



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*



Sistema
Elettrico



Energia



Sistema
Elettronico



Informazione



POLITECNICO
DI TORINO

DET
Department of Electronics and Telecommunications

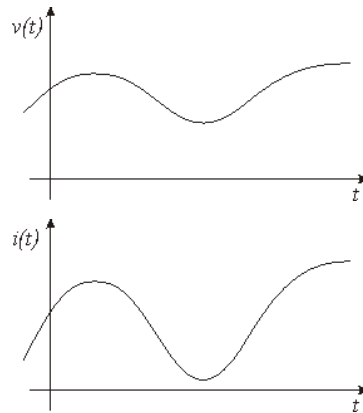
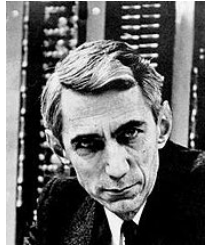
Concetti base

- **Informazione**
- **Segnale**
 - ***Dinamica***
 - *distribuzione del segnale in ampiezza, potenza di segnale e di rumore, rapporto segnale-rumore, escursione dinamica*
 - ***Banda***
 - *segnali e sistemi lineari nel dominio della frequenza*

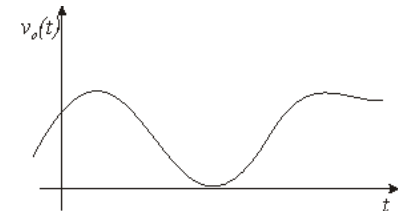


Informazione

- Significato convenzionale attribuito ad una **grandezza fisica variabile nel tempo** in base ad una opportuna codifica.
 - Teoria dell'informazione (Shannon, 1930)
 - E' una quantità fisica misurabile (unità di misura: bit)
- **Segnale:** grandezza fisica variabile a cui è associata informazione.
- In Elettronica, si considerano **segnali elettrici**: $v(t)$, $i(t)$



Segnali in ingresso, Ingressi



Segnali in uscita, Uscite



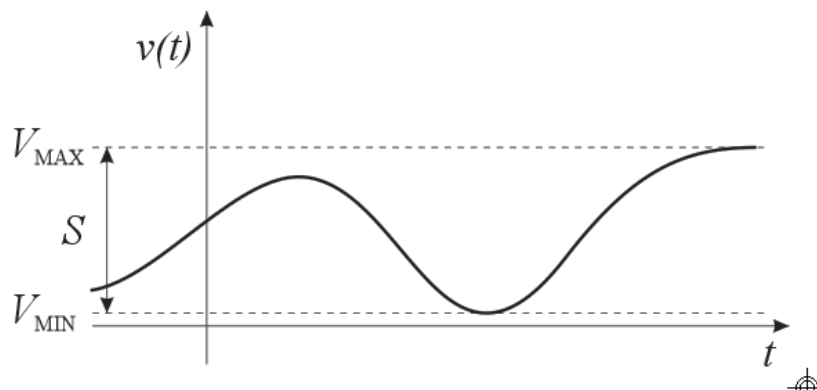
POLITECNICO
DI TORINO

DET
Department of Electronics and Telecommunications

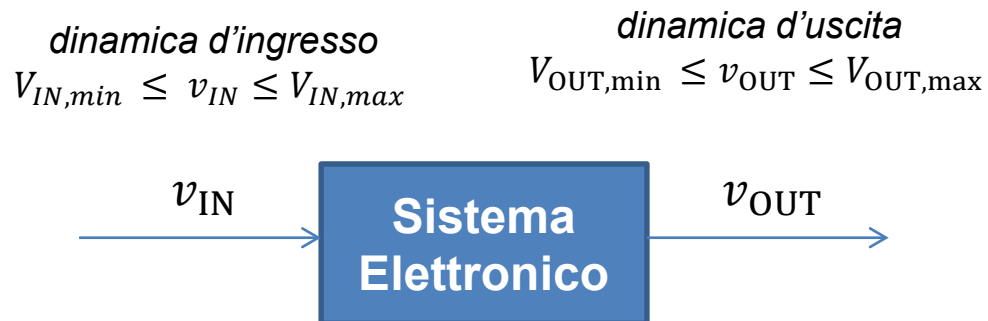
Segnali: Dinamica

- In quanto grandezze fisiche, l'ampiezza dei segnali è **limitata**.
- L'intervallo dei valori che un segnale può assumere prende in nome di **dinamica** (inglese: *swing*). Ad es.: in figura $S=[V_{\text{MIN}}, V_{\text{MAX}}]$.
- I sistemi elettronici possono elaborare segnali in ingresso entro una certa dinamica (*dinamica d'ingresso*) e forniscono segnali in uscita entro una certa dinamica (*dinamica d'uscita*)

Dinamica di un segnale

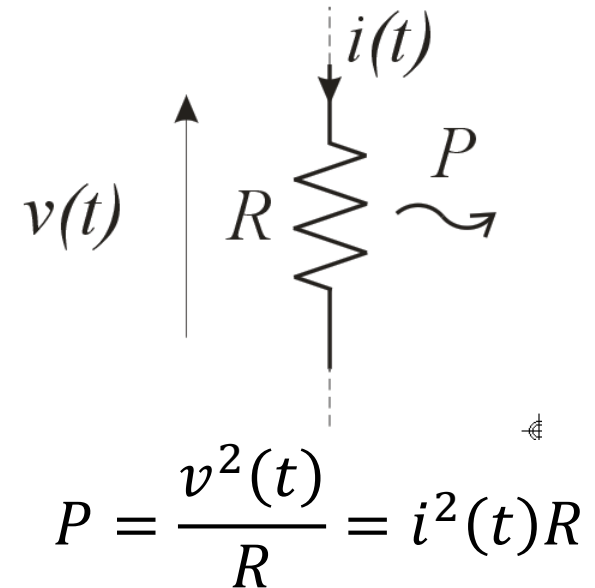
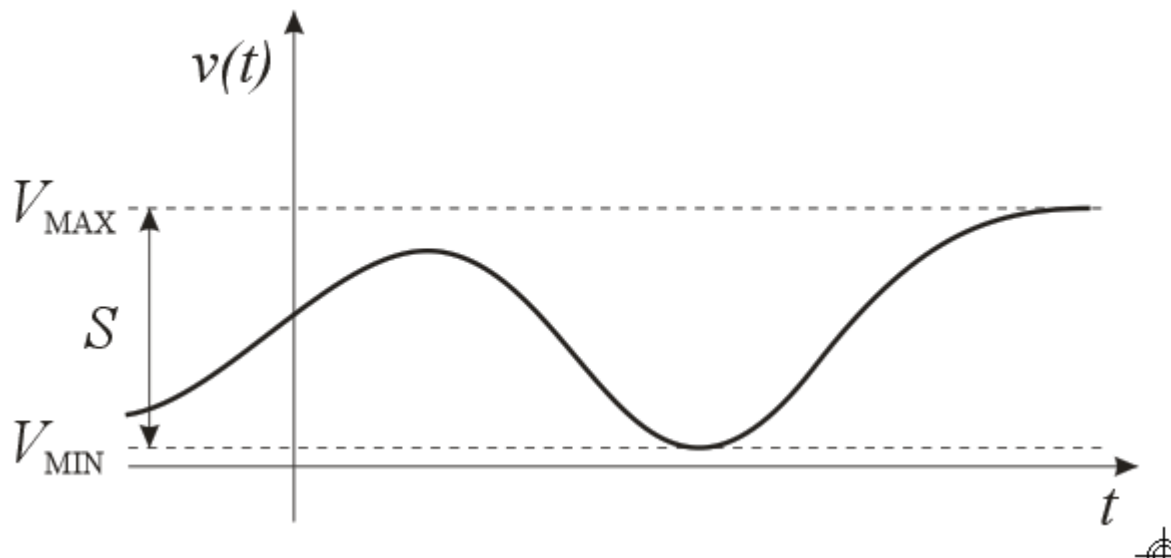


