



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

Dipartimento di Ingegneria
e Scienza dell'Informazione

Teoria dei Segnali

Parte Prima: Segnali e Sistemi
Lezione 1: Generalità sui segnali

Docente: Prof. Claudio Sacchi

Contenuti

- Definizione di segnale;
- Segnali mono e pluridimensionali;
- Dinamica e ritardo di un segnale;
- Classificazione dei segnali.

Definizione di segnale

■ Definizione generale

- Un segnale è una qualsiasi grandezza fisica variabile cui è associata una informazione;
- In un segnale elettrico, la grandezza fisica è convenzionalmente assunta essere una tensione (Volt);
- In un segnale luminoso, la grandezza fisica è un'intensità luminosa;
- Il segnale comunque esiste in quanto si fa portatore di un'informazione.

Definizione di segnale

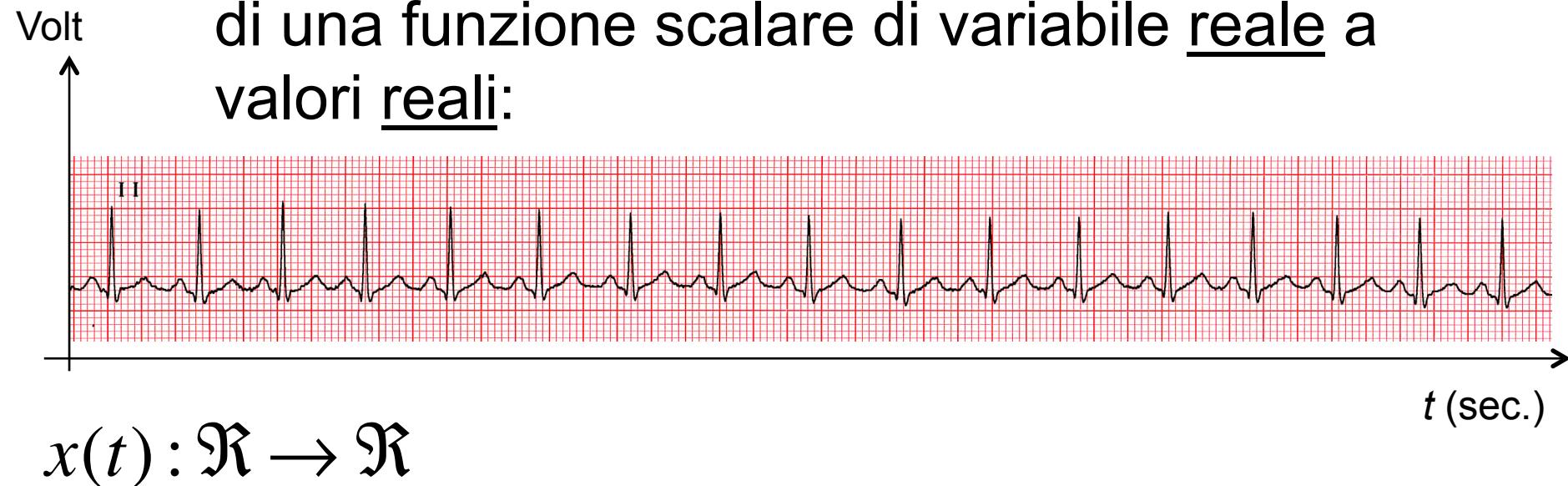
■ Schematizzazione di un segnale

- Un segnale può essere schematizzato mediante una funzione matematica di una o più variabili;
- Fisicamente parlando, le variabili possono essere il tempo e lo spazio;
- Le funzioni rappresentanti i segnali possono essere scalari o vettoriali.

