



# **Reti di Telecomunicazioni**

Fabrizio Pancaldi

Università di Modena e Reggio Emilia

A.A. 2007/2008

## Contatti e materiale didattico

---

➤ Indirizzo email: [fpancaldi@unimore.it](mailto:fpancaldi@unimore.it)

➤ Numeri telefonici:

Laboratorio    059-2056323

Ricevimento su appuntamento tramite email

➤ Materiale didattico:

- Lucidi delle lezioni
- Testo seguito: A. S. Tanenbaum, **Reti di Calcolatori**,  
Milano: Prentice-Hall, 2003.

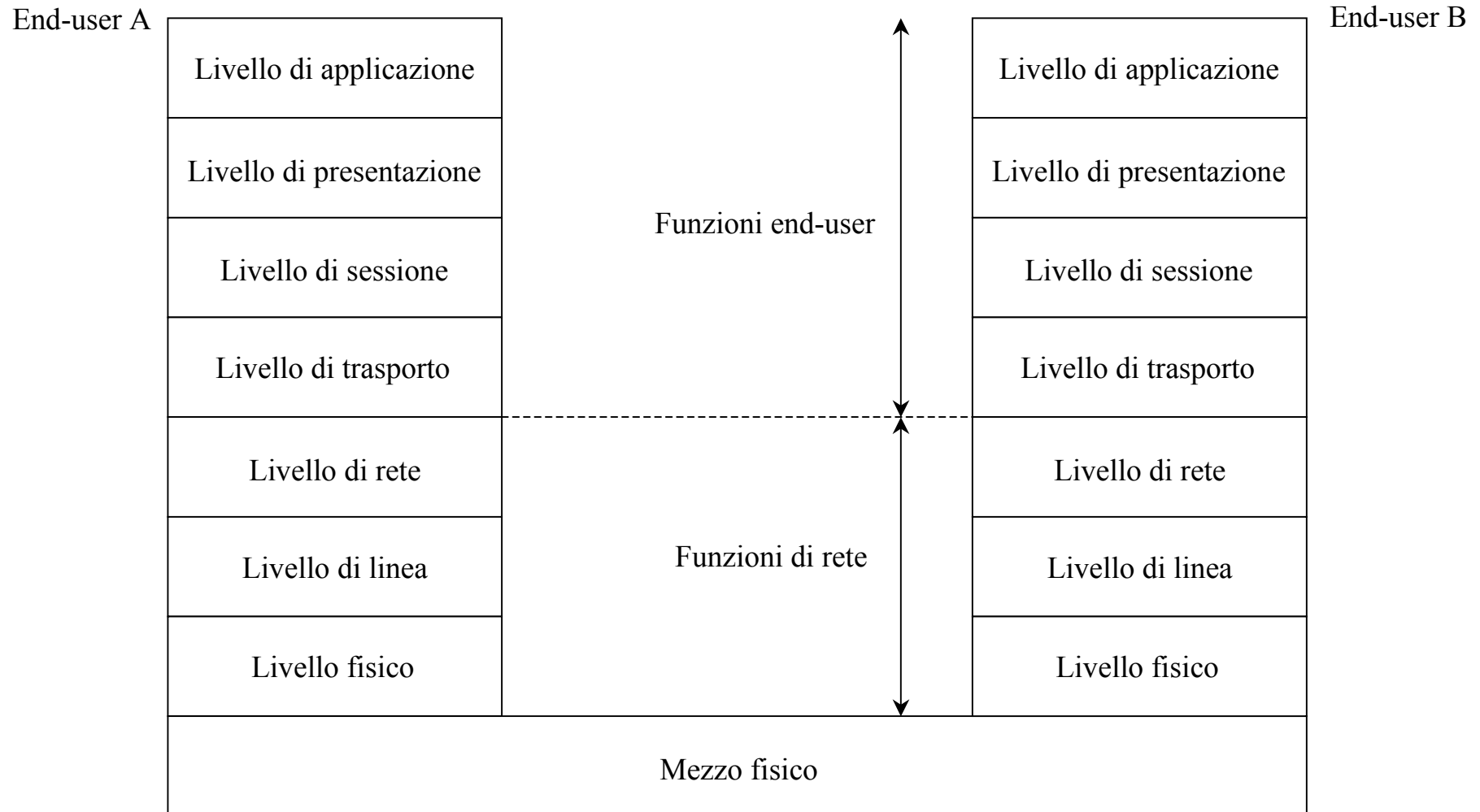
## Informazioni generali sull'esame

---

- Modalità d'esame:
  - prova scritta
- Appelli:
  - [da programmare]
  - [da programmare]
  - [da programmare]
- Verbalizzazione: online mediante il sistema esse3

