



POLITECNICO  
DI TORINO

DET

Department of Electronics and Telecommunications

# Introduzione ai Segnali ed ai Sistemi Elettronici

# Sistemi Elettronici e Tecnologie

- Sistemi Elettrici ed Elettronici utilizzano entrambi fenomeni elettromagnetici a fini applicativi
- Nei **sistemi elettrici**: l'attenzione è rivolta al contenuto energetico
- Nei **sistemi elettronici**: l'attenzione è rivolta all'*informazione*

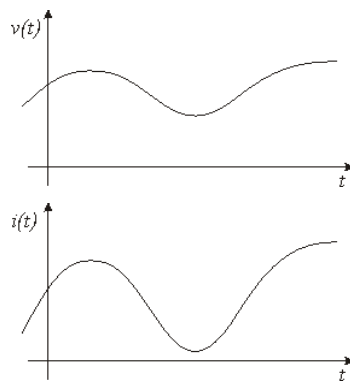
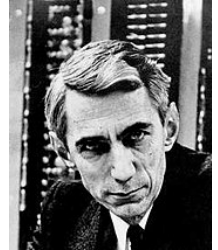


POLITECNICO  
DI TORINO

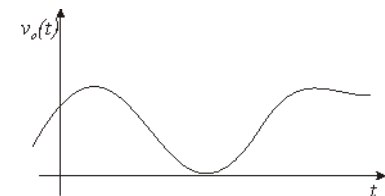
DET  
Department of Electronics and Telecommunications

# Informazione e Sistemi Elettronici

- Significato convenzionale attribuito ad una **grandezza fisica variabile nel tempo** in base ad una opportuna codifica.
  - Teoria dell'informazione (Shannon, 1930)
  - **Segnale**: grandezza fisica variabile a cui è associata informazione.
- In Elettronica, si considerano **segnali elettrici**:  $v(t)$ ,  $i(t)$
- Un **Sistema Elettronico** è un qualsiasi apparato in grado di eseguire operazioni su segnali (*ingressi*) fornendo nuovi segnali (*uscite*).



Segnali in ingresso, Ingressi



Segnali in uscita, Uscite



POLITECNICO  
DI TORINO

DET  
Department of Electronics and Telecommunications

## ■ Applicazioni

- Elaborazione delle informazioni e calcolo (scientifico, simulazione, contabilità...)
- Entertainment (audio, video, multimedia...)
- Telecomunicazioni (wireless, wired, broadcast (radio/TV), ...)
- Intelligenza artificiale (riconoscimento di immagini, apprendimento,...)
- Sistemi di controllo (robotica, automotive, automazione industriale...)
- Bio-medicali (strumentazione medica, dispositivi impiantabili...)
- ... e molte altre dove sistemi elettronici (**embedded**) sono utilizzati in sistemi di altro tipo per controllarli, monitorarli e migliorarne le prestazioni



- Spesso singoli sistemi/apparati svolgono numerose funzioni (e.g. smartphone, tablet...)



- Diffusione sempre più pervasiva di sistemi micro-nano elettronici a bassissimo costo interconnessi tra loro → **Internet of Things (IoT)**.



# Concetti base 1

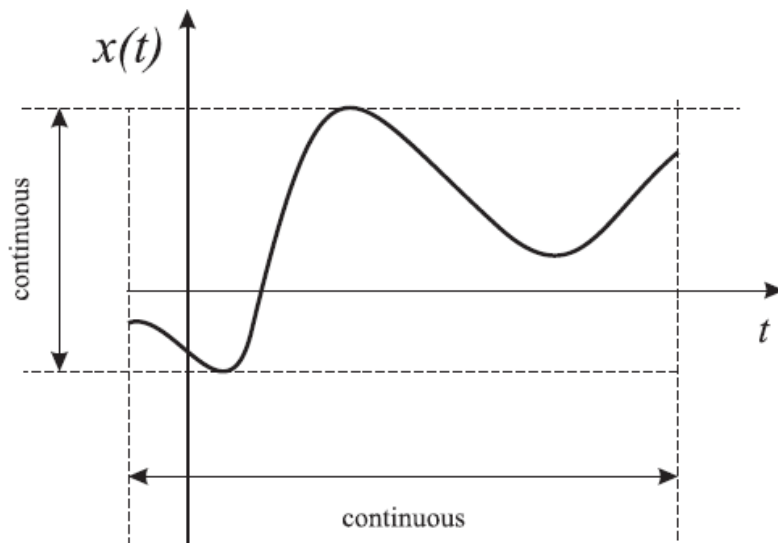
- Come associare informazione ad un segnale
  - ***Segnale Analogico***
    - continuo nel tempo e nelle ampiezze
  - ***Segnale Digitale***
    - discreto nel tempo e nelle ampiezze
  - Altre possibilità: segnali campionati, segnali digitali asincroni



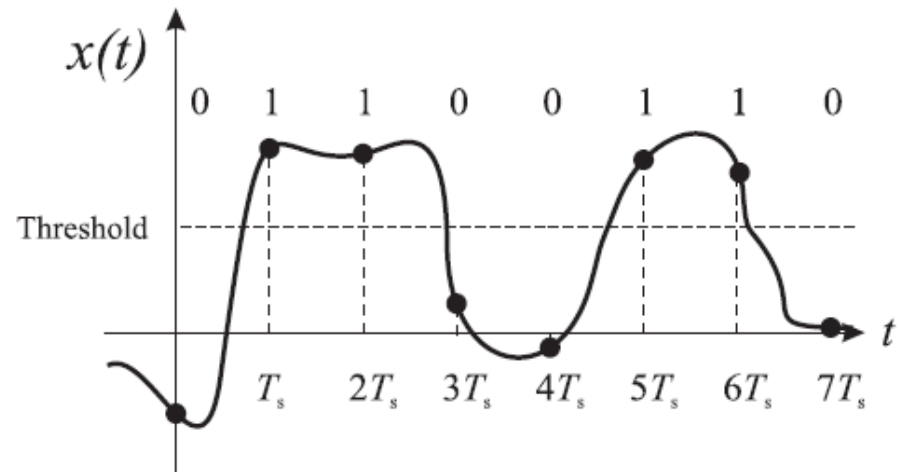
# Come associare informazione ad un segnale

- I segnali si differenziano *per come l'informazione è ad essi associata* in:
  - Segnali Analogici
  - Segnali Digitali (o Numerici)

Segnale Analogico

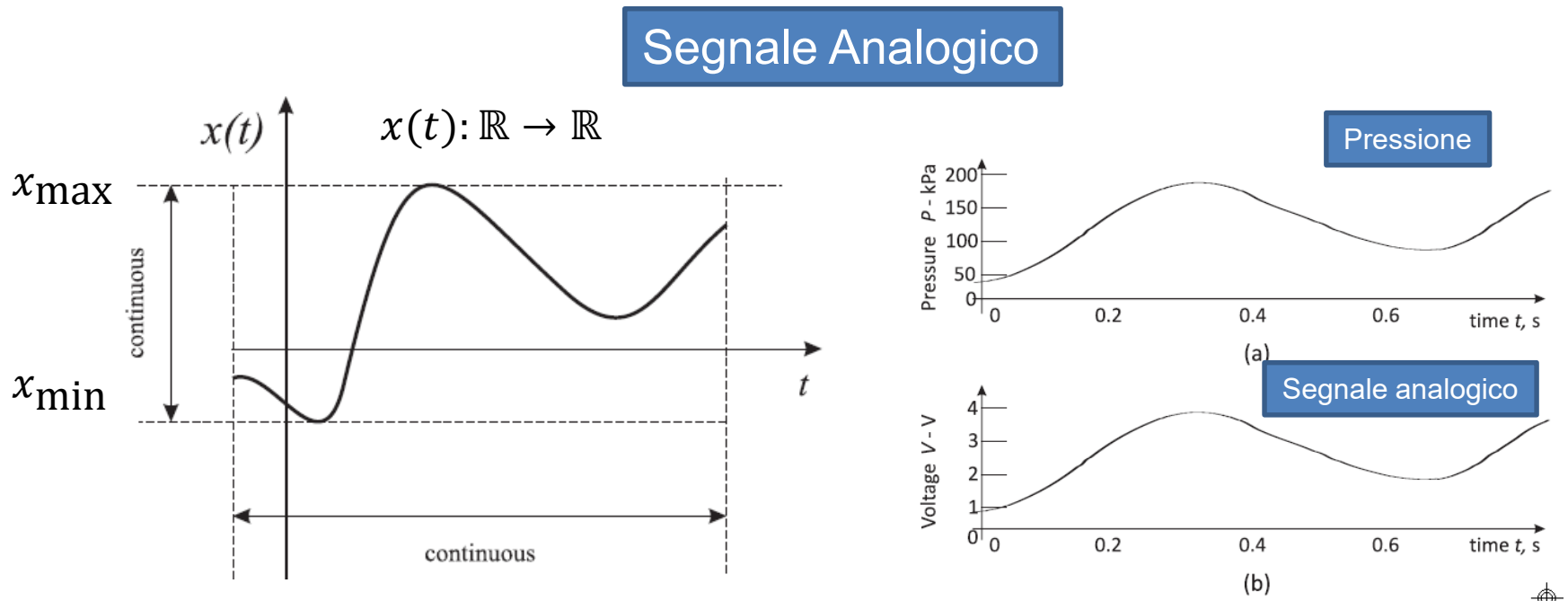


Segnale Digitale



# Segnale Analogico

- L'informazione è associata al valore  $x(t) \in (x_{\min}, x_{\max}) \subset \mathbb{R}$ , assunto dal segnale ad ogni istante di tempo  $t \in \mathbb{R}$
- Si dice che il segnale è **continuo in ampiezza e continuo nel tempo**
- Spesso 'copia' (per analogia) l'andamento di una grandezza non elettrica.