Segnali mono e pluridimensionali

■ Esempio di segnale monodimensionale variante nel tempo

□ *Elettrocardiogramma*: è tipicamente il grafico di una funzione scalare di variabile reale a valori reali:



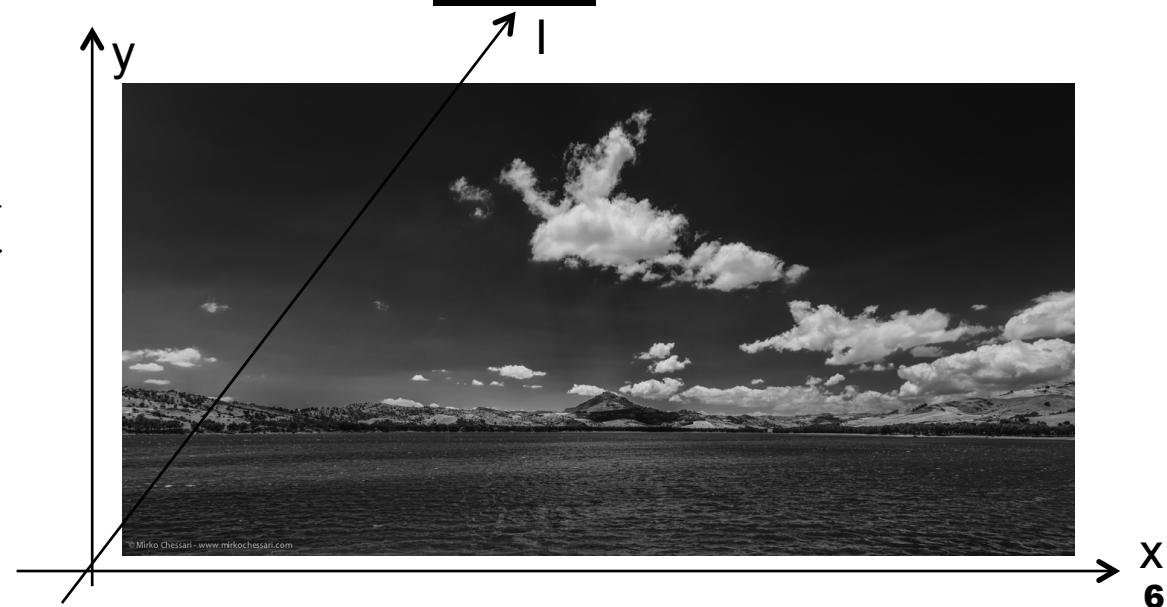
Segnali mono e pluridimensionali

■ Esempio di segnale bidimensionale

Immagine in bianco e nero: è tipicamente il grafico di una funzione scalare a due variabili reali ed a valori reali:

$$I(x, y) : \Re^2 \rightarrow \Re$$

x e y coordinate nel piano-immagine
 I intensità luminosa



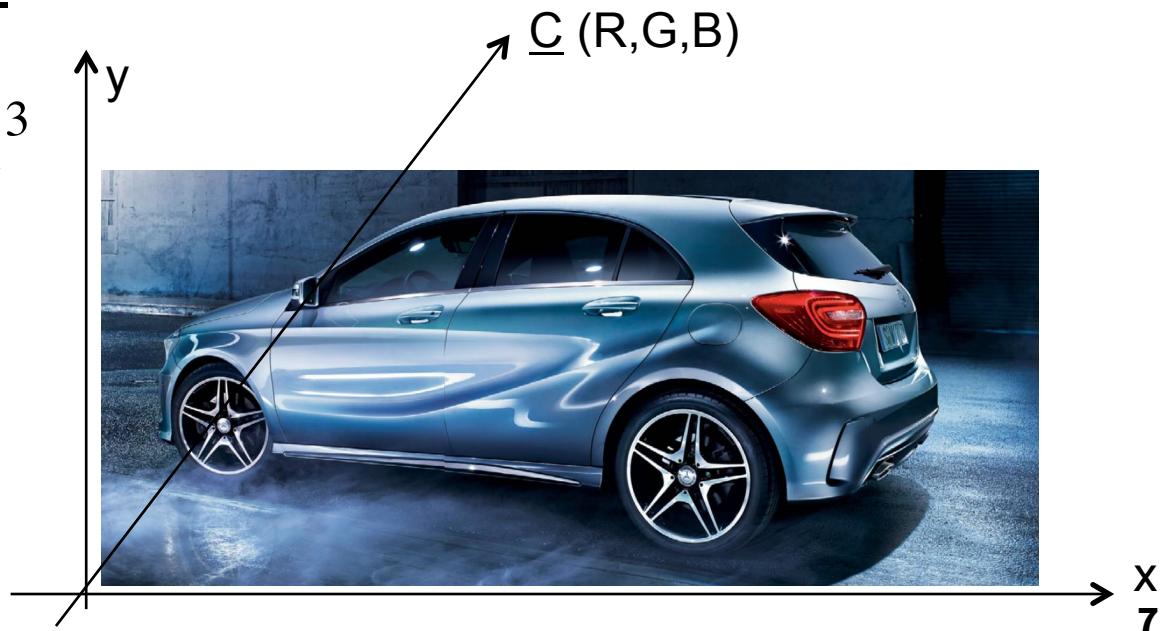
Segnali mono e pluridimensionali

■ Esempio di segnale vettoriale

- *Immagine a colori:* è tipicamente una funzione vettoriale a tre componenti reali ed a due variabili reali:

$$\underline{C}(x, y) : \Re^2 \rightarrow \Re^3$$

x e y coordinate nel piano-immagine
 C vettore di intensità luminosa a tre componenti: R (red), G (green), B (blue)

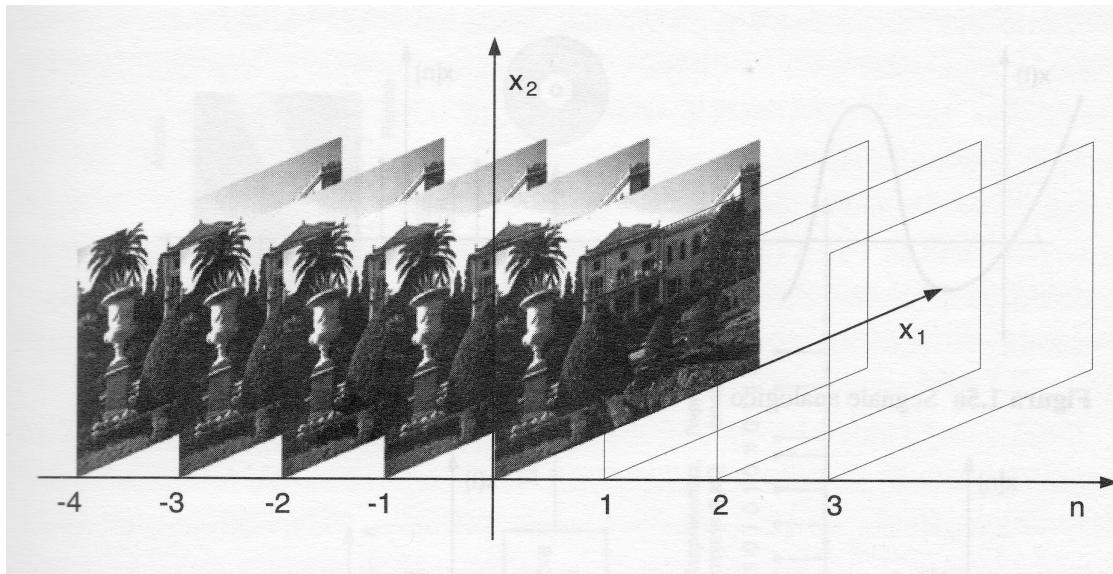


Segnali mono e pluridimensionali

■ Segnale cinematografico (in bianco e nero)

- E' una funzione scalare a tre variabili: le coordinate nel piano immagine (reali) e l'indice di quadro (numero intero)

$$M(x_1, x_2, n) : [\Re^2 \times \mathbb{Z}] \rightarrow \Re$$



La telecamera riprende 24 fotogrammi al secondo (l'occhio umano non percepisce la "discretizzazione" del tempo con un periodo di 1/24 di secondo)

Dinamica e ritardo di un segnale

■ Dinamica di un segnale

- E' detta dinamica del segnale la seguente quantità (calcolata in decibel):

$$D_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{\max \{|x(t)|\}}{\min \{|x(t)|\}} \right) \quad \min \{|x(t)|\} \neq 0$$

- In generale, nessun segnale elettrico reale tocca il minimo (assoluto) di 0 Volt. Per cui, la dinamica è, in genere, un numero reale;
- La definizione di cui sopra vale per segnali monodimensionali definiti nel dominio del tempo (quelli di cui ci occuperemo nel corso), ma può essere "estesa" facilmente a segnali multidimensionali.