## Tematiche del corso

---



## **Contenuti del corso**

---

1. Fondamenti di Comunicazioni Elettriche
2. Introduzione alle reti di telecomunicazioni
3. Architetture di comunicazione a strati
4. Livello fisico
5. Livello di linea
6. Livello di rete / Protocollo IP
7. Livello del trasporto / Protocollo TCP

---

## **Introduzione alle comunicazioni**

# Introduzione alle comunicazioni elettriche

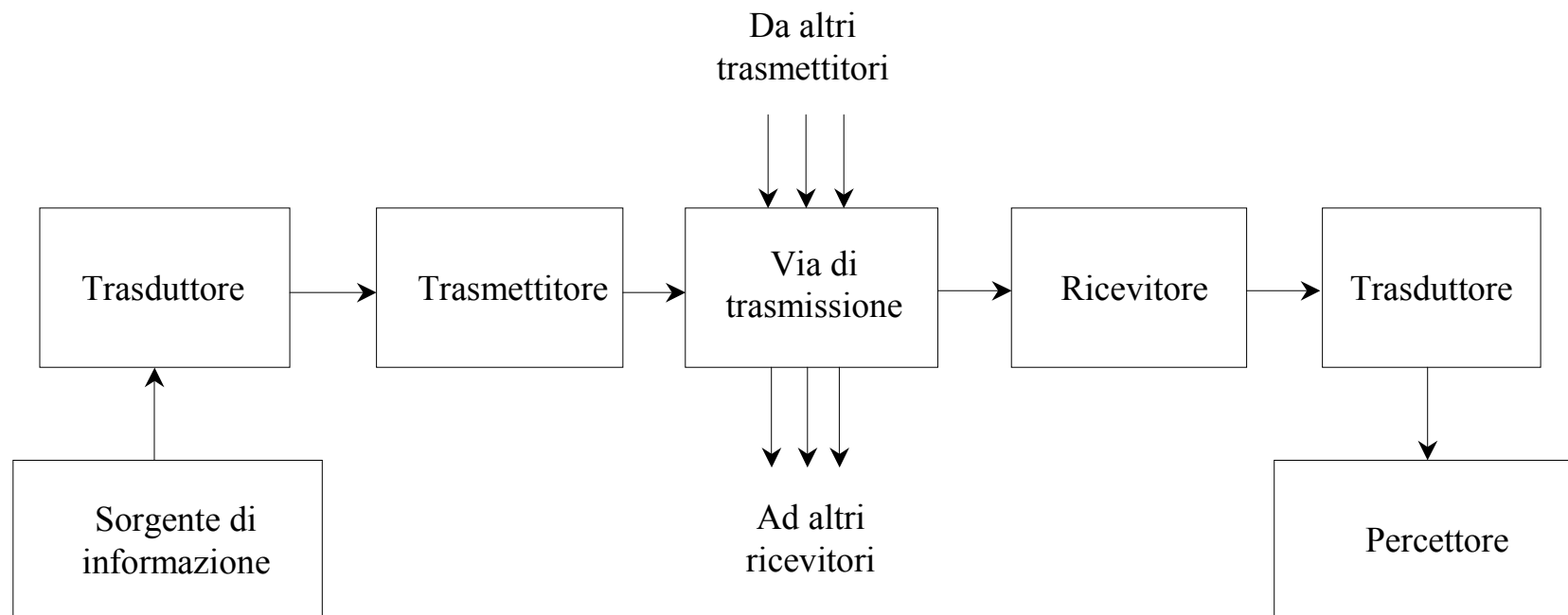
---

- Le comunicazioni elettriche studiano i *sistemi* atti ad inviare da un posto, detto *trasmittente*, ad un altro, detto *ricevente*, una certa informazione.
- I sistemi di telecomunicazione sono vari ma tutti, in genere, possono essere ridotti ad uno stesso schema di principio (vedi la figura seguente), che contiene i seguenti elementi
  1. Una sorgente di informazioni che produce i messaggi da trasmettere. La natura del messaggio può essere diversa: un testo scritto, un brano musicale, un'immagine, una sequenza di dati, ecc.;