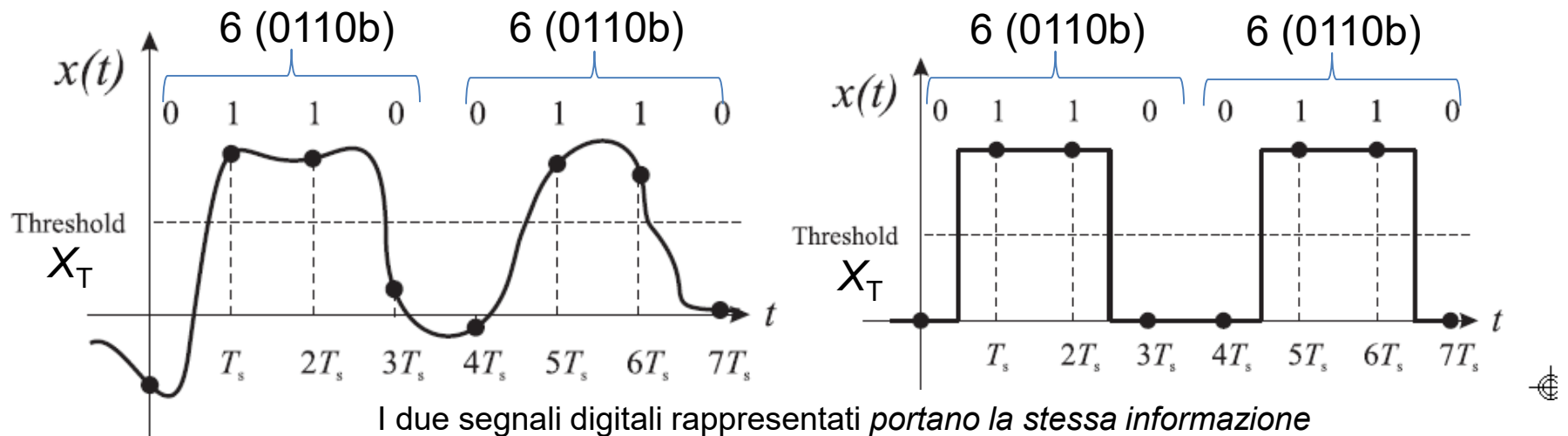


# Segnale Digitale (sincrono)

- L'informazione è associata alla posizione ( $>$  o  $<$ ) del segnale ad *istanti di tempo discreti*  $nT$ ,  $n \in \mathbb{N}$  rispetto ad una *soglia logica*  $X_T$  (threshold):
  - $x(nT) > X_T \rightarrow x[n]='1'$ , 'VERO', valore logico alto
  - $x(nT) < X_T \rightarrow x[n]='0'$ , 'FALSO', valore logico basso
- Si dice che è **discreto in ampiezza (a due livelli) e discreto nel tempo**
- Equivale ad una *sequenza di numeri interi binari o simboli (ad es. ASCII)*

$$x[n]: \mathbb{N} \rightarrow \{0,1\}$$

$$x[n]: \mathbb{N} \rightarrow \{0,1\}$$

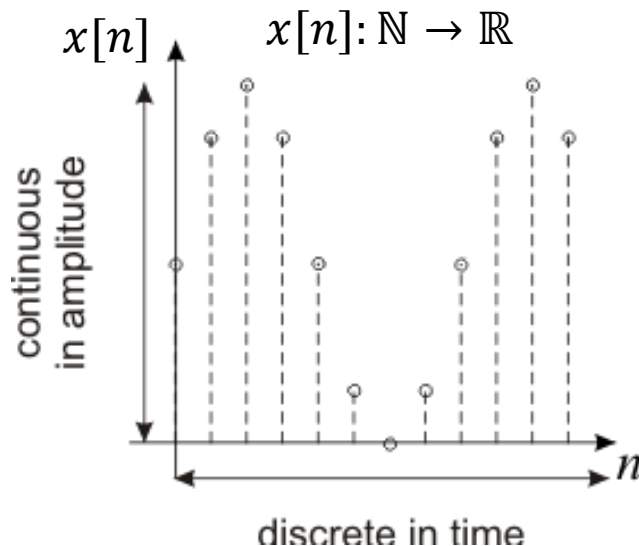




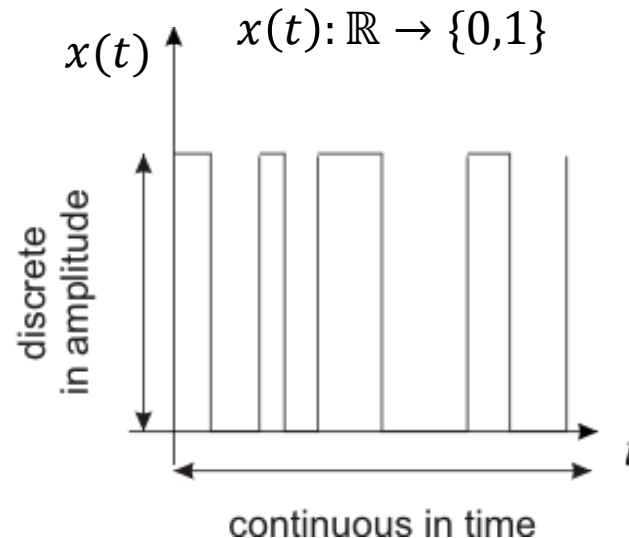
# Segnali Campionati e Digitali Asincroni

- Oltre ai segnali analogici (continui nel tempo e in ampiezza) e digitali sincroni (discreti nel tempo e in ampiezza) sono d'interesse anche:
- **Segnali campionati:** *discreti nel tempo, continui in ampiezza*
- **Segnali digitali asincroni:** *continui nel tempo, discreti in ampiezza*

**Segnale Campionato**



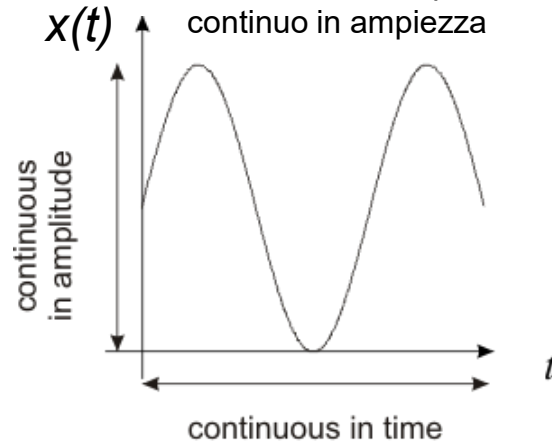
**Segnale Digitale Asincrono**



# Prospetto Riassuntivo

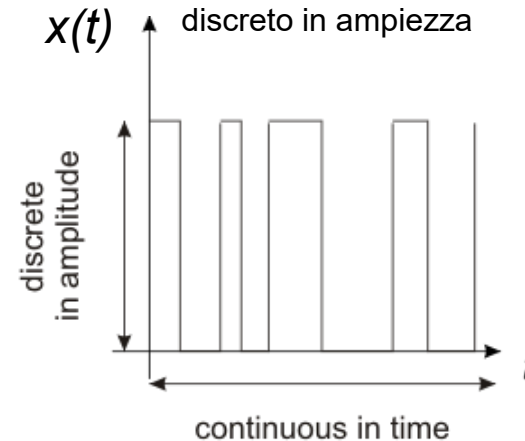
## Segnale Analogico

continuo nel tempo  
continuo in ampiezza



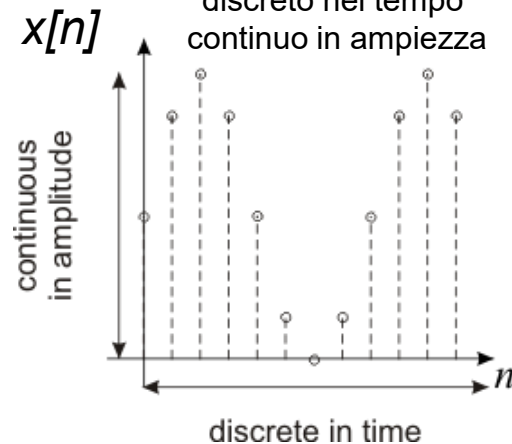
## Segnale Digitale Asincrono

continuo nel tempo  
discreto in ampiezza



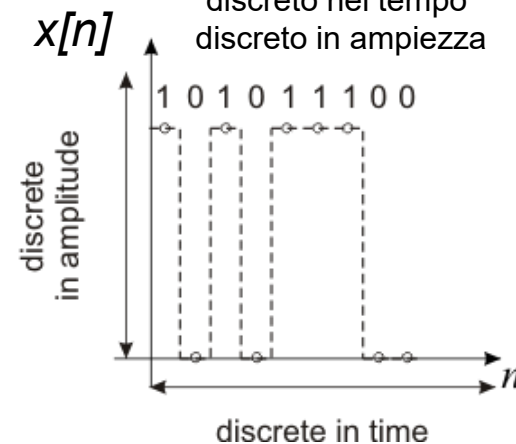
## Segnale Campionato

discreto nel tempo  
continuo in ampiezza



## Segnale Digitale (Sincrono)

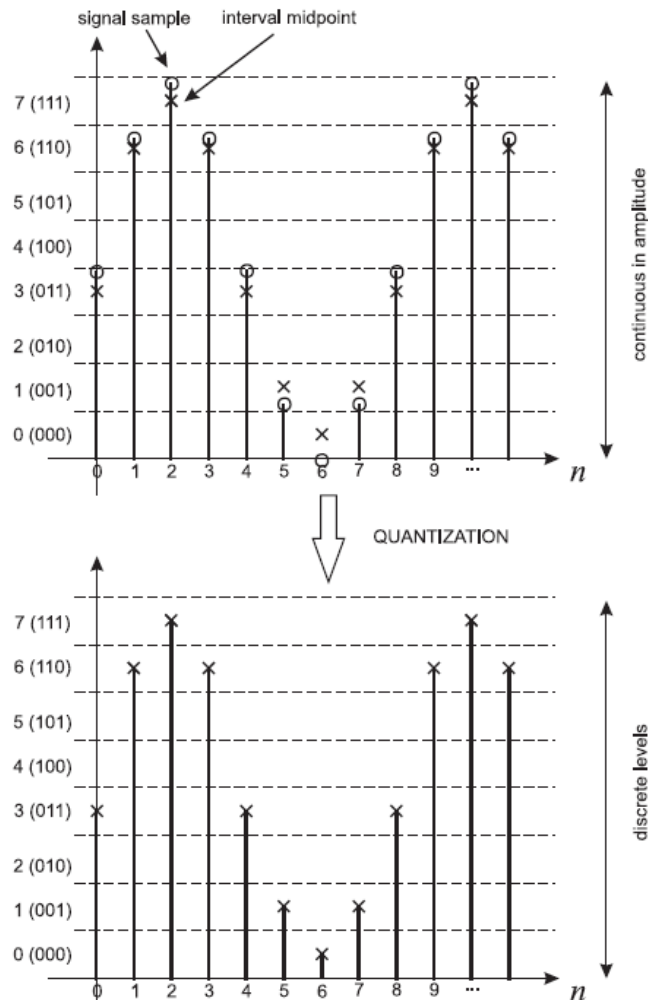
discreto nel tempo  
discreto in ampiezza



POLITECNICO  
DI TORINO

DET  
Department of Electronics and Telecommunications

# Conversione Analogico → Digitale (A/D)



Da **segnale campionato**  
**DISCRETO** nel tempo  
**CONTINUO** in ampiezza

## QUANTIZZAZIONE

discretizzazione delle ampiezze:

- La dinamica è divisa in  $2^N$  intervalli
- Ogni campione è associato al valor medio dell'intervallo in cui cade
- Errore di quantizzazione

$$|\varepsilon| < \frac{s}{2^{N+1}} = \frac{1}{2} \text{ LSB}$$

A **segnale digitale a livelli**

**DISCRETO** nel tempo

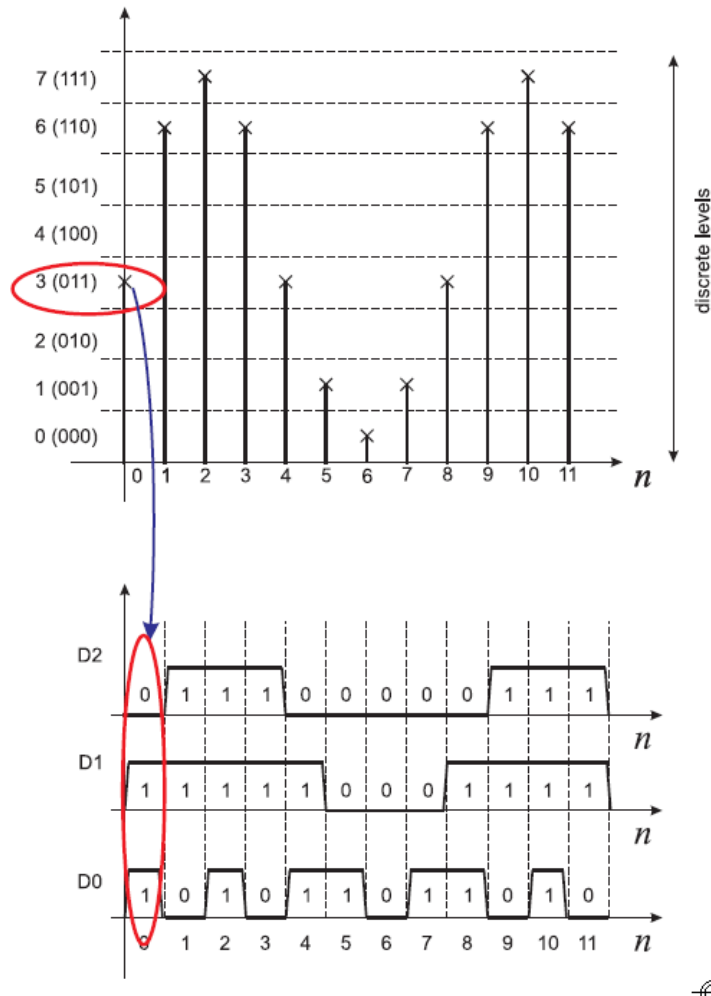
**DISCRETO** in ampiezza (su più livelli)



POLITECNICO  
DI TORINO

DET  
Department of Electronics and Telecommunications

# Conversione Analogico → Digitale (A/D)



da **segnale a livelli**

**DISCRETO** nel tempo

**DISCRETO** in ampiezza (più livelli)

## CODIFICA

- A ciascun intervallo è associato a un numero binario
- Vengono generati segnali digitali a due livelli corrispondenti alle cifre binarie

A **segnale(i) digitali binari**

**DISCRETO** nel tempo

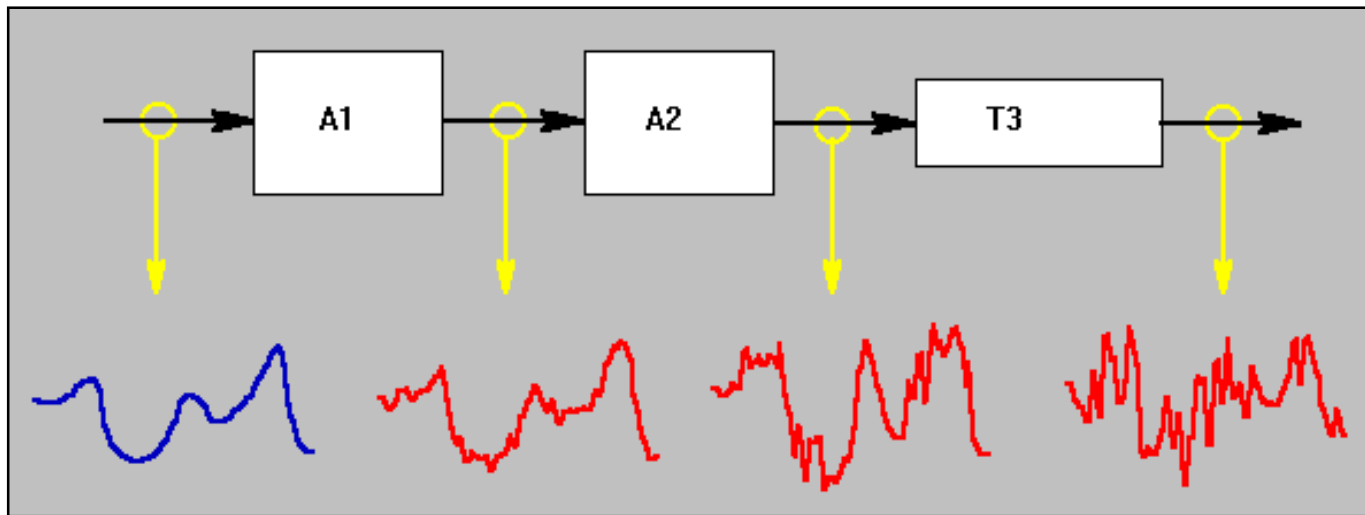
**DISCRETO** in ampiezza (due livelli, 0 e 1)



# Segnale Analogico vs. Digitale

## ■ Il segnale analogico

- più vicino al mondo fisico (sensori, trasduttori)
- ha contenuto di informazione teoricamente infinito...
- ...ma il rumore aggiunto ad ogni elaborazione degrada parte dell'informazione in modo irreversibile, fino a corromperla completamente.



segnale analogico 'pulito'  
elevato rapporto segnale rumore (SNR)



segnale analogico degradato  
basso rapporto segnale rumore (SNR)



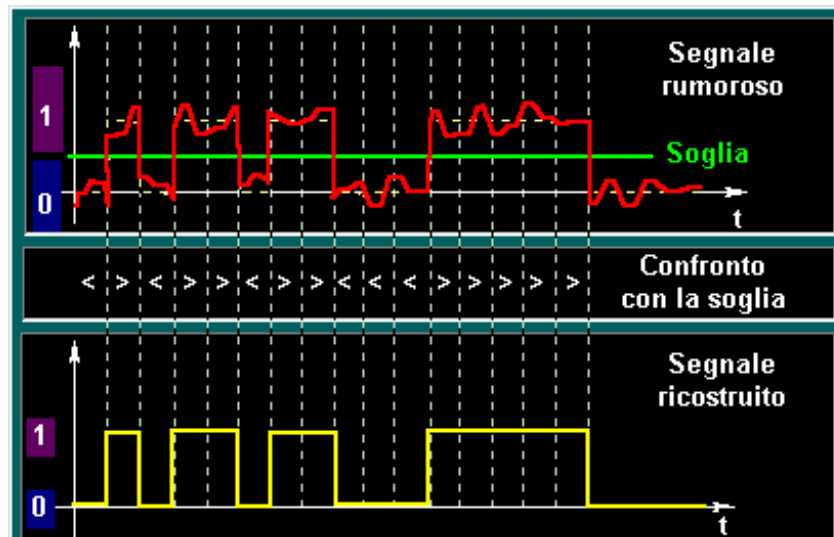
POLITECNICO  
DI TORINO

DET  
Department of Electronics and Telecommunications

# Segnale Analogico vs. Digitale

## ■ Il segnale digitale

- ha contenuto di informazione limitato ( $n$  campioni su due livelli  $\rightarrow n$  bit)
- il rumore aggiunto ad ogni elaborazione, se non è tale da invertire lo stato logico, *non degrada l'informazione*, che può essere recuperata esattamente confrontando il segnale con la soglia (**effetto rigenerativo**)
- E' più semplice da elaborare (HW riconfigurabile e a basso costo)