Dinamica e ritardo di un segnale

■ Ritardo (anticipo) di un segnale

- Se l'asse temporale del segnale viene traslato positivamente rispetto all'origine dei tempi, si dice che il segnale è ritardato:

$$x(t) \rightarrow x(t - t_0)$$

- Se l'asse temporale del segnale viene traslato negativamente rispetto all'origine dei tempi, si dice che il segnale è anticipato:

$$x(t) \rightarrow x(t + t_0)$$

NB: nel caso di segnali periodici, il ritardo (o l'anticipo) è chiamato **fase** (nel caso sinusoidale è ovvio perché)

Classificazione dei segnali

■ Classificazione secondo il tempo (dominio)

- Segnali a tempo continuo: per i quali il dominio della funzione (tempo) ha la cardinalità dell'insieme dei numeri reali. Analiticamente sono *funzioni continue* della variabile tempo es. $x(t)$;
- Segnali a tempo discreto, per i quali il dominio della funzione (tempo) ha la cardinalità dell'insieme (discreto) dei numeri interi. Analiticamente sono *successioni* es. $x[n]$.

Classificazione dei segnali

■ Classificazione secondo l'ampiezza (codominio)

- Segnali ad ampiezza continua: che possono assumere con continuità tutti i valori reali di un intervallo (eventualmente illimitato);
- Segnali ad ampiezza discreta, aventi come codominio un insieme, numerabile, eventualmente illimitato (esempio: segnali binari, solo due ampiezze possibili).

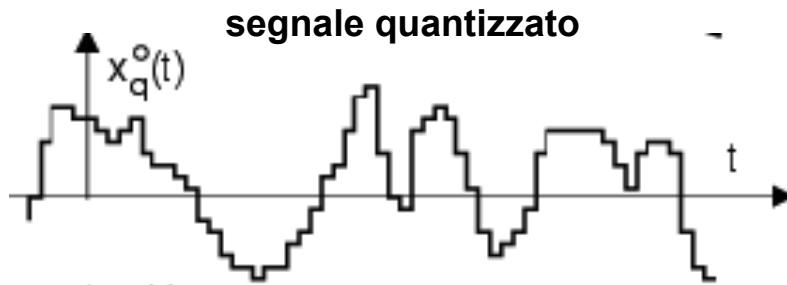
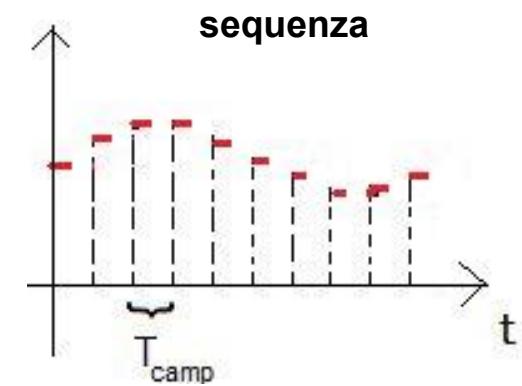
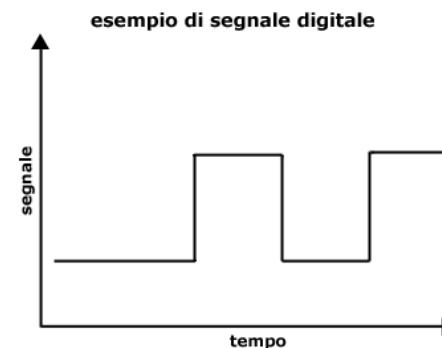
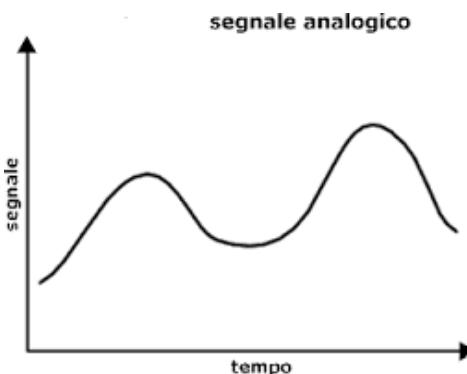
Classificazione dei segnali

■ Segnali analogici e segnali numerici

- I segnali a tempo continuo ed ampiezza continua sono detti analogici;
- I segnali a tempo discreto ad ampiezza discreta sono detti numerici o digitali;
- I segnali a tempo discreto ed ampiezza continua sono detti sequenze;
- I segnali a tempo continuo ed ampiezze discrete sono detti segnali quantizzati.