# Introduzione alle comunicazioni elettriche

---

## Schema di principio di un sistema di comunicazione





## Introduzione alle comunicazioni elettriche

---

2. un trasduttore che, nel corso della comunicazione, effettua la trasformazione delle informazioni in un messaggio elettrico;
3. un trasmettitore che trasforma il messaggio elettrico in una forma atta ad essere inviata attraverso una via di trasmissione (il messaggio elettrico trasmesso prende il nome di *segnale*);
4. una via o mezzo di trasmissione rappresentato dall'organo di collegamento tra il posto emittente ed il posto ricevente;
5. un ricevitore che esegue l'operazione inversa del trasmettitore;

## Introduzione alle comunicazioni elettriche

---

6. Un trasduttore, che trasforma il messaggio elettrico in una forma adatta all'interpretazione, ossia che restituisce la informazione;

7. Un percettore dell'informazione (ad es. il destinatario).

- In molti casi il sistema di comunicazione viene utilizzato per trasmettere più segnali contemporaneamente, in modo tale però che ciascun messaggio, originato da una sorgente separata, raggiunga il proprio destinatario.

## Introduzione alle comunicazioni elettriche

---

- Si possono citare vari esempi, come le comunicazioni via cavo e le comunicazioni radio.
- È ovvio che, affinché il ricevitore possa discriminare, fra tutti i segnali esistenti, quello prestabilito, il messaggio dovrà essere messo sotto una forma adatta a distinguerlo. Si dovrà creare, pertanto, un segnale il quale contenga nella sua essenza le informazioni del messaggio e che, nel contempo, possa essere distinto da altri segnali non per il suo contenuto informativo, ma per una sua peculiare caratteristica. Tale processo, che verrà descritto più avanti, è detto *modulazione* ed il segnale generato è detto *segnale modulato*.

## Introduzione alle comunicazioni elettriche

---

- Un sistema completo di telecomunicazione, dalla sorgente di informazione fino al destinatario, è denominato canale di informazione o di comunicazione, indipendentemente dal fatto che faccia parte di un sistema singolo o multiplo di comunicazione.
- In tutti i sistemi di comunicazione oltre al segnale di interesse sono presenti dei segnali estranei e dei disturbi di varia natura.
- I *segnali interferenti* si sovrappongono al segnale utile e possono essere generati sia da altre apparecchiature elettroniche che da cause naturali.

## Introduzione alle comunicazioni elettriche

---

- Il rumore nei dispositivi elettronici può essere classificato in tre categorie:
  - a. Rumore termico o Johnson. Deriva dall'agitazione termica dei portatori di carica nei conduttori.
  - b. Rumore shot o Schottky. È legato alla granularità della carica posseduta dai portatori.
  - c. Rumore  $1/f$  o Flicker. Pare sia generato da imperfezioni nella superficie di conduttori e semiconduttori.

## Introduzione alle comunicazioni elettriche

---

- Il rumore si manifesta come un'oscillazione casuale, e pertanto imprevedibile, che si somma al segnale utile in modo tale che l'andamento dell'insieme nel tempo non ricalca quello del segnale trasmesso, con l'ovvio risultato che il contenuto informativo di quest'ultimo viene alterato.
- Il livello del rumore deve essere raffrontato con quello del segnale che giunge al ricevitore attenuato dal mezzo di trasmissione; pertanto per effettuare una comunicazione, si dovrà fare in modo che il rapporto fra le potenze di segnale e di disturbo in ricezione sia il più elevato possibile. A tal fine si può agire sia sulla potenza del trasmettitore che sulle caratteristiche del ricevitore.

## Introduzione alle comunicazioni elettriche

---

- **Classificazione** dei sistemi di comunicazione in base al tipo di messaggio da trasmettere
1. **Telegrafia**: sistema per la trasmissione di messaggi scritti che impiega segnali elementari a piccolo contenuto informativo;
  2. **Telefonia**: sistema per la trasmissione di voce ed altri suoni;
  3. **Telefotografia**: sistema per la trasmissione di immagini fisse;
  4. **Televisione**: sistema per la trasmissione di immagini in movimento;
  5. **Trasmissione dati**: sistema per la trasmissione di dati numerici, quali possono essere, ad esempio, quelli prodotti da un calcolatore.