Dinamica di ingresso e di uscita di un sistema



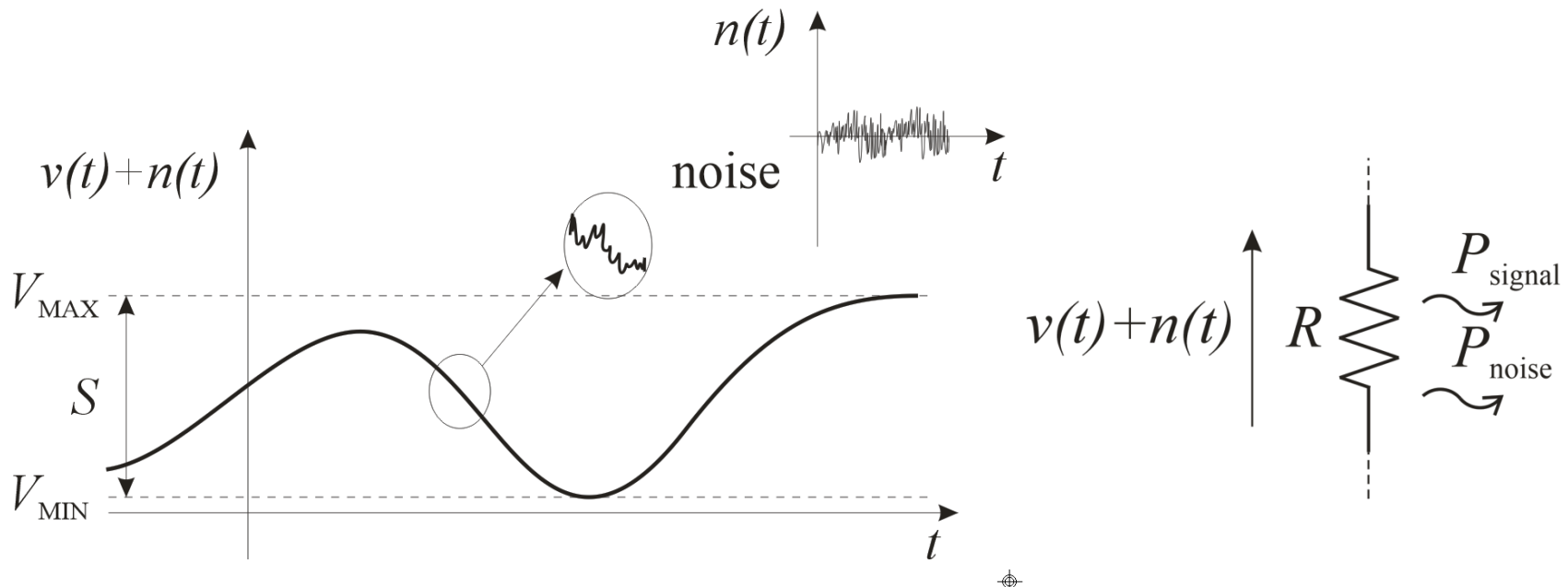
Segnali: Dinamica

- La dinamica di un segnale elettrico è legata alla *potenza elettrica* ad esso associata
- Se interessa solo l'informazione → la potenza elettrica è tutta dissipata in calore e va minimizzata, ma...



Segnali: Dinamica

- ...ai segnali elettrici è sempre sovrapposto **rumore**, variazioni non volute a cui non è associata informazione.
- La dinamica di un segnale (i.e. la potenza ad esso associata) deve essere sufficiente per distinguere l'informazione dal rumore

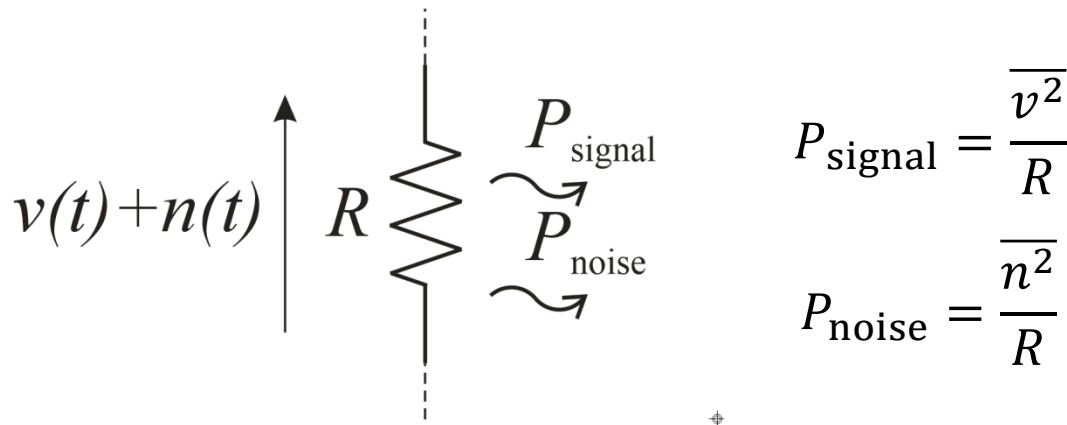


Rapporto Segnale/Rumore

- Il **Rapporto Segnale/Rumore** (Signal-to-Noise Ratio, *SNR*) esprime il rapporto tra la potenza di segnale e di rumore su un carico dato.
- E' sovente espresso in decibel (dB)

$$SNR = \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}} = \frac{\overline{v^2}}{\overline{n^2}}$$

$$SNR \Big|_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}}$$



Decibel (dB)

- Rapporti di Tensioni/Correnti

Unità naturali

$$A_v = \frac{V_1}{V_2}$$

$$A_i = \frac{I_1}{I_2}$$

Decibel

$$A_{v,dB} = 20 \log_{10} \left| \frac{V_1}{V_2} \right|$$

$$A_{i,dB} = 20 \log_{10} \left| \frac{I_1}{I_2} \right|$$

- Rapporti di Potenze

Unità naturali

$$A_p = \frac{P_1}{P_2}$$

Decibel

$$A_{p,dB} = 10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_2} \right|$$

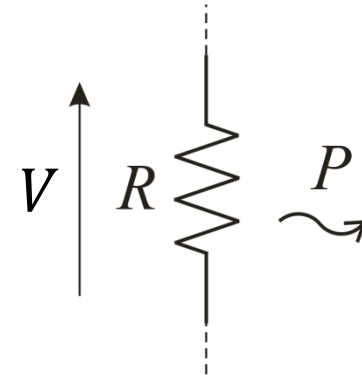


Decibel (dB)

Perché due definizioni diverse di decibel per tensione/corrente e potenza?