Classificazione dei segnali

■ Segnali analogici e segnali numerici (esempi grafici)



Classificazione dei segnali

■ Esempi (storici) di segnali numerici

□ Segnale telegrafico Morse (1846)

- Si basa su **due diverse durate** del segnale elettrico trasmesso: breve = punto, lunga = linea, corrispondenti a due simboli di base, in funzione dei quali sono espressi tutti i simboli dell'alfabeto scritto. La codifica tra simboli Morse e simboli dell'alfabeto scritto è detto «alfabeto Morse»;



□ Telescrivente con codice Baudot (1904)

- Si basa su una sequenza di presenza/assenza di 5 impulsi elettrici trasmessi in linea cablata (**codice binario**, tipo 0,1), che generano fino a $2^5=32$ caratteri, pilotando la testina elettromeccanica dell'apparecchio ricevente. Ogni tasto premuto dalla tastiera, genera un carattere di 5 impulsi detto **baud**.



Classificazione dei segnali

■ Segnale numerico digitale binario

- E' ottenuto da un circuito elettronico in grado di generare due livelli di tensione: uno **alto** ed uno **basso** sul fronte di un segnale di temporizzazione detto **clock**;
- A questi due livelli vengono assegnati due valori logici "0" e "1", che vengono chiamati **bit**;
- Questa è la base del funzionamento di ogni elaboratore elettronico e della trasmissione numerica dei dati.
- La base teorica della rappresentazione digitale dell'informazione è stata fornita da **Claude E. Shannon** nel 1949 (*teoria dell'informazione*). Benché oggetto di critiche, la teoria di Shannon funziona ancora oggi.

Classificazione dei segnali

■ Segnali analogici e numerici: differenze (1)

- Il segnale analogico è un segnale che varia con continuità nel tempo: è, quindi, una funzione continua almeno di ordine 0;
- Il segnale numerico mantiene inalterato il valore discreto per un intervallo di tempo fissato detto periodo di segnalazione o tempo di cifra.
- Il segnale numerico è quindi una funzione continua a tratti, con discontinuità negli istanti di tempo in cui commuta da un valore ad un altro.

Classificazione dei segnali

■ Segnali analogici e numerici: differenze (2)

- Un segnale analogico è tipicamente il frutto della trasduzione elettrica di un messaggio proveniente dal mondo esterno (voce, immagini, ecc.);
- Tipici trasduttori sono microfoni e telecamere. Il segnale elettrico, continuo, viene così elaborato e trasmesso.
- Il segnale numerico, invece, proviene da elaborazioni digitali da parte di “macchine” calcolatrici;
- Un tipico esempio di macchina calcolatrice è il PC, che “lavora” in codice binario (anche con i caratteri alfabetici, codificati a parole di bit) e manda in uscita flussi di bit di informazione (a livello logico 0 o 1).