## Introduzione alle comunicazioni elettriche

---

- **Classificazione** dei sistemi di comunicazione in base al tipo di segnale prodotto dal trasduttore
  1. Sistemi che operano con segnali analogici;
  2. Sistemi che operano con segnali numerici.



---

## **Analisi dei segnali**

## Che cos'è un segnale?

---

- La definizione di *segnale* non è immediata. Esempi familiari tratti dalla vita quotidiana sono il segnale acustico prodotto da uno strumento musicale (che dal punto di vista fisico può essere caratterizzato come una variazione della pressione dell'aria provocata dallo strumento, e rilevata dal nostro orecchio); il segnale misurato da un elettrocardiografo (una debole tensione elettrica) e registrato sulla tipica “strisciata”; il segnale radio (un campo elettromagnetico variabile) captato dall'antenna di un ricevitore; il segnale luminoso emesso da una lampadina di un semaforo, o da un apparecchio televisivo, e così via.

## Che cos'è un segnale?

---

- Tutti gli esempi precedenti hanno in comune una caratteristica, e cioè il fatto che il segnale esiste in quanto si fa *portatore di una informazione* che giustifica l'esistenza e l'importanza del segnale stesso. Questa informazione può essere di varia natura: di carattere estetico, nel caso del brano musicale, medico, nel caso dell'elettrocardiogramma, e così via.

## Che cos'è un segnale?

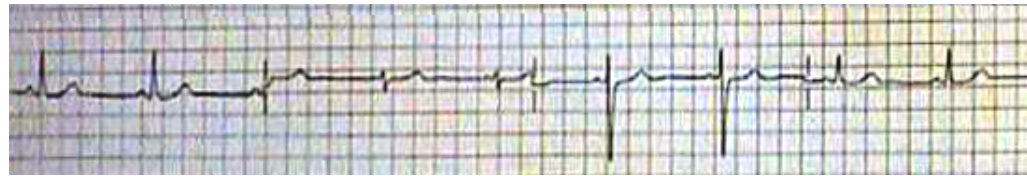
---

- Tentando dunque di sintetizzare quanto sopra, possiamo dire che un segnale è *una qualunque grandezza fisica variabile cui è associata una informazione*. In molti casi, l'andamento del segnale può essere perfettamente noto, ad esempio attraverso una registrazione su carta (come per il caso dell'elettrocardiogramma), su nastro magnetico o come un *file* in un calcolatore elettronico. Dunque il modo più conveniente per caratterizzare, studiare ed elaborare un segnale passa attraverso la schematizzazione dello stesso come una *funzione matematica di una o più variabili*.

## Che cos'è un segnale?

---

### Esempio di elettrocardiogramma



- L'elettrocardiogramma rappresentato in figura può essere considerato come *il grafico di una funzione di variabile reale a valori reali  $x(t): \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  ove la variabile indipendente  $t$  ha il significato di un *tempo*, e il valore del segnale rappresenta l'andamento della tensione raccolta dall'apparato biomedicale. La notazione usata riflette questo caso tipico, in cui cioè l'evoluzione del segnale avviene in ambito *temporale*.*

# Che cos'è un segnale?

---

Esempio di segnale bidimensionale



## Che cos'è un segnale?

---

- La semplice immagine in bianco e nero della figura precedente deve essere considerata anch'essa un *segnale*, poiché, concordemente con la definizione appena data, ha in sé una certa *informazione*. La schematizzazione appropriata è stavolta quella di una *funzione bidimensionale*

$$z(x_1, x_2) : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$$

delle due coordinate spaziali, ove il valore  $z$  rappresenta l'*intensità luminosa* del generico punto sull'immagine (detto nel gergo dell'elaborazione delle immagini *pixel*) di coordinate  $(x_1, x_2)$ . La *variazione* del segnale avviene in un ambito di tipo *spaziale*, nel senso che si hanno diversi valori del segnale (l'intensità luminosa) per diversi valori delle coordinate spaziali del generico pixel.