# Concetti base 2

## ■ Sistema Elettronico

### – *Schemi a blocchi*

- Architettura generale
- Decomposizione funzionale e livelli di astrazione

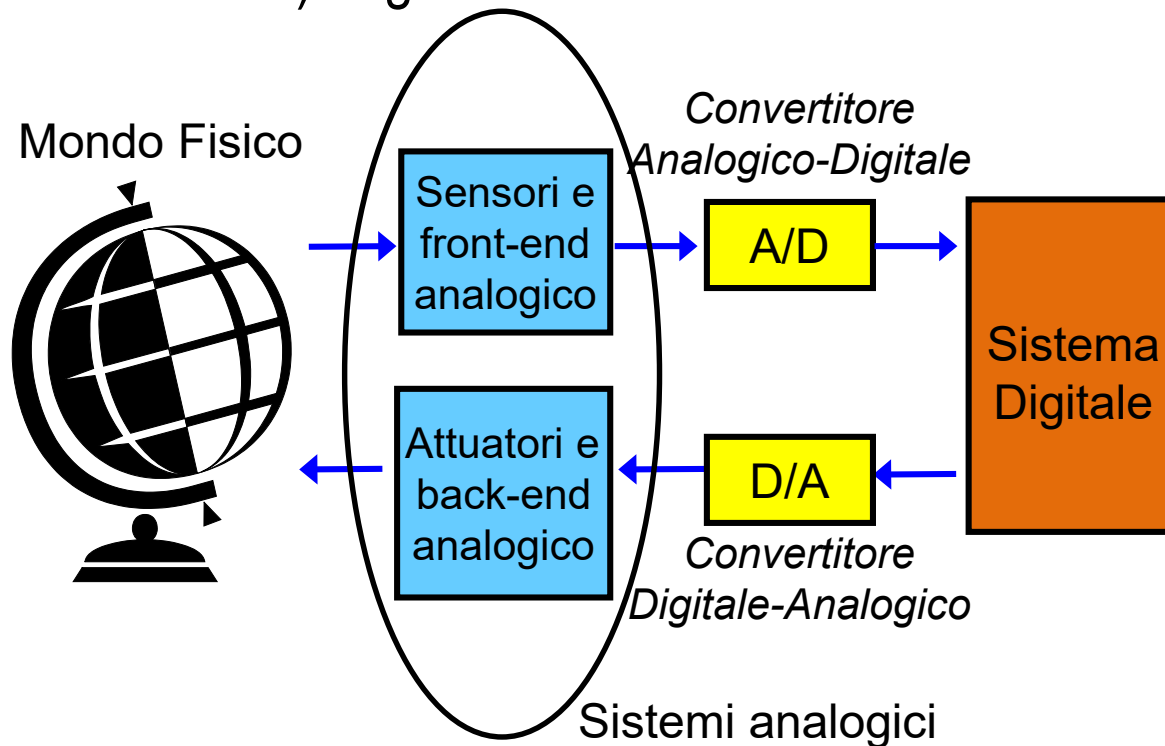
### – *Blocchi funzionali di base*

- Analogici
- Digitali
- Mixed-Signal



# Sistemi Elettronici

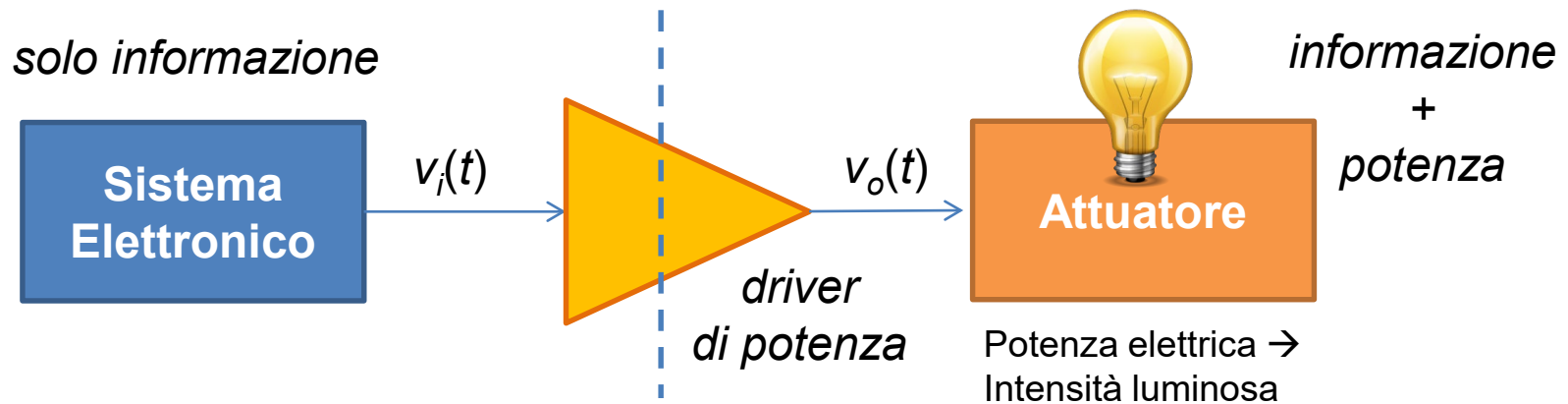
- Il corso di Sistemi Elettronici e Tecnologie è dedicato ai sistemi che elaborano **segnali analogici** (elettronica analogica)
- Si tratta tipicamente dei blocchi funzionali che elaborano (ricevono/trasmettono) segnali che comunicano «con il mondo fisico»





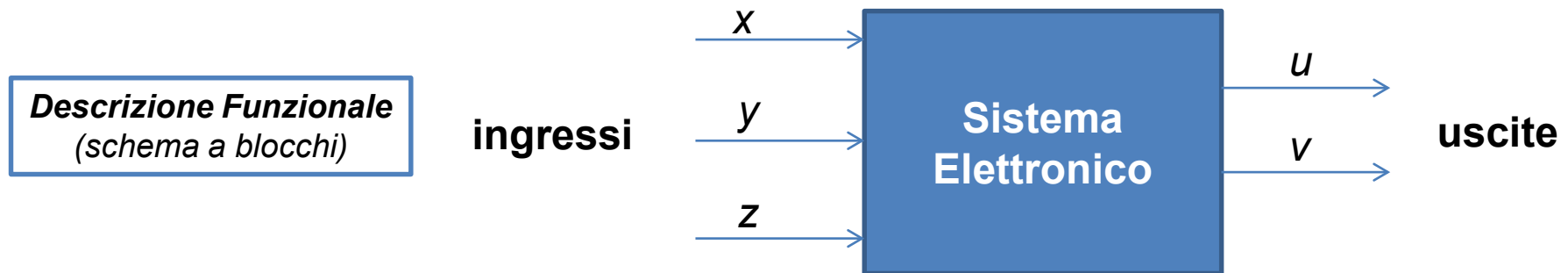
# Segnali: Dinamica

- La dinamica di un segnale elettrico è legata alla *potenza elettrica* ad esso associata
- Nei sistemi che si interfacciano con l'esterno (attuatori), parte della potenza associata ad un segnale è convertita in forma non-elettrica (meccanica, termica, luminosa...), come nei *sistemi elettrici*.
- I segnali che pilotano gli attuatori hanno normalmente dinamica molto maggiore rispetto a quella per l'elaborazione dell'informazione pura e sono generati da moduli specifici (*driver di potenza*).



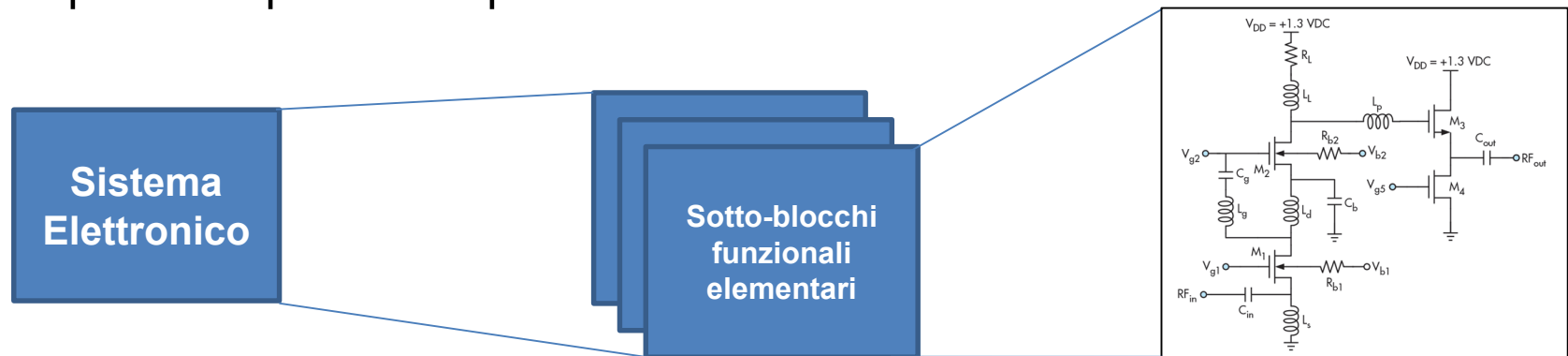
# Sistemi Elettronici

- Un **Sistema Elettronico** è un qualsiasi apparato in grado di eseguire operazioni su segnali (*ingressi*) fornendo nuovi segnali (*uscite*).
- Può essere descritto in termini *funzionali* ...
  - Cosa fa? → *Funzione*
  - Quanta e quale energia richiede? → *Alimentazione*
  - Come interagisce con gli altri moduli? → *Specifiche d'Interfaccia*
- ... senza necessità di conoscere la struttura o il funzionamento interno (*che cosa c'è dentro/come funziona*) → come una funzione di libreria in un linguaggio di programmazione ad alto livello.



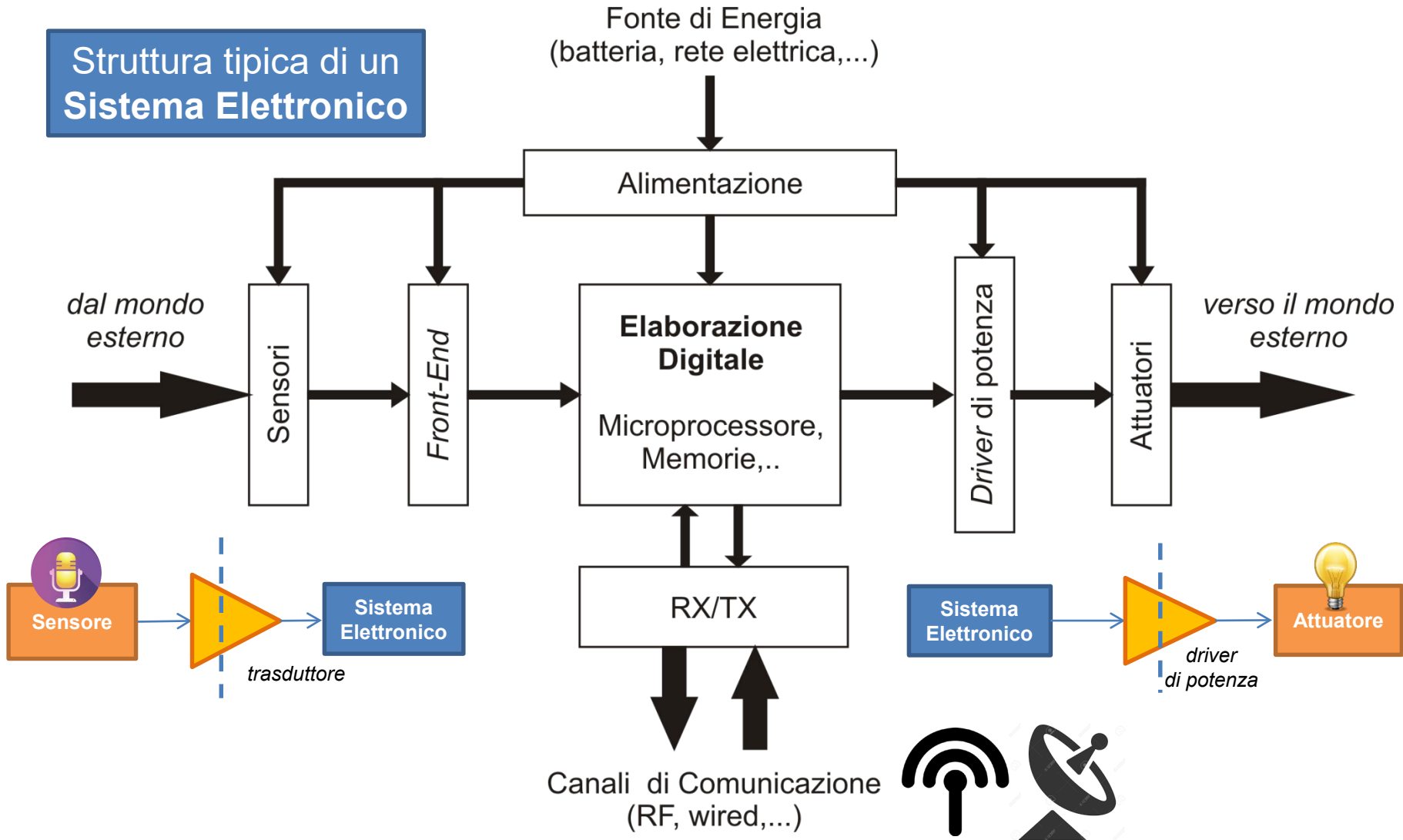
# Sistemi Elettronici: Funzioni elementari

- Ma per comprendere il funzionamento o progettare un sistema elettronico è necessario conoscere la struttura interna
- Le funzioni di un sistema elettronico complesso si possono realizzare partendo da un numero relativamente ridotto di **funzioni elementari** (**decomposizione funzionale**) così com'è possibile sviluppare SW complesso a partire da poche istruzioni elementari.