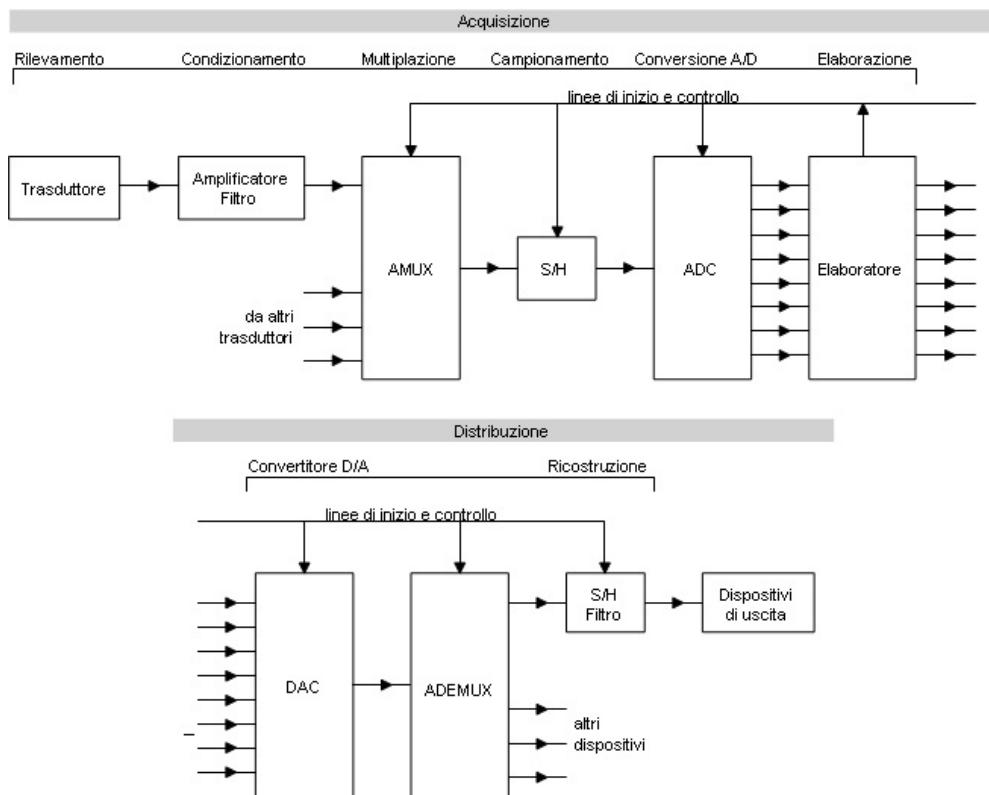
Segnali analogici e numerici

■ Elaboratori numerici di segnali

- Altri esempi di macchine calcolatrici sono gli elaboratori numerici di segnali, che ricevono in ingresso un segnale analogico, lo convertono in forma numerica (conversione A/D) e lo elaborano;
- Molto spesso, gli elaboratori di segnali operano su PC, ma non sempre. Talvolta sono costituiti da processori dedicati (DSP, FPGA) e software implementato ad hoc;
- Sistemi di elaborazione di segnali audio e video sono venduti a poco prezzo e trovano una gamma vastissima di applicazioni.

Segnali analogici e numerici

■ Schema a blocchi di un generico elaboratore numerico di segnali



Esempi concreti:

Schede di acquisizione di segnali audio e video per PC (costano 50-60 Euro l'una e consentono di realizzare audio e video “creativi” grazie a librerie software vendute con il prodotto)

Classificazione dei segnali

■ Segnali periodici ed aperiodici (1)

- Un segnale è detto **periodico** se ripete sé stesso in intervalli di tempo multipli rispetto ad un tempo T detto periodo. Altrimenti è detto **aperiodico**;
- La sinusoide è il tipico segnale periodico. Un clock ad onda quadra è un altro esempio di segnale periodico. L'orizzonte temporale della ripetizione è infinito;
- Qualsiasi segnale periodico può essere matematicamente espresso nella seguente maniera:

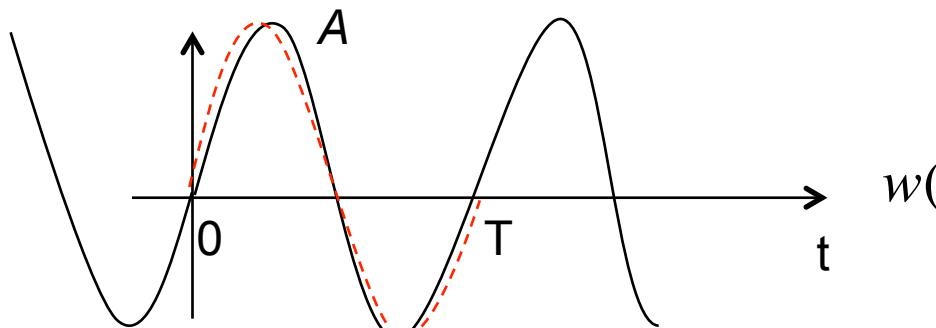
$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} w(t - kT)$$