## Tipi di segnali

---

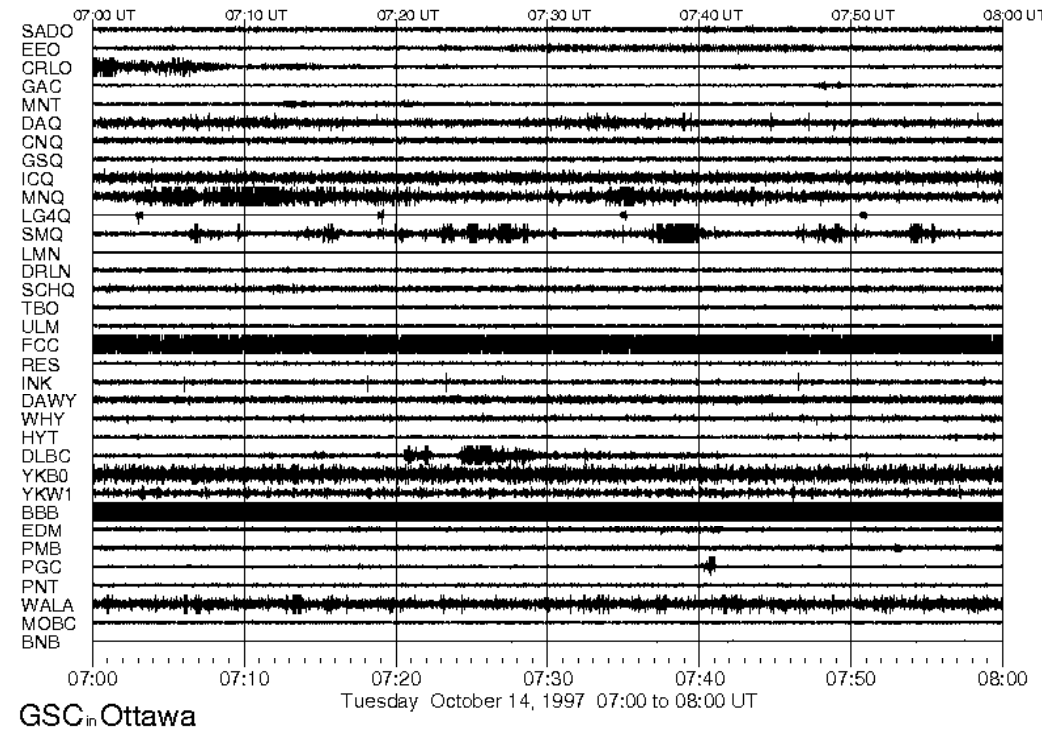
- Una prima classificazione dei segnali può essere fatta proprio in base ai valori assunti dalla variabile indipendente, che negli esempi precedenti abbiamo per semplicità sempre supposto essere reale. Distinguiamo infatti tra:

1. *segnali a tempo continuo*, per i quali il dominio della funzione ha la cardinalità dell'insieme dei numeri reali. La variabile indipendente può assumere *con continuità* tutti i valori compresi entro un certo intervallo, eventualmente illimitato. Il simbolo che useremo per la variabile temporale (continua) sarà  $t$ , e i segnali saranno indicati con  $x(t)$ ,  $y(t)$  ecc. L'elettrocardiogramma della figura precedente e i vari segnali sismici della figura seguente sono esempi tipici di segnali a tempo continuo;