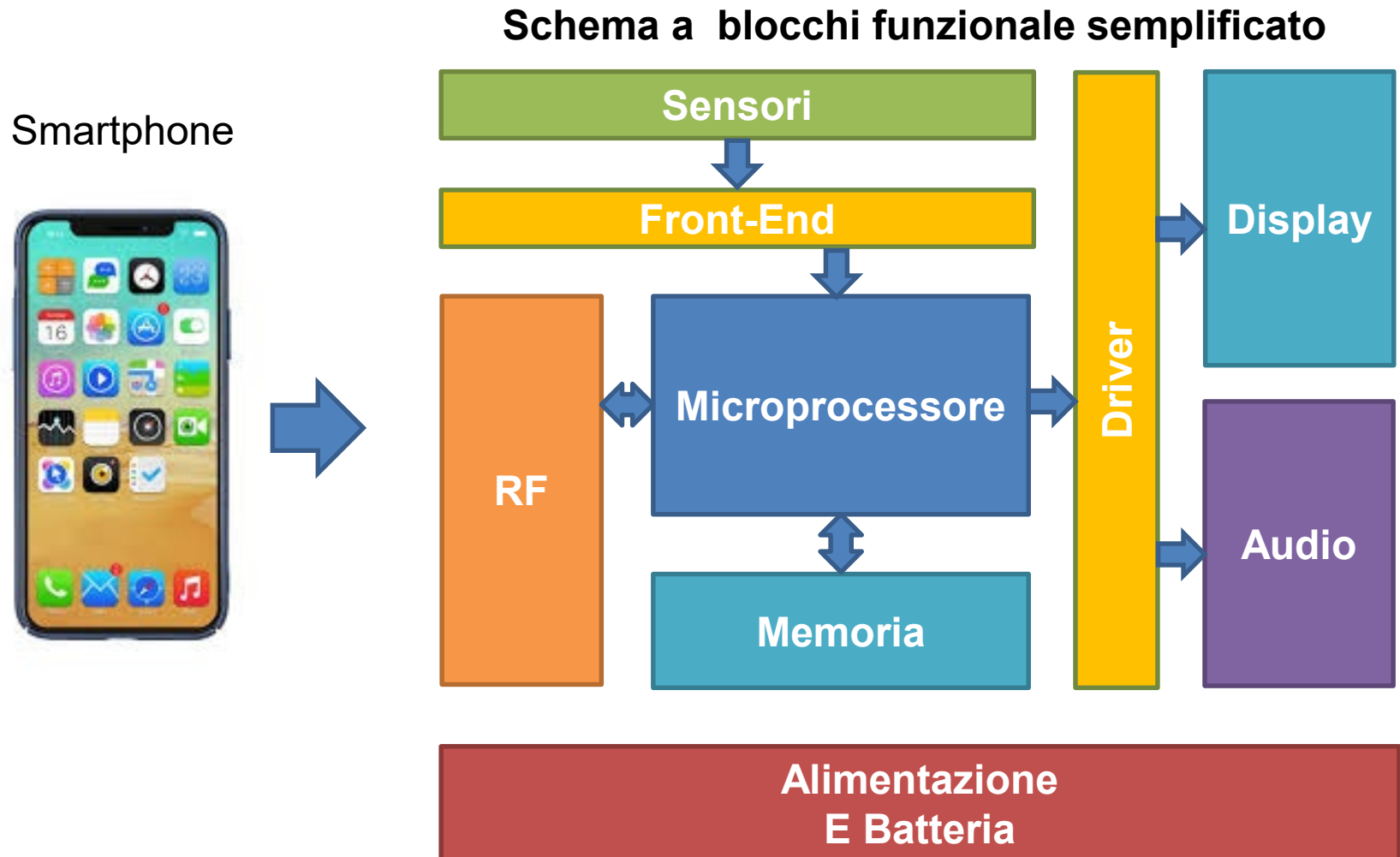


- In pratica, l'elettronica consiste nel saper progettare i circuiti che realizzano le funzioni elementari. Quali sono queste funzioni?

