
Voce codificata ADPCM	32 kbit/sec (DECT)	CBR
Voce con codificatori di analisi per sintesi	16 kbit/sec, 13 kbit/sec (GSM)	CBR
CD musicali	1,41 Mbit/s, 384 kbit/s, 256 kbit/s	CBR
Standard Definition TV	166 Mbit/s	CBR
High Definition TV	885 Mbit/s, 15-25Mbit/s	CBR
ISDN px64 video conferenza	64 e 1984 kbit/s	VBR
Video conferenza a basso ritmo	< 28.8 kbit/s	VBR
<i>MPEG-1</i>	1-1,5 Mbit/s.	VBR
<i>MPEG-2</i>	5 Mbit/s	VBR

Requisiti dei servizi di telecomunicazione

- ” Parametri di caratterizzazione dei requisiti:
- . **probabilità d i blocco**: probabilità che la richiesta di un servizio venga rifiutata dall'operatore
 - . **Tempo di ritardo**: il tempo che la rete impiega a trasportare le informazioni. Indici: (valore medio, varianza, distribuzione di probabilità, ecc.). Importante **jitter**.
 - . **Velocità media**: velocità media con cui la rete trasporta le informazioni
 - . **Probabilità di perdita/errore**: quota parte dei bit emessi dalla sorgente che non arrivano o arrivano sbagliati alla destinazione

Esempi requisiti di servizi di telecomunicazioni

Parametro	Telefonia	Dati interattivi	E-mail	Video-on-demand
Probabilità di blocco	< 1%	0	0	0
Ritardo (medio)	< 500 ms	O(1 s)	O(1 min)	O(1 s)
Velocità media	64 kbps	9.6 – 64 kbps	O(1 bps)	O(Mbps)
Probabilità di perdita/errore	O(1%)	0	0	O(1%)