# Tipi di segnali

## Registrazione di segnali sismici



## Tipi di segnali

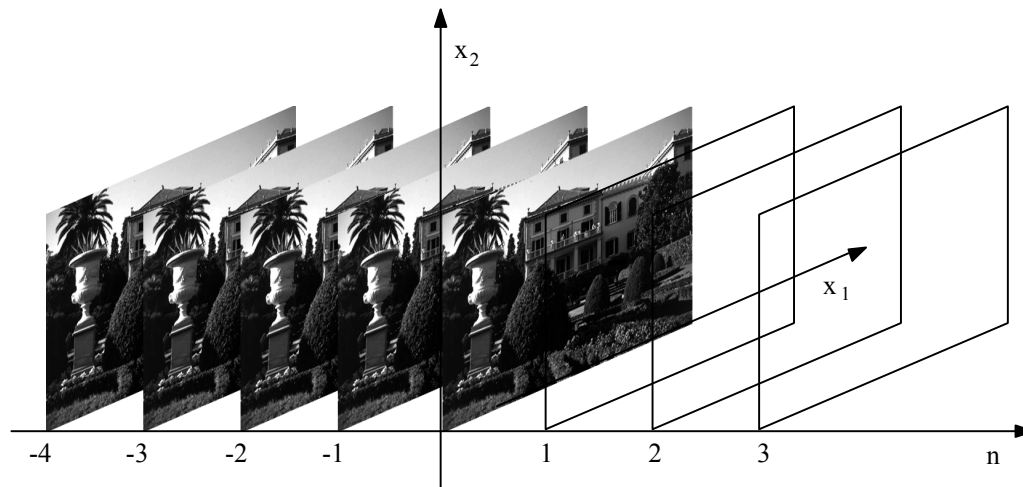
---

2. *segnali a tempo discreto*, per i quali il dominio della funzione ha la cardinalità dell'insieme (discreto) dei numeri interi. Tali segnali vengono chiamati in matematica *successioni*. Più specificamente, le successioni vengono chiamate nella teoria dei segnali *sequenze*, e saranno indicate con espressioni del tipo  $x[n]$ ,  $y[n]$ , ove la variabile “temporale”  $n$  viene racchiusa tra parentesi quadre per evidenziarne l'intrinseca diversità dalla variabile (continua)  $t$ , che viceversa viene racchiusa tra parentesi tonde. Un segnale cinematografico, come è noto, è ottenuto proiettando una *sequenza* di 24 fotogrammi (immagini) al secondo che dà all'occhio umano l'illusione di un segnale a tempo continuo. Allora, come si suggerisce nella figura seguente, il segnale cinematografico è una funzione tridimensionale  $z(x_1, x_2, n]$  di due variabili spaziali continue che identificano i pixel dell'immagine, e di una ulteriore variabile temporale *discreta*  $n$  che identifica i vari fotogrammi in successione.

## Tipi di segnali

---

Segnale cinematografico a tempo discreto  $z(x_1, x_2, n]$



## Tipi di segnali

---

- Una classificazione analoga può essere condotta sulla base dei *valori* assunti dai segnali (cioè sulla base del codominio della funzione che li rappresenta).

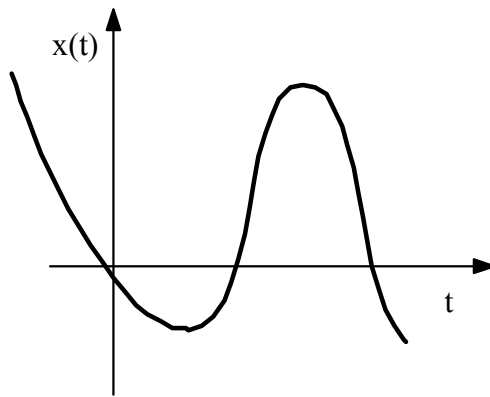
Avremo:

1. *segnali ad ampiezza continua*, che possono assumere con continuità tutti i valori reali di un intervallo (eventualmente illimitato), come nel caso di un segnale acustico e in generale dei segnali osservati nei sistemi naturali;
2. *segnali ad ampiezza discreta*, aventi come codominio un insieme numerabile, eventualmente illimitato. Il segnale luminoso prodotto da una lampadina di un semaforo può assumere solo due valori (acceso o spento), così come i segnali *binari* che regolano il funzionamento dei circuiti elettronici digitali.

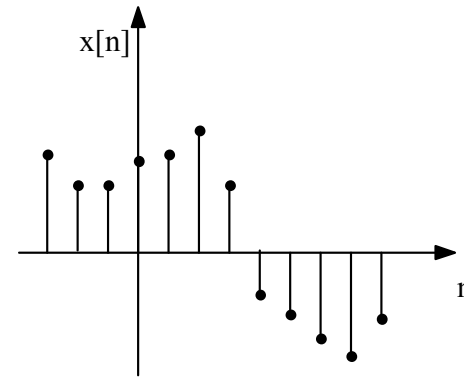
## Tipi di segnali

---

- I segnali a tempo continuo e ad ampiezza continua si dicono *analogici*, mentre quelli a tempo e ampiezza discreti si dicono *numerici* e, come già accennato, sono quelli tipicamente trattati dai calcolatori elettronici.