$w(t)$ è un segnale definito su un dominio temporale limitato (*segnale a durata finita*) ed è detto forma d'onda

Classificazione dei segnali

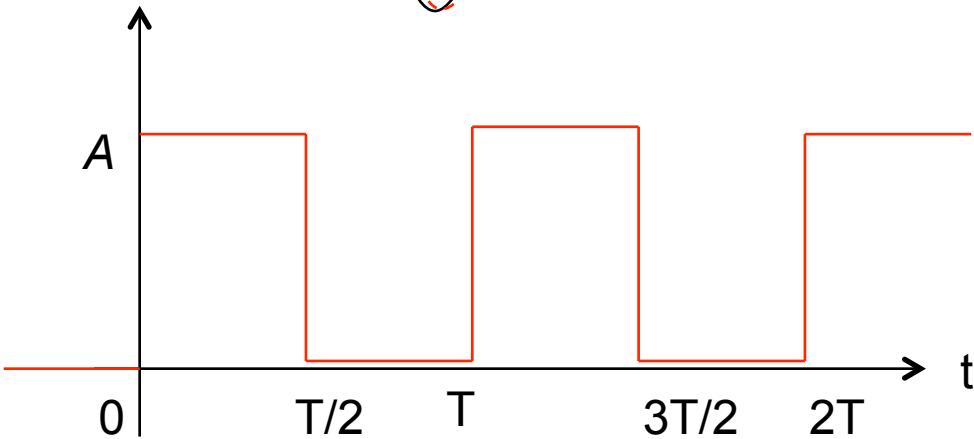
■ Segnali periodici ed aperiodici (2)

- Vediamo i due esempi più noti (in rosso tratteggiato le forme d'onda):



Segnale seno (periodo T)

$$w(t) = \begin{cases} A \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) & 0 \leq t \leq T \\ 0 & \text{altrove} \end{cases}$$



Segnale clock (periodo T)

$$w(t) = \begin{cases} A & 0 \leq t \leq T/2 \\ 0 & \text{altrove} \end{cases}$$

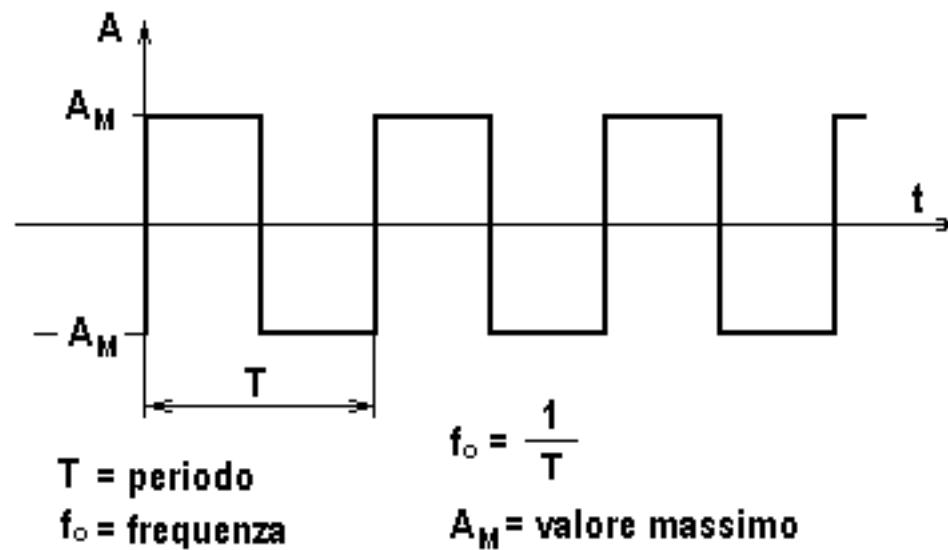
Classificazione dei segnali

■ Segnali deterministici e segnali aleatori

- Un segnale è detto **deterministico** (o determinato) se il valore del segnale è univocamente determinato *a priori* una volta fissate le variabili di dominio (tempo, spazio, ecc.);
- Questo accade se il segnale è noto attraverso un grafico, una registrazione magnetica o, più semplicemente, attraverso una ben definita espressione analitica;
- Un segnale è detto **aleatorio** (o stocastico) se non è possibile conoscere con esattezza *a priori* il valore assunto dal segnale in un certo istante, ma può essere conosciuto solo *a posteriori*, tramite un'osservazione.