Su un carico resistivo R

$$P = \frac{V^2}{R}$$



Se V_1 e V_2 sono applicate allo stesso carico R , dette P_1 e P_2 le potenze dissipate

$$A_p = \frac{P_1}{P_2} = \frac{V_1^2/R}{V_2^2/R} = \frac{V_1^2}{V_2^2} = A_v^2$$

$$A_{p,\text{dB}} = 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2} = 10 \log_{10} \frac{V_1^2}{V_2^2} = 10 \cdot 2 \log_{10} \frac{V_1}{V_2} = A_{v,\text{dB}}$$

Grazie alle due definizioni diverse, $A_{p,\text{dB}} = A_{v,\text{dB}} \rightarrow$ i rapporti tra le due tensioni o tra le due potenze espressi in decibel sono numericamente identici



Decibel (dB)

E' possibile esprimere con buona approssimazione i rapporti in decibel senza calcolatrice, sfruttando le proprietà dei logaritmi decimali e alcuni valori notevoli

$$\log_{10} AB = \log_{10} A + \log_{10} B$$

$$\log_{10} A^N = N \log_{10} A$$

$$\log_{10} 1 = 0 \quad \log_{10} 2 \simeq 0.3$$

$$\log_{10} 10 = 1 \quad \log_{10} 3 \simeq 0.47 \simeq 0.5$$

Esempi:

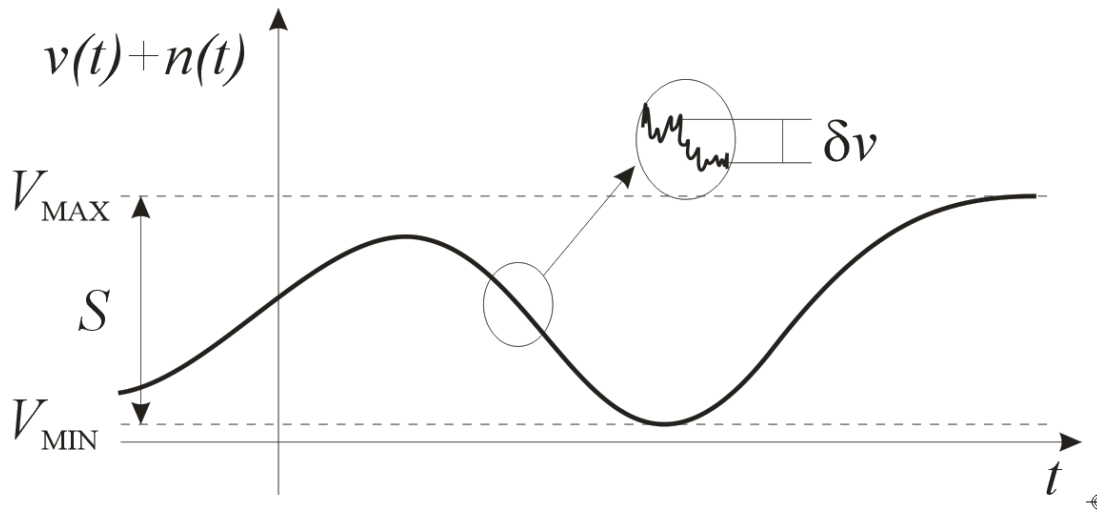
A_v		$A_{v,dB}$ $20 \log_{10} A_v$
0.1	10^{-1}	-20dB
2	2	6dB
5	$10 \cdot 2^{-1}$	14dB
0.3	$3 \cdot 10^{-1}$	-10dB
200	$2 \cdot 10^2$	46dB
$\sqrt{2}$	$2^{1/2}$	3dB

A_p		$A_{p,dB}$ $10 \log_{10} A_p$
0.01	10^{-2}	-20dB
2	2	3dB
4	2^2	6dB
0.5	2^{-1}	-3dB
800	$2^3 \cdot 10^2$	29dB
6000	$3 \cdot 2 \cdot 10^3$	37dB



Escursione Dinamica

- L'**Escursione Dinamica** (Dynamic Range, DR) è il rapporto tra la dinamica (*swing*, S) e la minima ampiezza δv (*minimum detectable signal*) distinguibile dal rumore.
- E' legata all'informazione utile che può portare un segnale ad un istante.
- E' sovente espressa in decibel (dB).