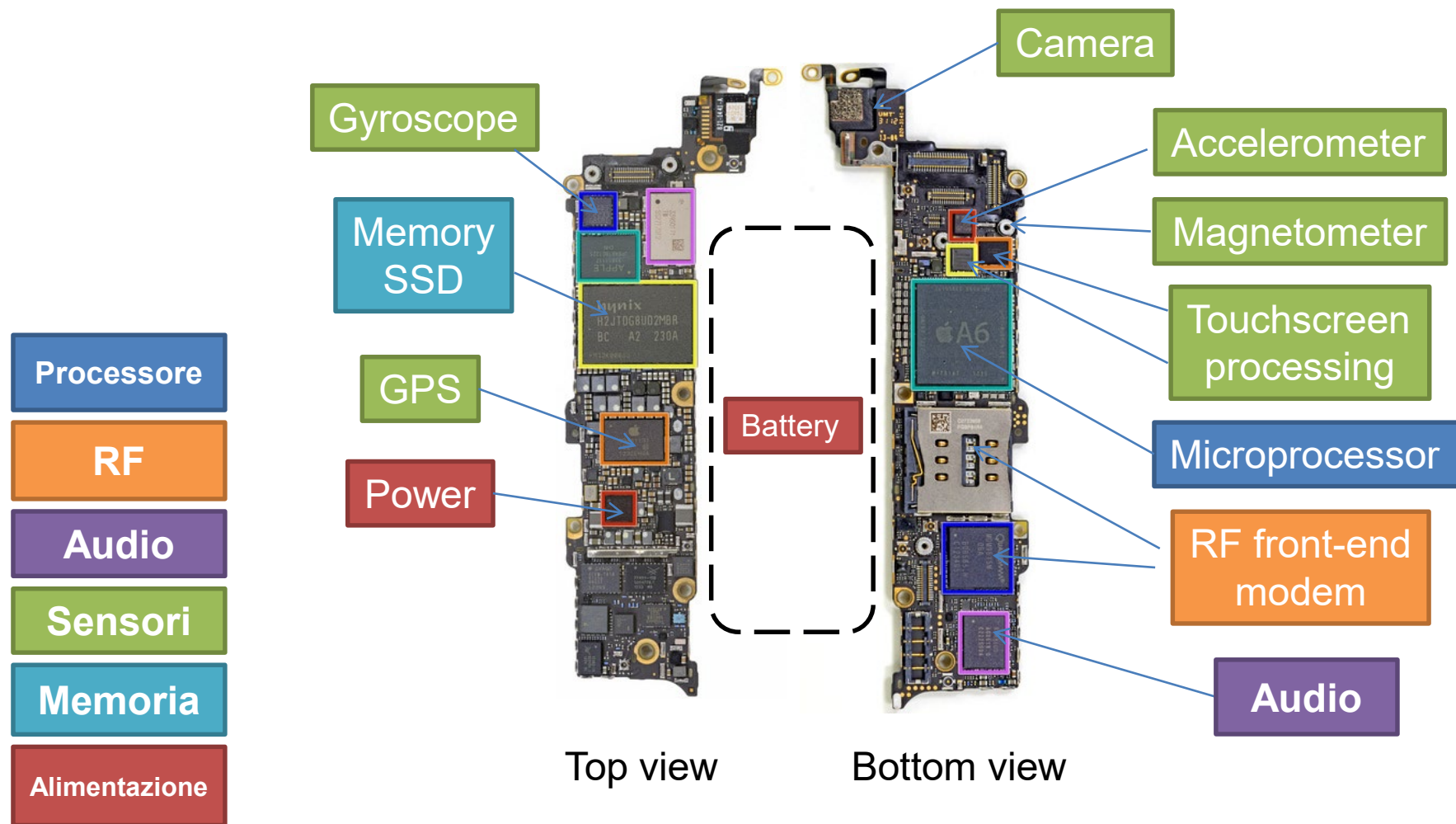
# Sistemi Elettronici



# Sistemi Elettronici: Smartphone



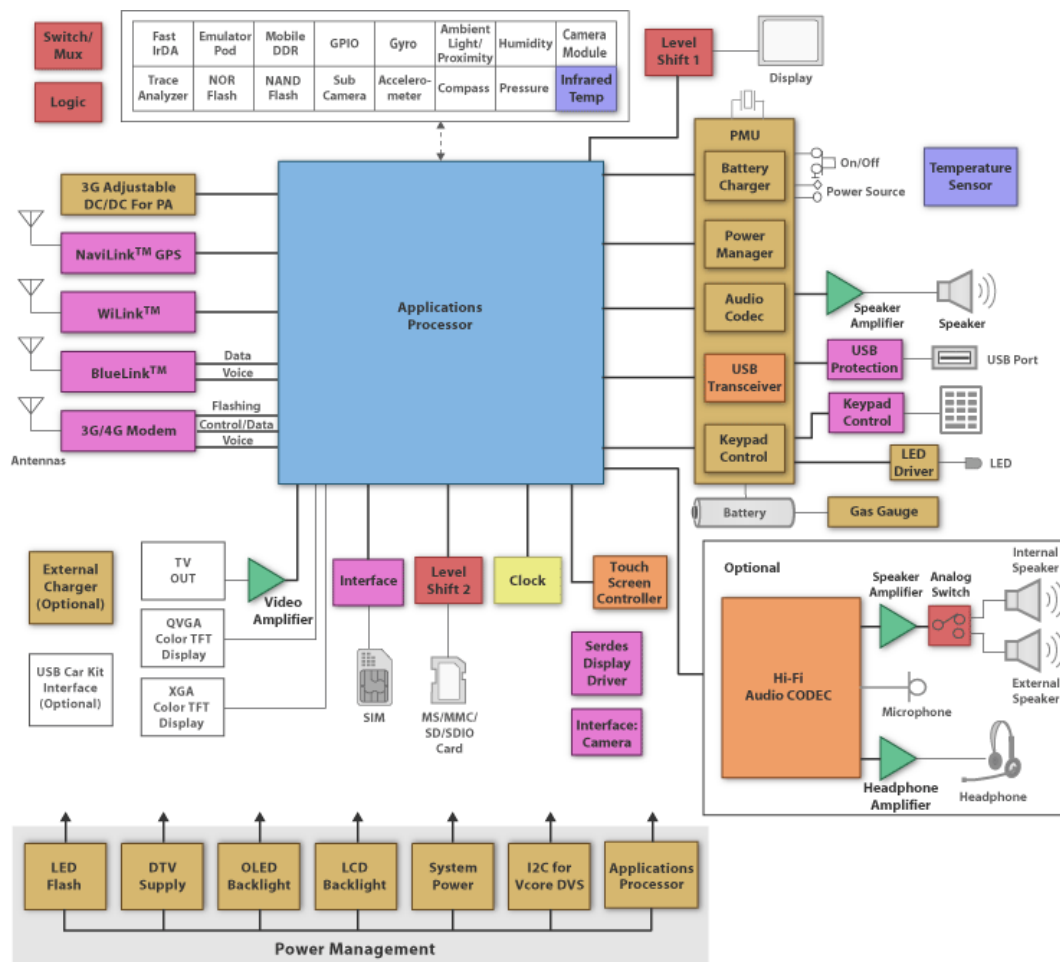
# Sistemi Elettronici: Smartphone



# Sistemi Elettronici: Smartphone

## Schema a blocchi funzionale dettagliato

Smartphone



POLITECNICO  
DI TORINO

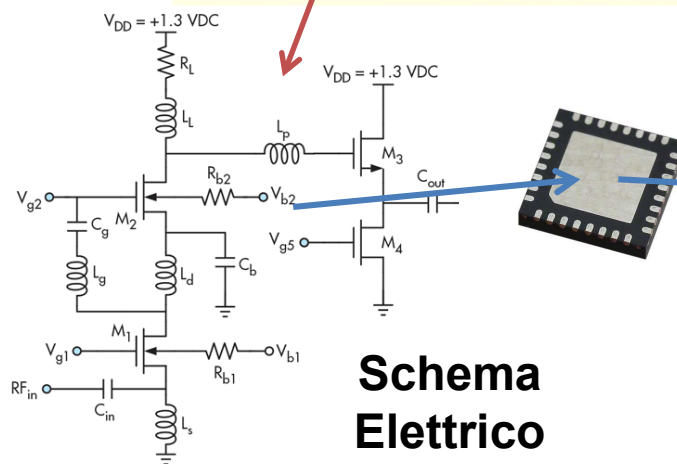
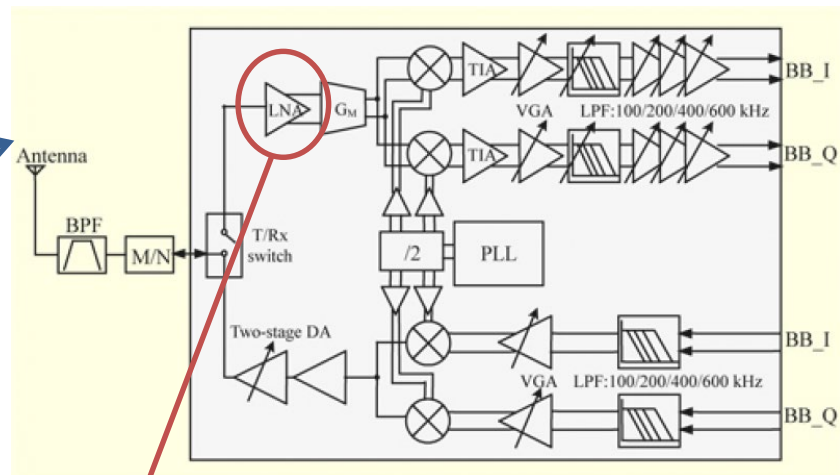
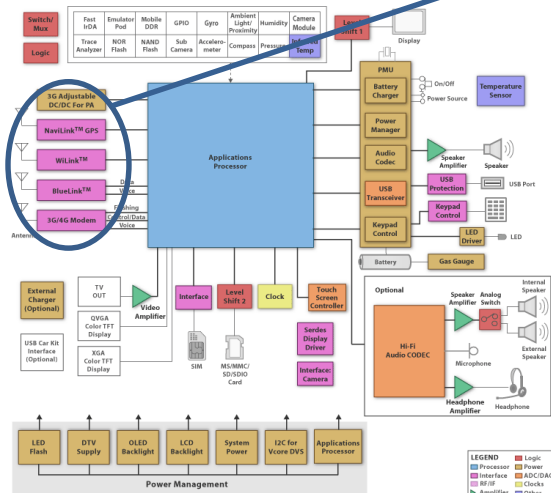
DET  
Department of Electronics and Telecommunications



# Sistemi Elettronici: Smartphone

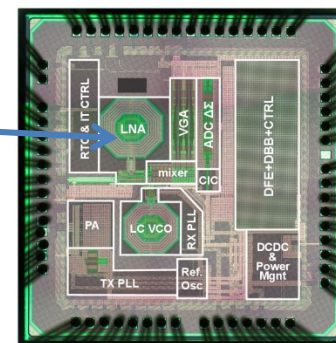
## Schema a blocchi architetturale

**Front-End RF**  
include i sistemi per  
trasmissione/ricezione radio



**Schema Elettrico**

LNA, Low Noise Amplifier



**Circuito Integrato**



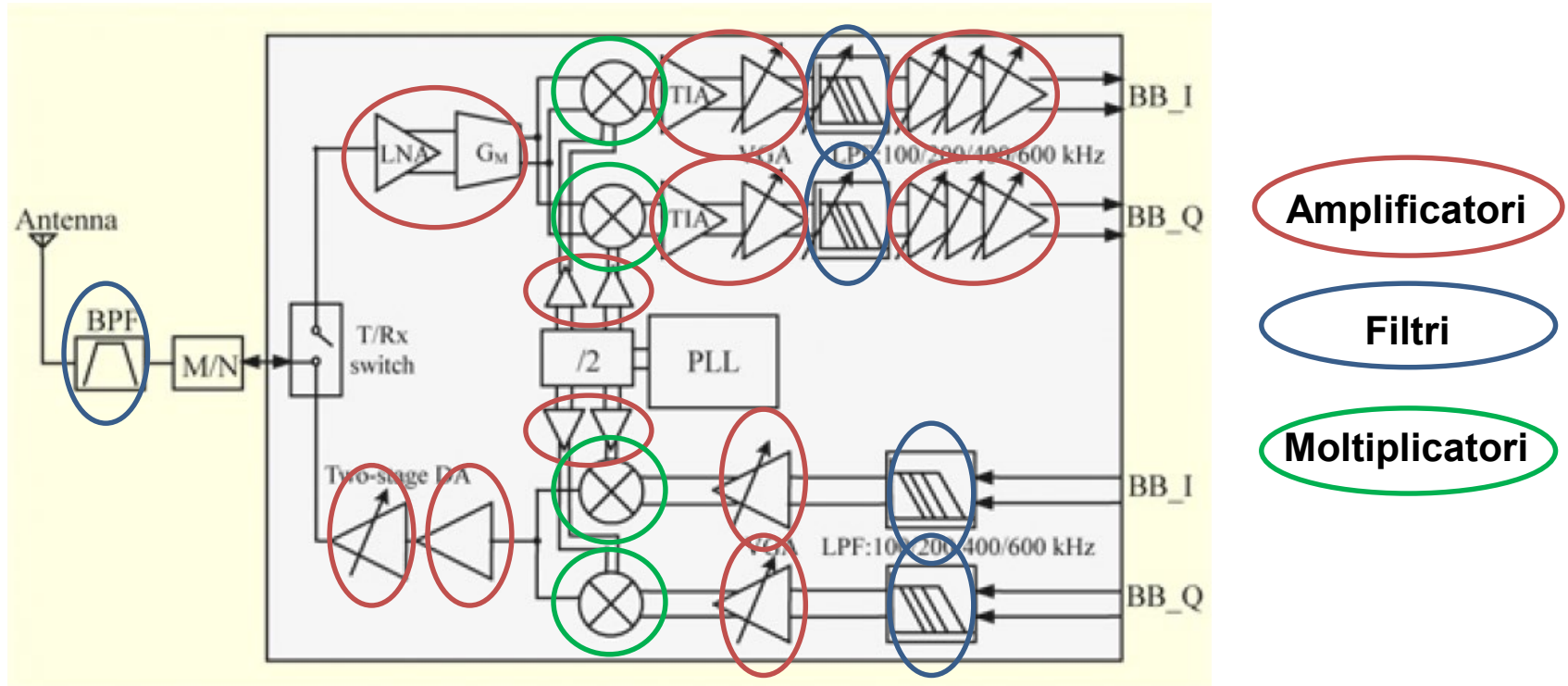
POLITECNICO  
DI TORINO

DET  
Department of Electronics and Telecommunications



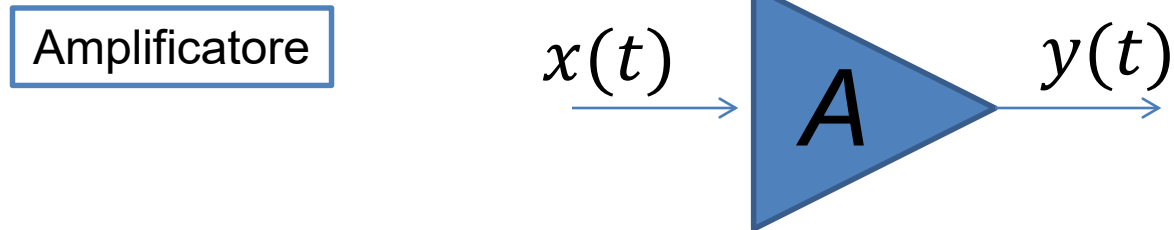
# Sistemi Elettronici: Funzioni Analogiche

- Se consideriamo un modulo analogico complesso come il front-end RF di uno *smartphone*, ritroviamo principalmente i blocchi analogici visti...