Classificazione dei segnali

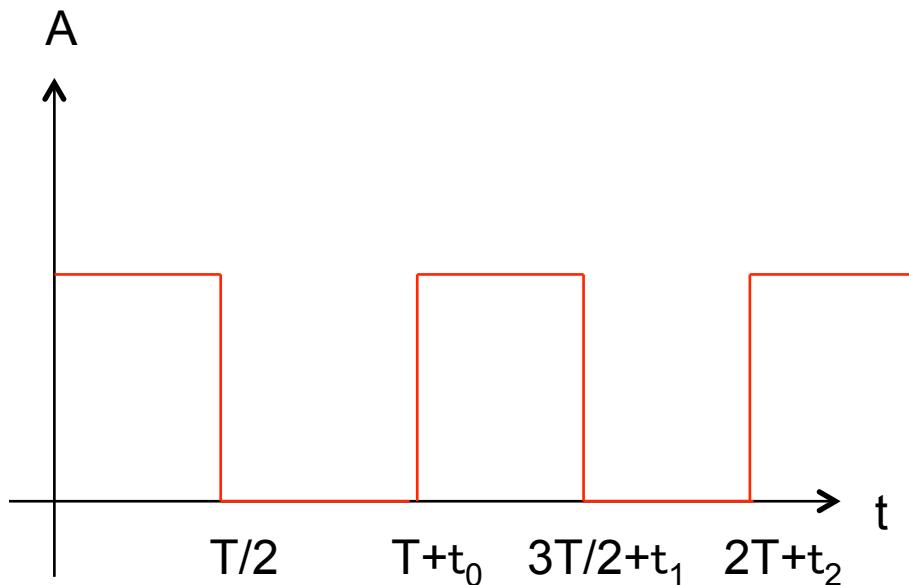
- Esempi di segnali deterministici ed aleatori (1)



Segnale di clock stabile (deterministico)

Classificazione dei segnali

■ Esempi di segnali deterministici ed aleatori (2)



In un clock instabile, t_0 , t_1 e t_2 ecc. ecc. sono le realizzazioni di una variabile aleatoria detta jitter. Per cui, il valore del segnale in un istante temporale fissato non è conoscibile a priori

Segnale di clock a frequenza instabile (aleatorio)

Classificazione dei segnali

■ Esempi di segnali deterministici ed aleatori (3)

- Una sinusoide, di cui siano note ampiezza, frequenza e fase è un segnale deterministico:

$$x(t) = A \cos(2\pi f_0 t + \varphi) \quad A, f_0 \text{ e } \varphi \text{ note} \rightarrow \underline{\text{deterministico}}$$

- Ma se solo uno dei tre parametri caratterizzanti la sinusoide non fosse noto a priori (ovvero fosse una variabile aleatoria), allora la sinusoide diventerebbe un segnale aleatorio.

Classificazione dei segnali

■ Esempi di segnali deterministici ed aleatori (4)

- In un sistema di trasmissione di segnali radio un'interferenza proveniente da un altro trasmettitore è un segnale aleatorio;
- Infatti, io non posso sapere a priori che cosa il trasmettitore interferente sta trasmettendo e con quali parametri (ad esempio, con quale potenza).

Classificazione dei segnali

- **Esempi di segnali deterministici ed aleatori (5)**
 - Altri esempi di segnali aleatori sono le correnti e tensioni parassite prodotte da componenti elettrici ed elettronici e dovute a fenomeni quantistici (*rumore termico*);
 - Nulla di questi fenomeni, che avvengono al livello subatomico, può essere conosciuto a priori;
 - In generale, tutto ciò che è fuori dal nostro controllo e che possiamo solo osservare a posteriori è aleatorio.
 - Per capire segnali deterministici è sufficiente l'analisi matematica, per capire i processi aleatori è necessaria la statistica.