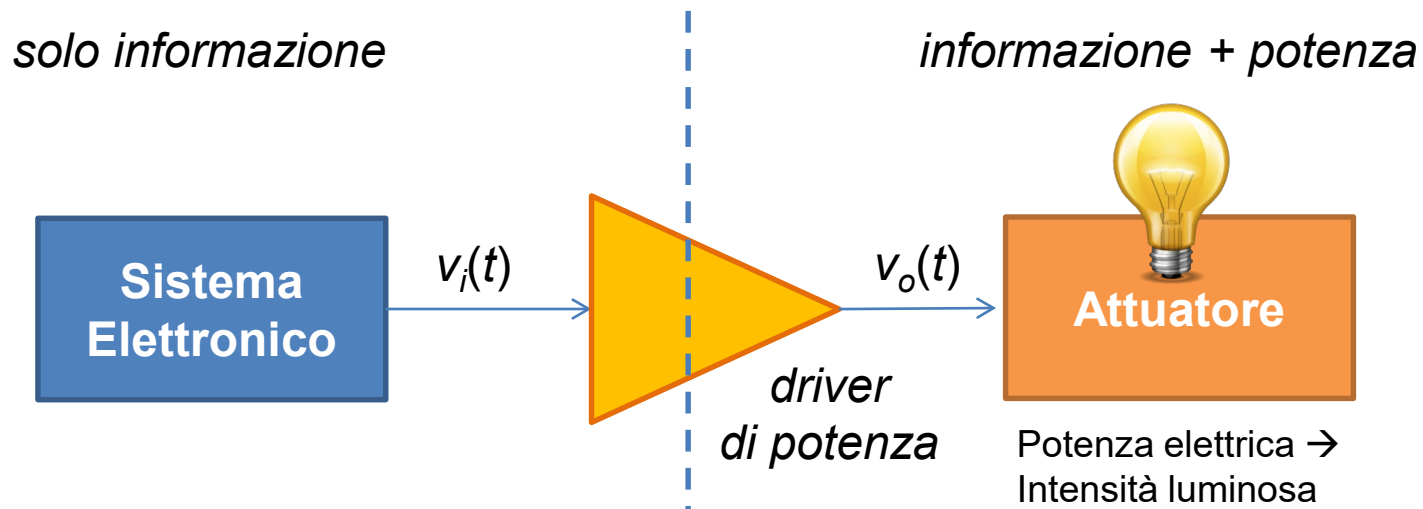
$$DR = \frac{S}{\delta v}$$

$$DR \Big|_{\text{dB}} = 20 \log_{10} \frac{S}{\delta v}$$



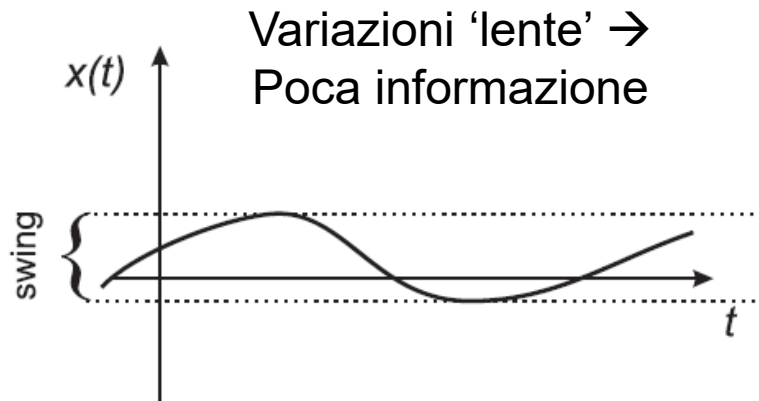
Segnali: Dinamica

- ...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*).



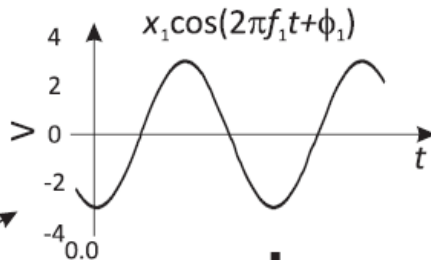
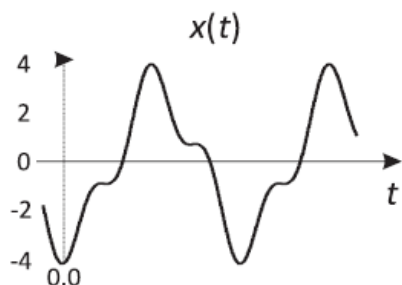
Segnale: Analisi nel dominio della frequenza

- La quantità di informazione che può essere associata a un segnale è anche legata a quanto *varia rapidamente* nel tempo.
- Questo aspetto è particolarmente evidente analizzando un segnale nel ***dominio della frequenza***.

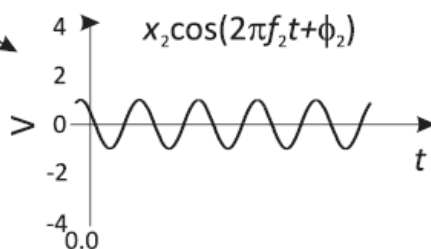


Segnale: Analisi nel dominio della frequenza

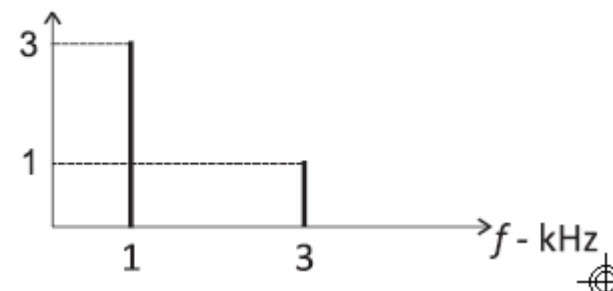
Segnale Periodico:



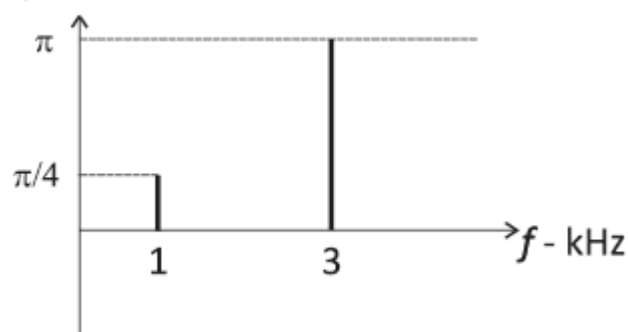
+



$|X(f)|$ - V Spettro di Ampiezza



$\phi(f)$ - rad Spettro di Fase



serie di Fourier

$$x(t) = X_0 + \sum_{n=1}^{\infty} X_n \cos(2\pi n f_0 t + \varphi_n)$$

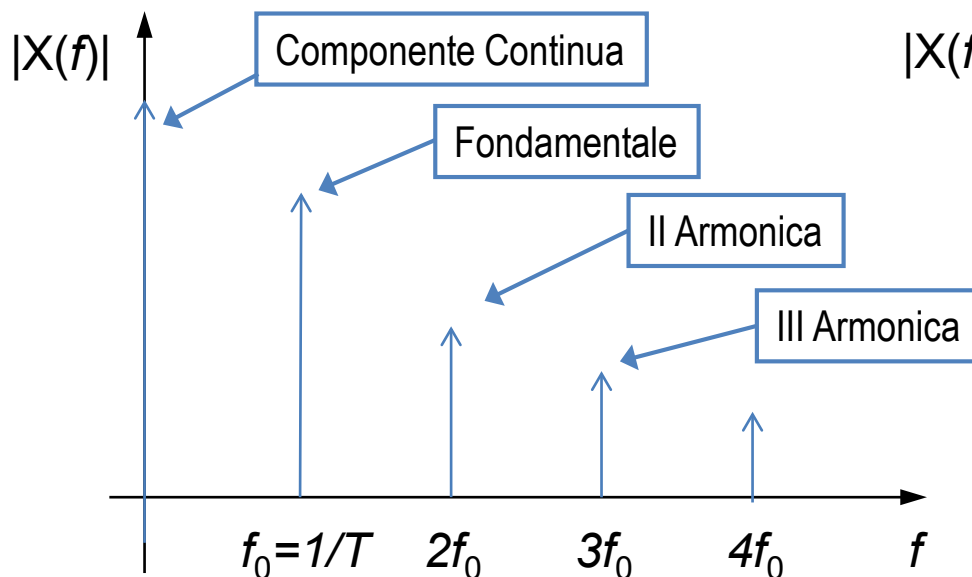


POLITECNICO
DI TORINO

DET
Department of Electronics and Telecommunications

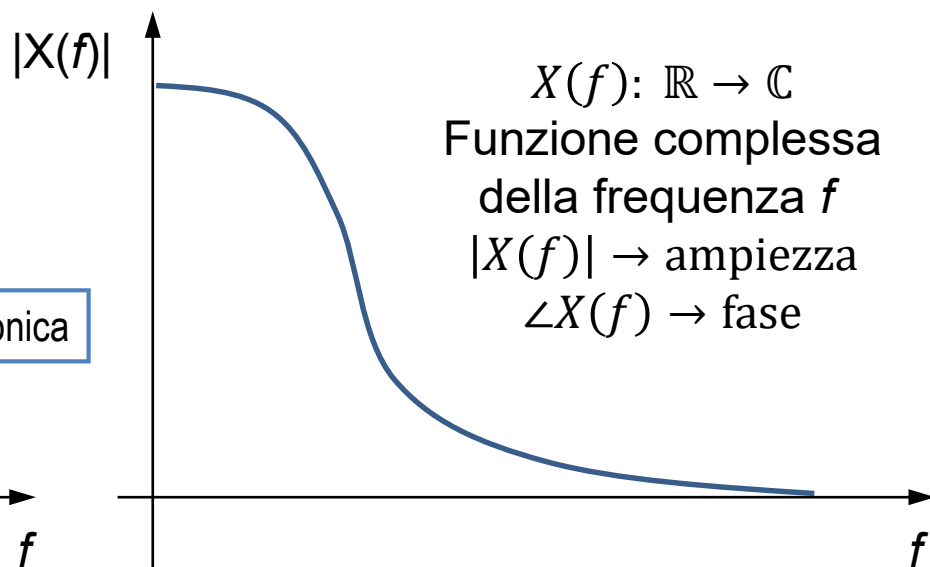
Segnale: Analisi nel dominio della frequenza

- Un generico segnale può essere scomposto nella somma di (infinite) sinusoidi con diversa *frequenza*, *ampiezza* e *fase*.



Segnale Periodico (periodo $T=1/f_0$):
solo componenti a frequenza n/T , n intero
Spettro a righe, Serie di Fourier

$$x(t) = X_0 + \sum_{n=1}^{\infty} X_n \cos(2\pi n f_0 t + \varphi_n)$$



Segnale non Periodico:
Spettro continuo
Antitrasformata di Fourier

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(f) e^{j2\pi f t} df.$$



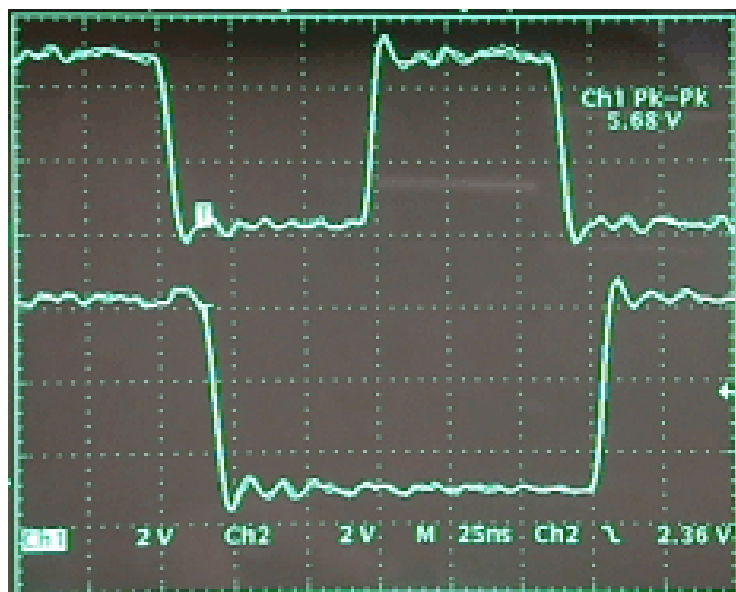
POLITECNICO
DI TORINO

DET
Department of Electronics and Telecommunications

Segnale: Analisi nel dominio della frequenza

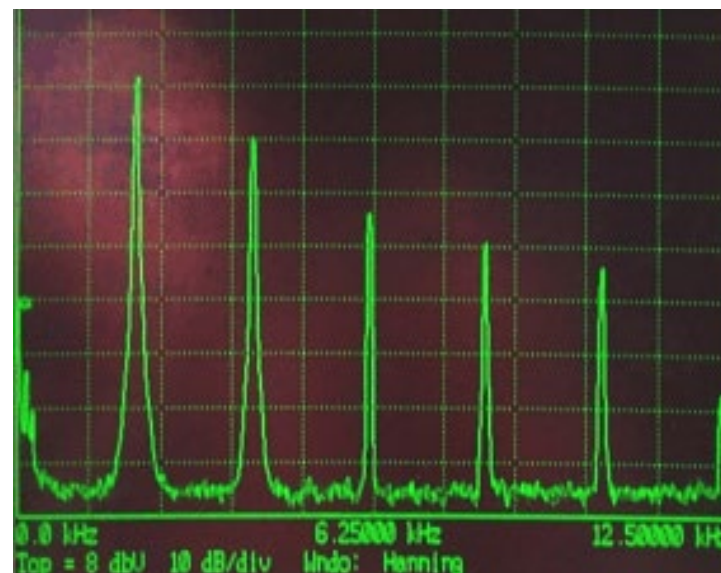
- un segnale può essere visualizzato nel tempo con l'**oscilloscopio** e nel dominio della frequenza con l'**analizzatore di spettro**