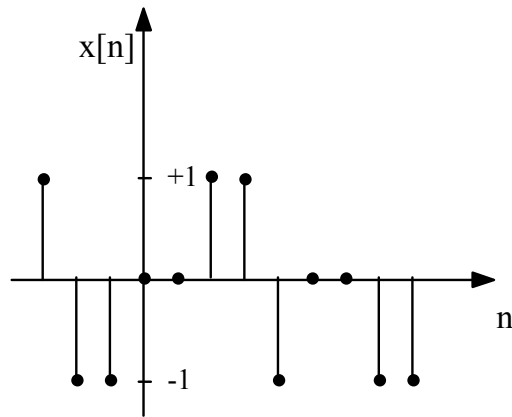
Segnale analogico



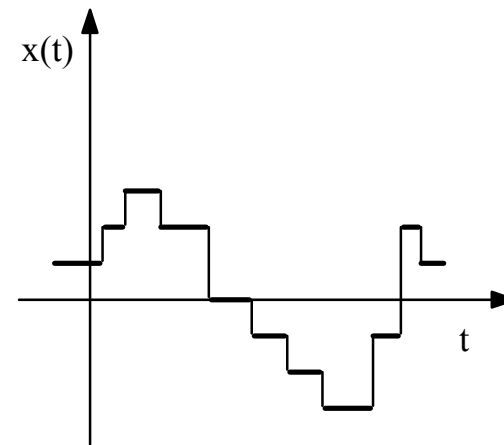
Segnale a tempo discreto

# Tipi di segnali

---



Segnale numerico



Segnale quantizzato

## **Schema di registrazione su CD**

---

## Tipi di segnali

---

- La figura precedente mostra che il segnale audio  $x(t)$  viene *campionato*, ottenendo la *sequenza*  $x[n]$  dei valori di  $x(t)$  considerati ai multipli di un opportuno *periodo di campionamento*  $T$ :  $x[n] = x(nT)$
- Il segnale è stato adesso ridotto a tempo discreto, ma i vari *campioni* di assumono ancora infiniti valori nell'insieme dei reali. Si deve quindi ulteriormente procedere a una *codifica* di questi valori reali attraverso l'alfabeto *binario* tipico dei circuiti digitali, per ottenere il segnale *digitale binario* (numerico)  $y[n]$  della figura. Nell'esempio della registrazione su CD, il campionamento del segnale avviene alla cadenza standardizzata di 44100 campioni/secondo, e la codifica binaria dei valori reali del segnale campionato viene fatta con 16 bit (nella figura sono indicati per semplicità soli 8 bit di codifica). L'unione delle operazioni di campionamento e di codifica prende il nome di *conversione analogico/digitale*, e viene realizzata da appositi circuiti elettronici detti appunto *convertitori A/D*.



# Tipi di segnali

---

## 1. Segnale *periodico*

$$x(t) = x(t + T_0) \quad \forall t$$

$$x[n] = x[n + N_0] \quad \forall n$$

$T_0$  (  $N_0$  ) rappresenta il *periodo di ripetizione* del segnale analogico  $x(t)$   
(sequenza  $x[n]$ )