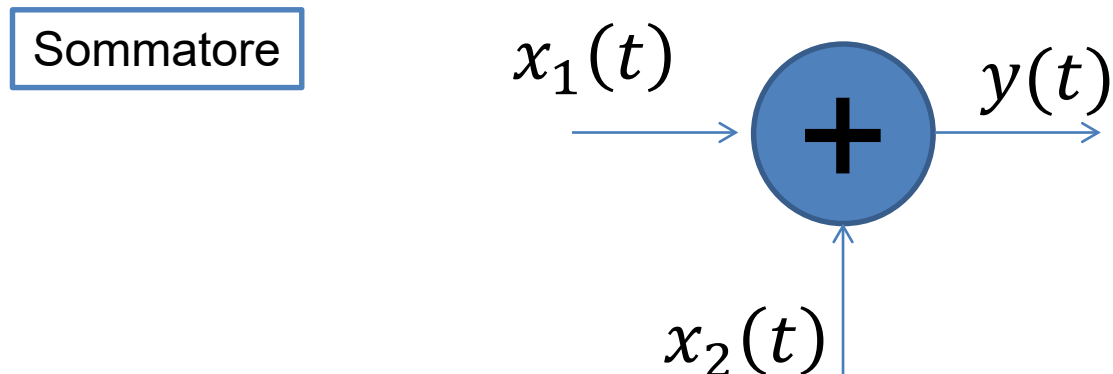


# Sistemi Elettronici: Funzioni Analogiche senza memoria

- Amplificazione (multipl. per una costante):  $y(t) = Ax(t)$

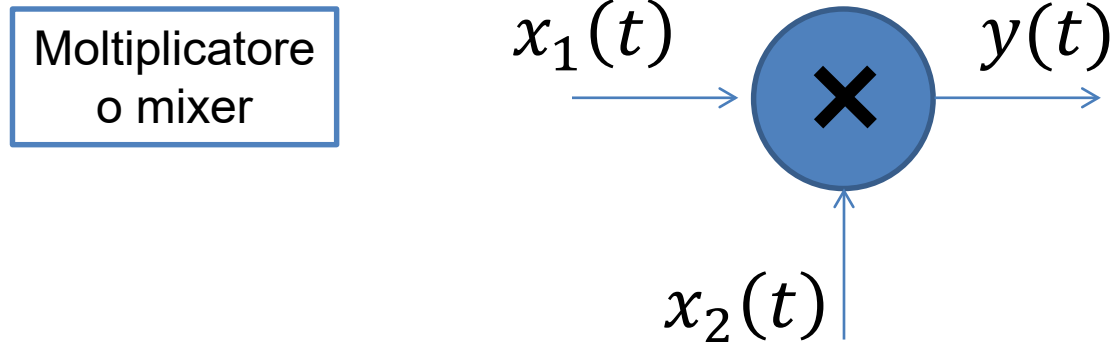


- Somma:  $y(t) = x_1(t) + x_2(t)$

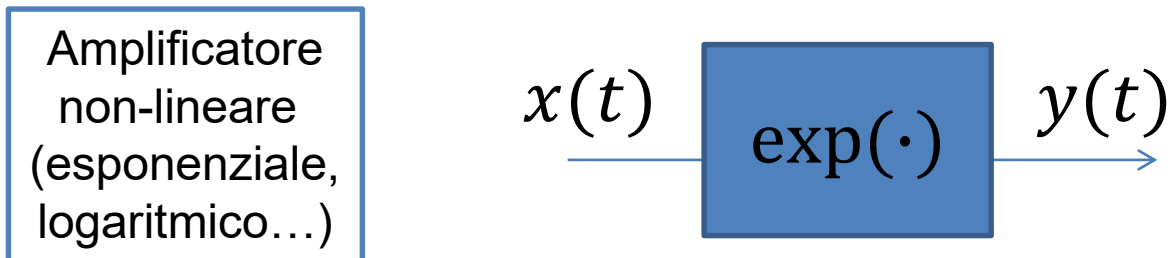


# Sistemi Elettronici: Funzioni Analogiche senza memoria

- Prodotto:  $y(t) = k_p x_1(t) * x_2(t)$



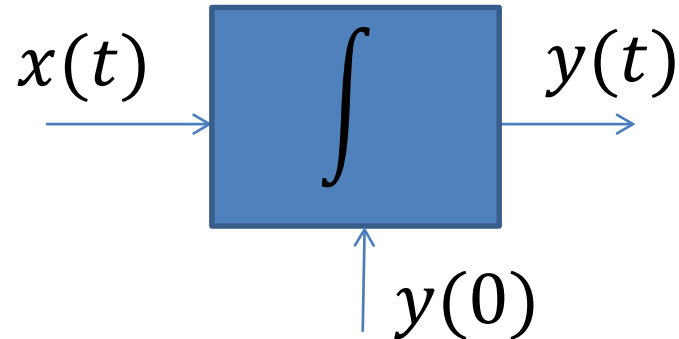
- Altre funzioni senza memoria (esponenziale, logaritmo,...):  
 $y(t) = k_1 \exp[k_2 x(t)]$



# Sistemi Elettronici: Funzioni Analogiche con memoria

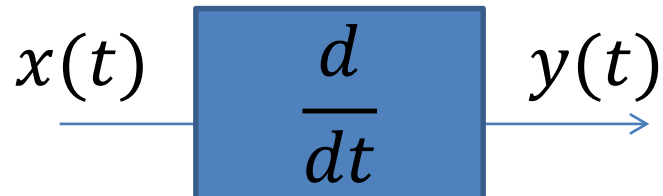
- Integrale definito nel tempo:  $y(t) = \int_0^t k_i x(t') dt' + y(0)$

Integratore



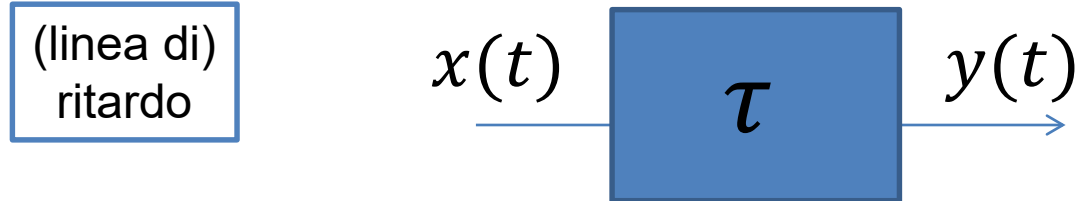
- Derivata temporale:  $y(t) = k_d \frac{dx}{dt}$

Derivatore

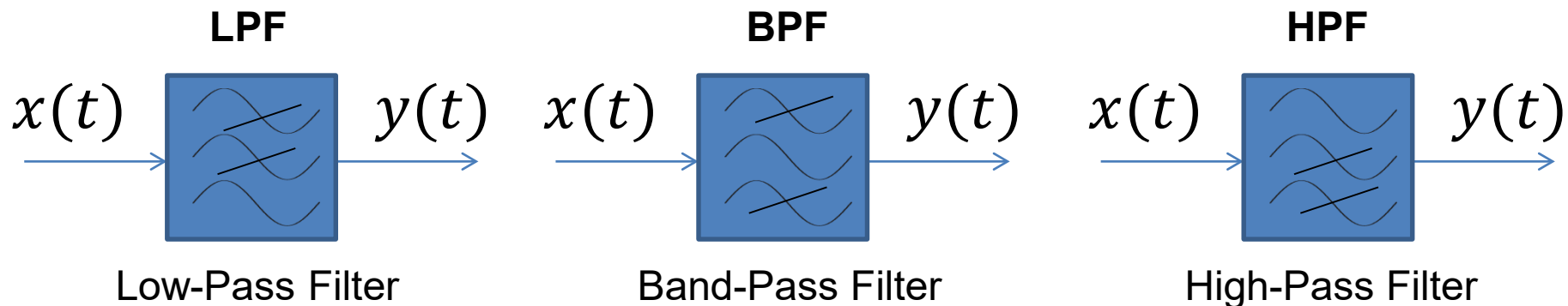


# Sistemi Elettronici: Funzioni Analogiche con memoria

- Ritardo:  $y(t) = x(t - \tau)$



- Filtraggio:  $Y(f) = H(f)X(f)$ 
  - La funzione di trasferimento  $H(f)$  può essere di tipo passa-basso, passa-banda, passa-alto



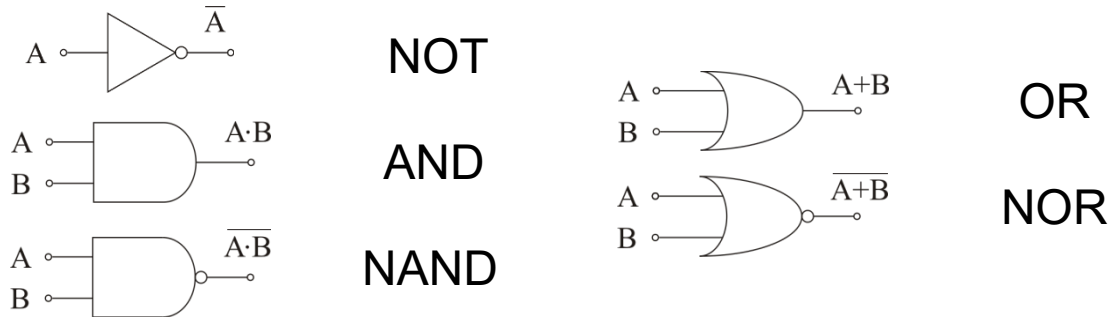
# Sistemi Elettronici: Funzioni Digitali

- Blocchi **combinatori** (senza memoria) a  $N$  ingressi ed  $M$  uscite:

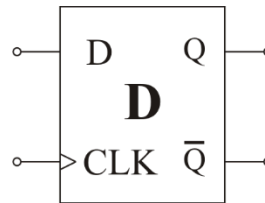
$$f: \{0,1\}^N \rightarrow \{0,1\}^M$$

*Qualsiasi funzione combinatoria può essere espressa in termini di un sottoinsieme delle funzioni booleane ( $\{AND, NOT\}$ ,  $\{OR, NOT\}$ , solo NAND, solo NOR)*

## - Funzioni Booleane



- Blocchi **sequenziali** (elementi di memoria): Flip Flop, Latch, Registri....



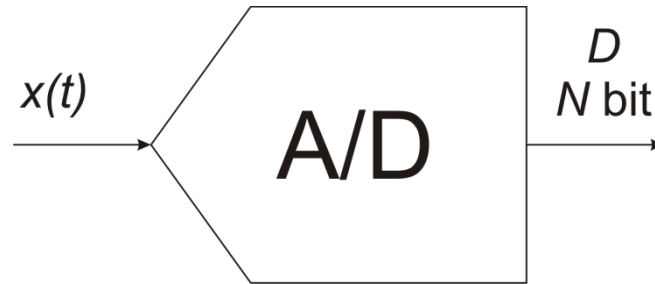
- Le funzioni digitali saranno studiate nel corso successivo di Elettronica Applicata



# Sistemi Elettronici: Funzioni Miste (mixed signal)

## ■ Convertitore analogico-digitale

- L'uscita è un segnale digitale che rappresenta un valore binario (su  $N$  bit) proporzionale al segnale analogico in ingresso.



## ■ Convertitore digitale-analogico

- L'uscita è un segnale analogico proporzionale al valore binario (su  $N$  bit) del segnale digitale in ingresso.