Oscilloscopio



tempo, s

Analizzatore di Spettro



frequenza, Hz

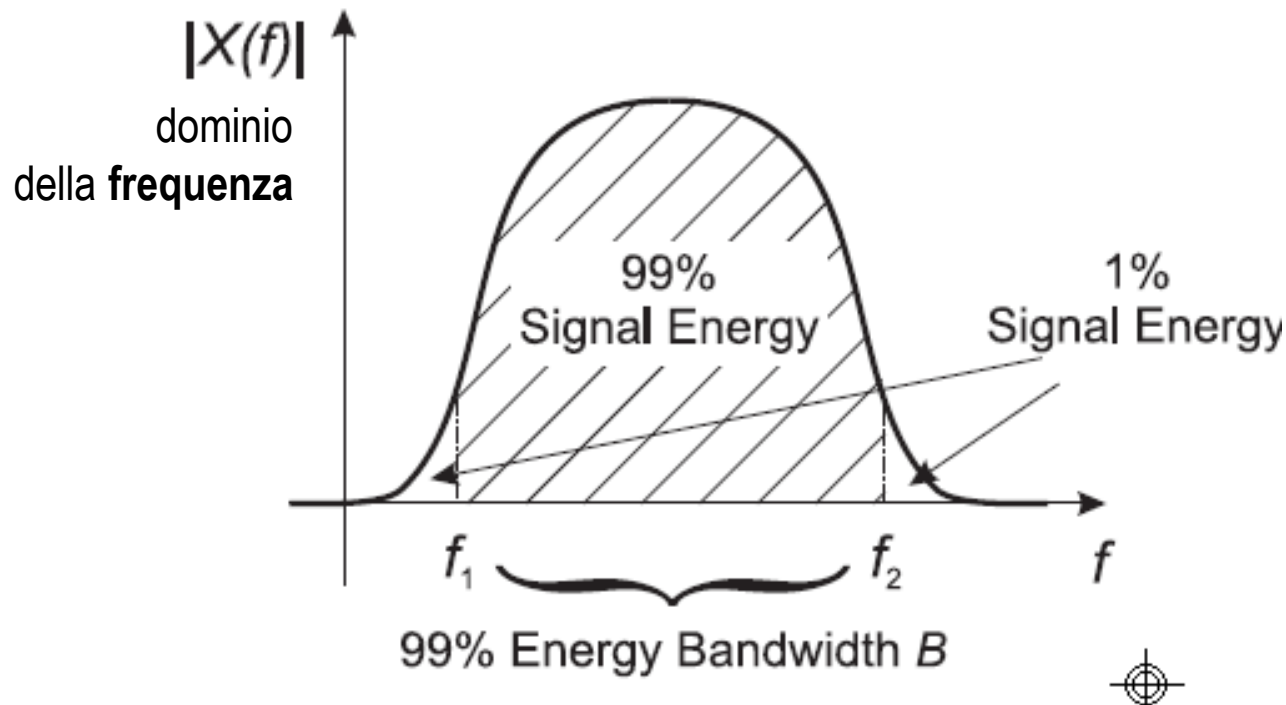


POLITECNICO
DI TORINO

DET
Department of Electronics and Telecommunications

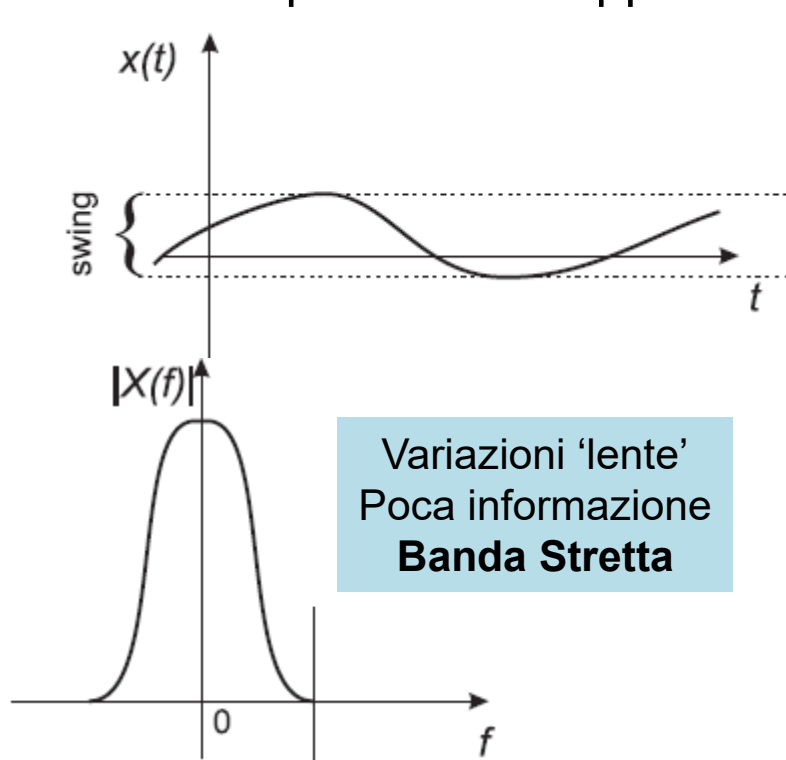
Segnale: Banda

- La **banda** di un segnale è l'intervallo di frequenze in cui lo spettro del segnale è *significativo* (ad es: in cui è concentrato il 99% dell'energia).
- La banda così definita, per i segnali fisici, è sempre **limitata**.

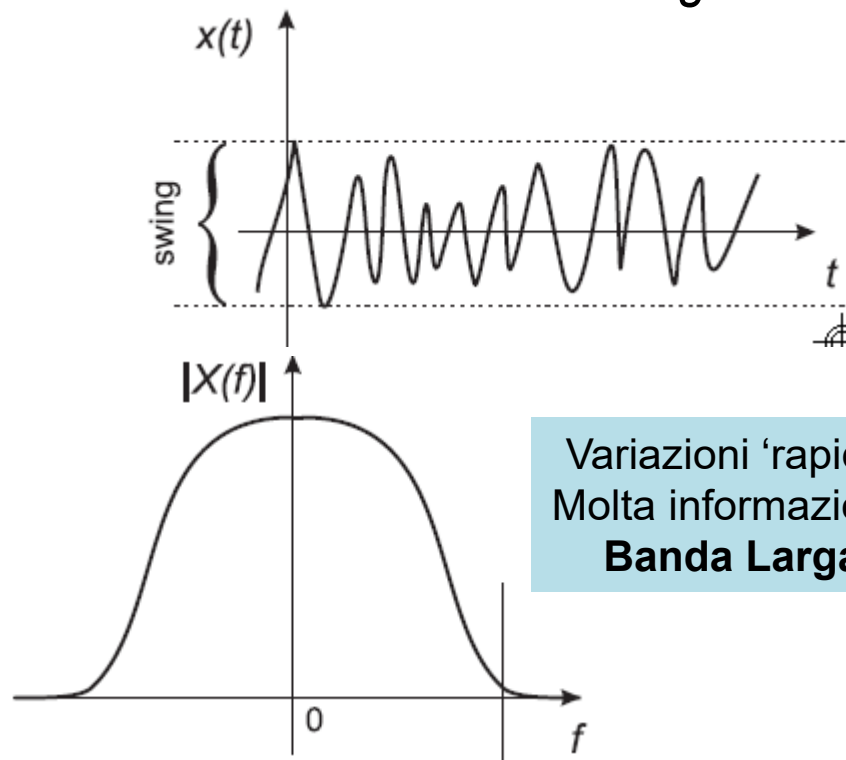


Segnale: Banda

- I segnali che variano lentamente/in modo regolare sono descritti bene con sinusoidi in un intervallo ristretto di frequenze → *banda stretta*
- I segnali che variano rapidamente/in modo irregolare richiedono molte sinusoidi per essere rappresentati correttamente → *banda larga*



Variazioni 'lente'
Poca informazione
Banda Stretta



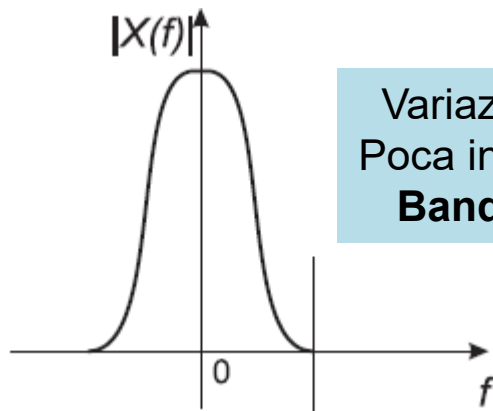
Variazioni 'rapide'
Molta informazione
Banda Larga