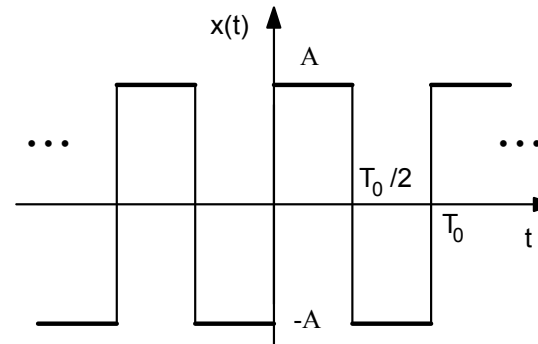
## 2. Segnale *aperiodico*

# Tipi di segnali

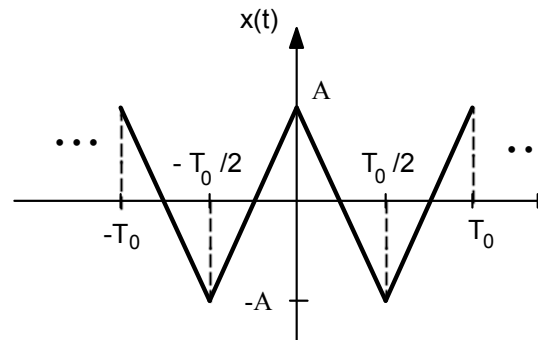
---

- Esempi di segnali *periodici*

## 1. Segnale onda quadra



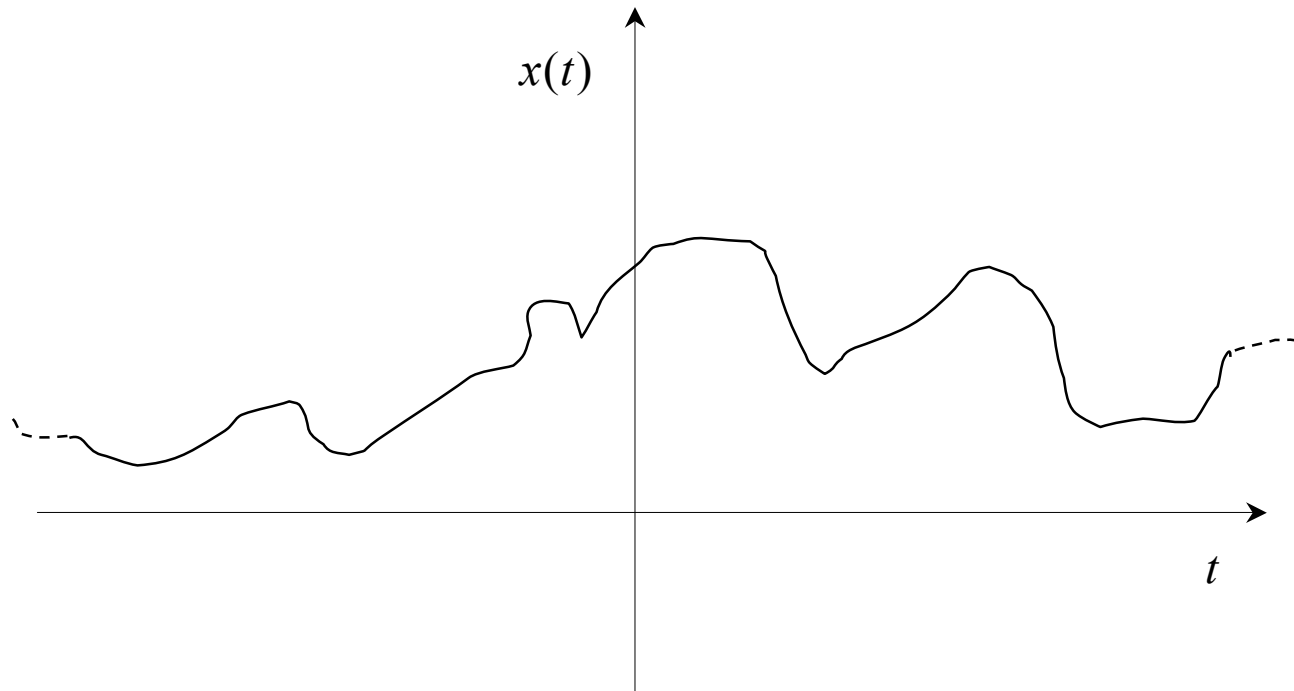
## 2. Segnale onda triangolare



## Tipi di segnali

---

- Esempio di segnale *aperiodico*



## Tipi di segnali

---

1. Segnale *determinato* o *deterministico*: il segnale è noto attraverso un grafico, o una registrazione magnetica, o più semplicemente attraverso una ben definita espressione matematica, o ancora perché è il prodotto di sistemi e apparati di cui si ha stretto controllo (ad esempio, un generatore di forme d'onda di un laboratorio elettronico).
2. Segnale *aleatorio*: non è possibile conoscere con esattezza *a priori* il valore assunto da un segnale in un certo istante. Si pensi al segnale geofisico raccolto da sensori posti sul terreno per effettuare rilevazioni minerarie. Tale segnale non è noto *a priori* completamente, in particolare non se ne conosce l'evoluzione futura se non dopo l'osservazione, cioè *a posteriori*.