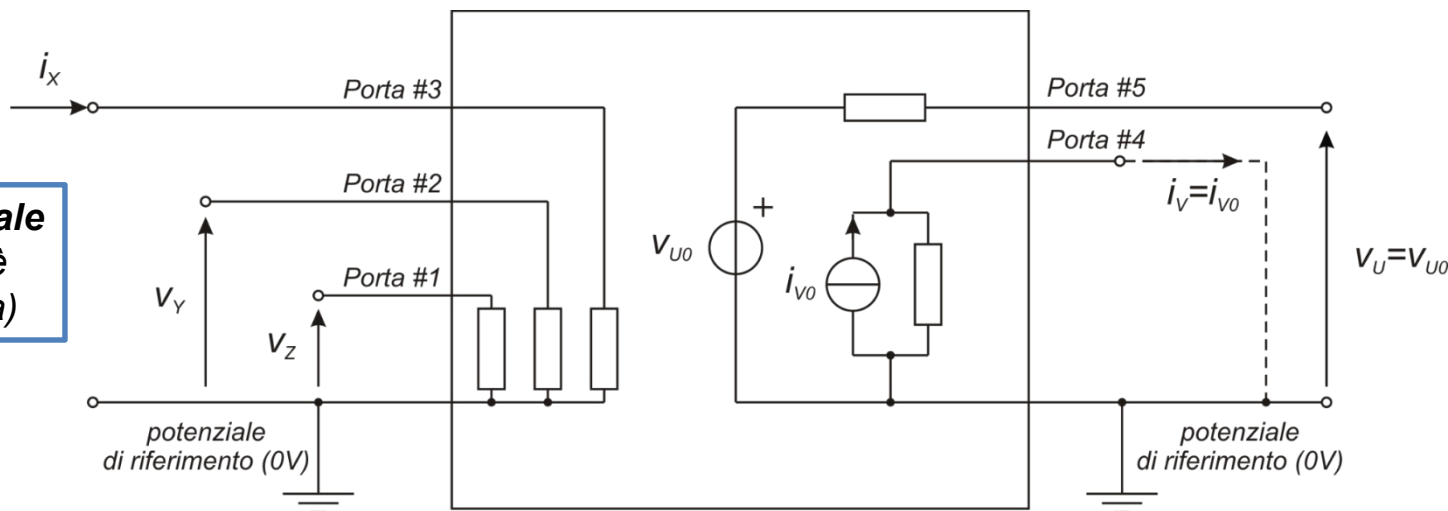
- I convertitori A/D e D/A saranno studiati nel corso successivo di Elettronica Applicata



# Dal Sistema al Circuito Elettronico

- Ma che cosa c'è dentro/come funziona ciascun blocco elementare?
- Un sistema elettronico è un *circuito elettrico*, o meglio un **N-porte**
  - gli ingressi sono **tensioni** (definite rispetto ad un potenziale di riferimento comune detto 0V, GND o anche *massa*) o **correnti**.
  - le uscite si possono vedere come **generatori di tensione** o **corrente non ideali**.
  - valgono le leggi di Kirchhoff (di  $V$  e  $I$ ) e tutte le regole della Teoria dei Circuiti.

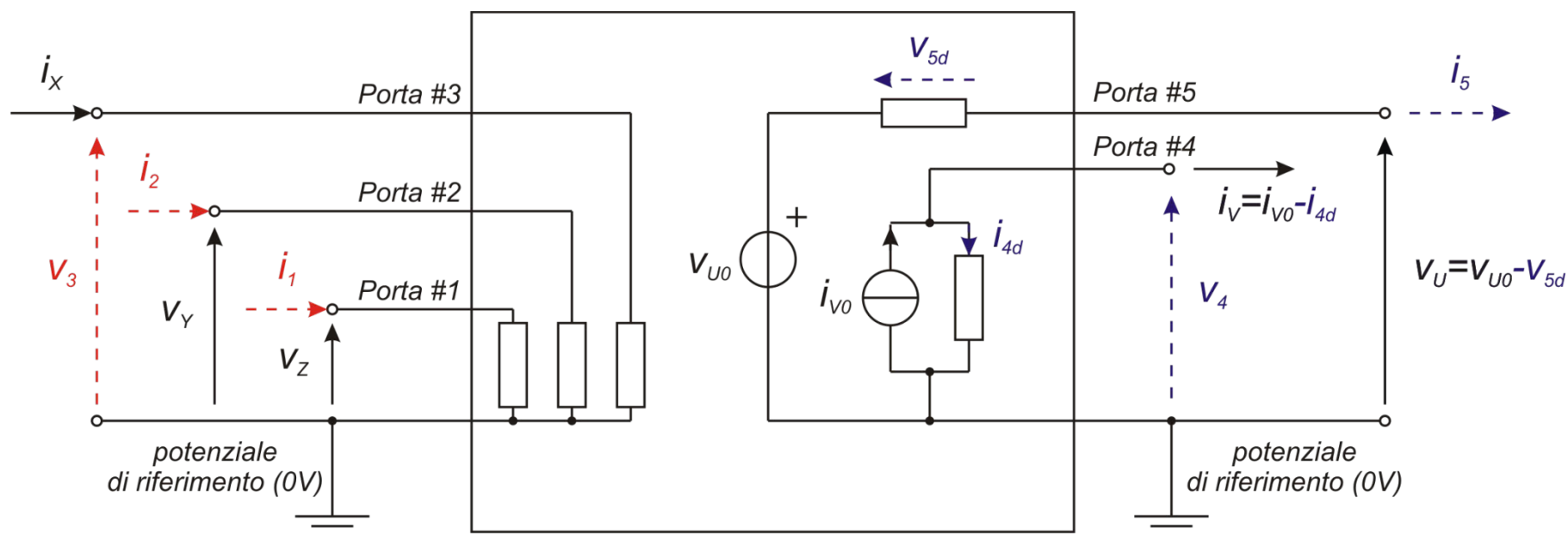
**Descrizione Circuitale**  
(ad ogni ingresso è associata una porta)





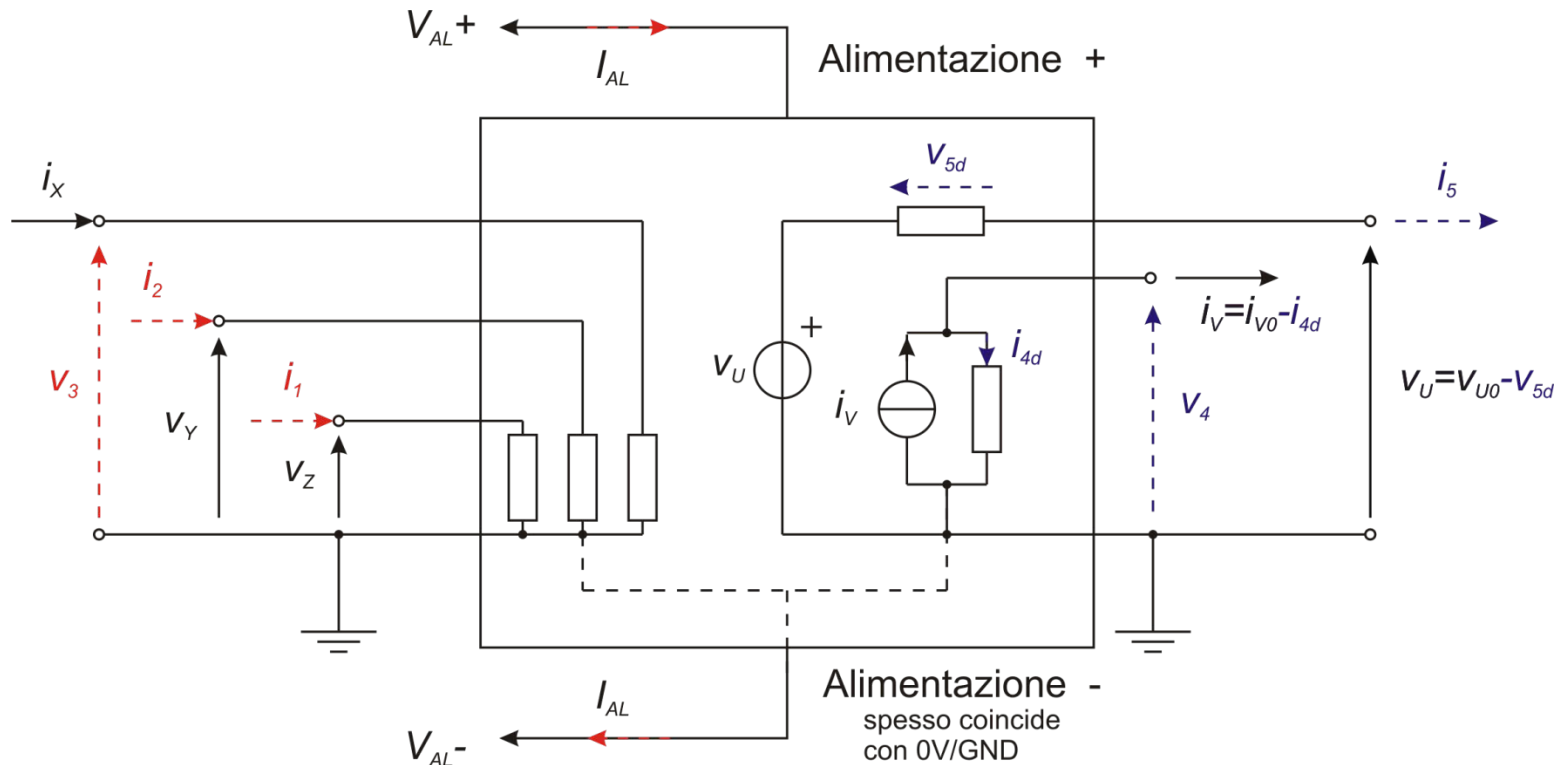
# Dal Sistema al Circuito Elettronico

- Un sistema elettronico è un *circuito elettrico*.
  - Anche se il segnale di interesse ad una porta (ingresso o uscita) è una tensione (una corrente), alla stessa porta è definita anche una corrente (una tensione) che dipende da ciò che è collegato esternamente (condizioni di carico) e può influenzare il comportamento del circuito e/o di quanto è ad esso collegato.



# Dal Sistema al Circuito Elettronico

- Un sistema elettronico è un *circuito elettrico*
  - per il suo funzionamento ***richiede energia elettrica***, normalmente sotto forma di ***tensione continua tra due morsetti*** (valori tipici: 5V, 3.3V, 2.5V, 1.8V, 1V)



# Dal Sistema al Circuito Elettronico

- Pre comprendere il flusso di progetto (dal “sistema” al “circuito”) si analizzeranno principalmente i circuiti amplificatori
- I circuiti elettronici utilizzano *componenti non ancora noti*
  - **dispositivi a semiconduttore, principalmente transistori**
  - per poter comprendere il funzionamento di un sistema elettronico e le specifiche d'interfaccia, è necessario conoscere e saper analizzare i dispositivi a semiconduttore ed avere idea dei principi fisici su cui si basano