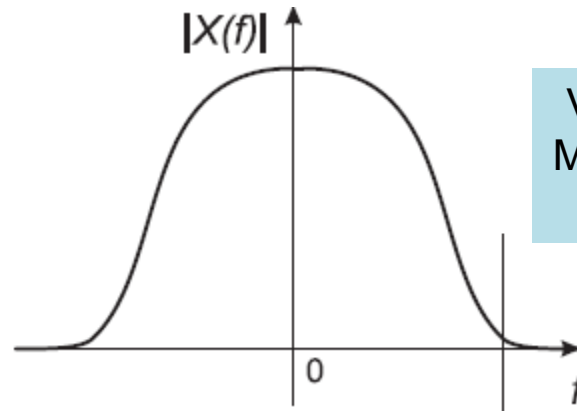
Segnale: Banda

- I segnali che variano lentamente/in modo regolare sono descritti bene con sinusoidi in un intervallo ristretto di frequenze → *banda stretta*
- I segnali che variano rapidamente/in modo irregolare richiedono molte sinusoidi per essere rappresentati correttamente → *banda larga*

La **banda** di un segnale è legata al suo contenuto di informazione



Variazioni 'lente'
Poca informazione
Banda Stretta



Variazioni 'rapide'
Molta informazione
Banda Larga



Concetti base

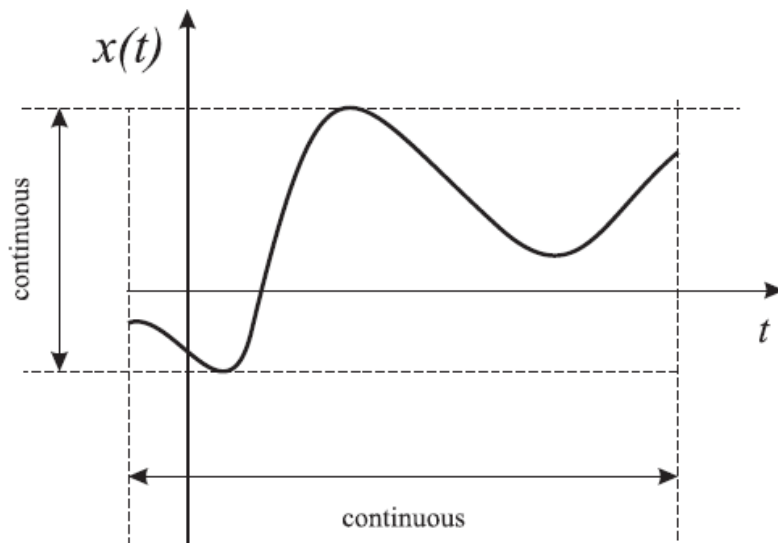
- **Come associare informazione ad un segnale**
 - ***Segnale Analogico***
 - continuo nel tempo e nelle ampiezze
 - ***Segnale Digitale***
 - discreto nel tempo e nelle ampiezze
 - Altre possibilità: segnali campionati, segnali digitali asincroni
- ***Conversione A/D e D/A***
 - Campionamento
 - Quantizzazione
 - Codifica



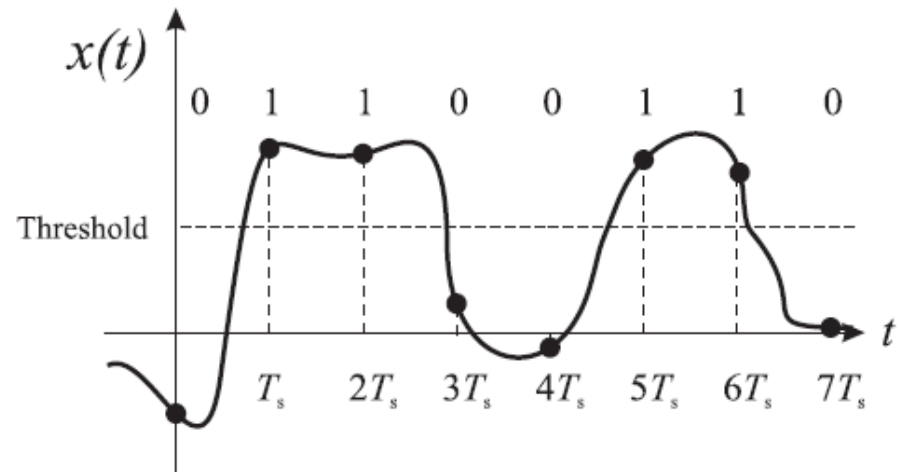
Come associare informazione ad un segnale

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

Segnale Analogico

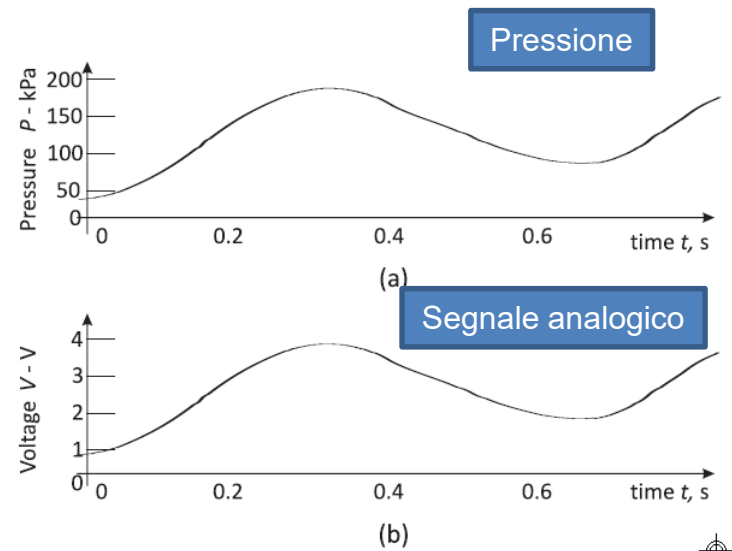
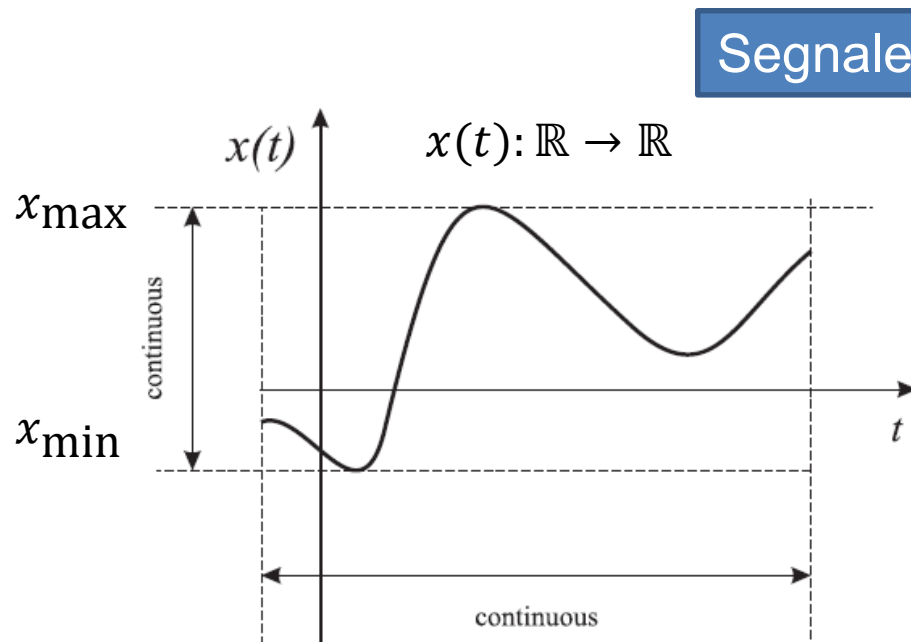


Segnale Digitale



Segnale Analogico

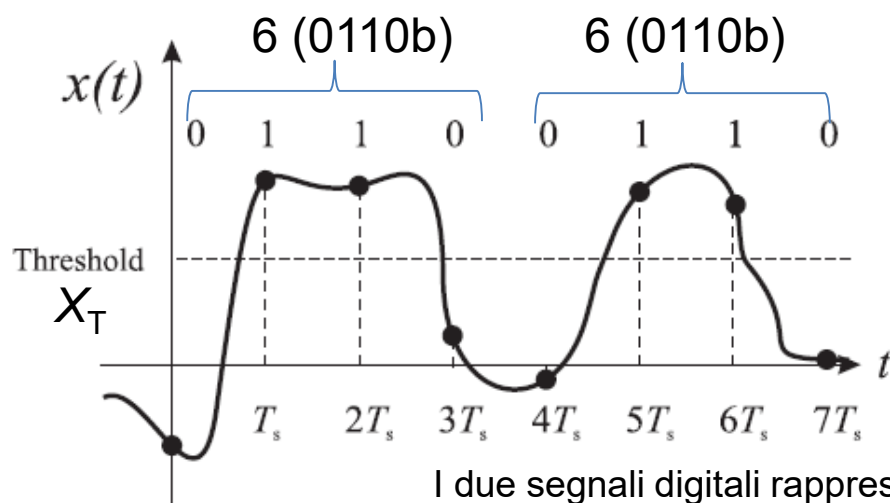
- L'informazione è associata al valore $x(t) \in (x_{\min}, x_{\max}) \subset \mathbb{R}$, assunto dal segnale ad ogni istante di tempo $t \in \mathbb{R}$
- Si dice che il segnale è **continuo in ampiezza e continuo nel tempo**
- Spesso 'copia' (per analogia) l'andamento di una grandezza non elettrica.



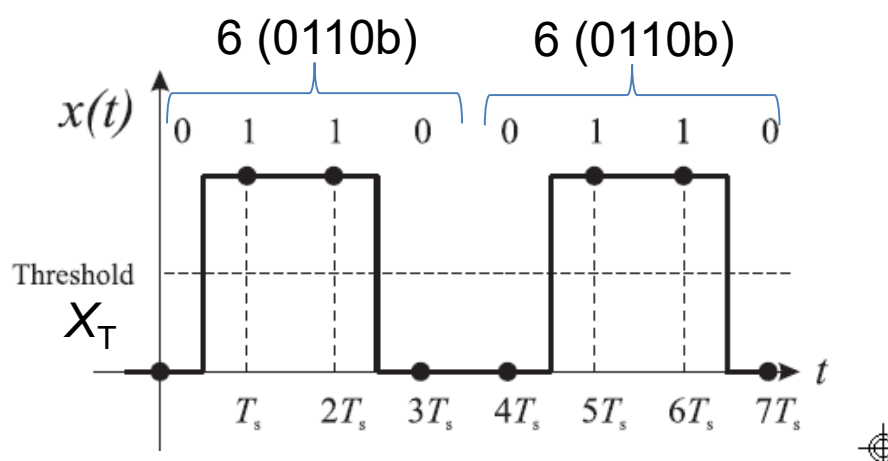
Segnale Digitale (sincrono)

- 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)*

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



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



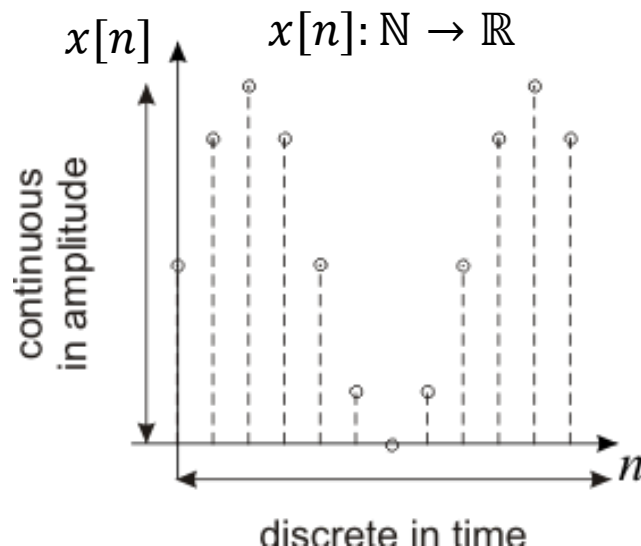
I due segnali digitali rappresentati *portano la stessa informazione*



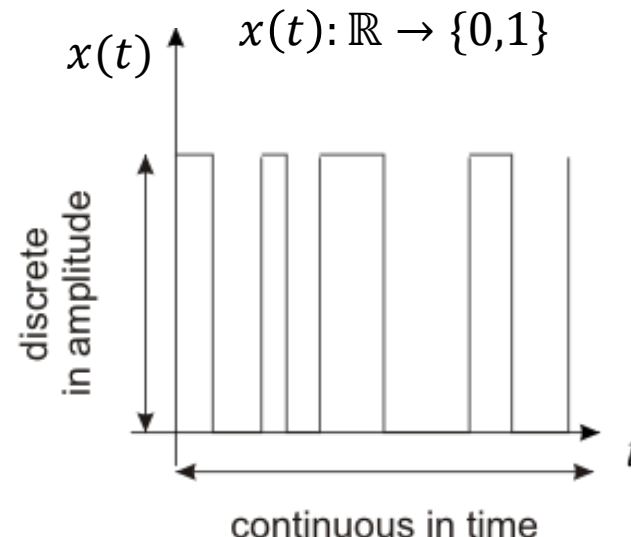
Segnali Campionati e Digitali Asincroni

- 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

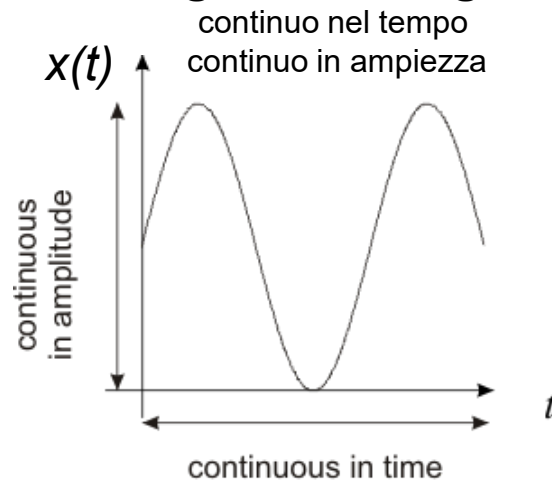


Segnale Digitale Asincrono

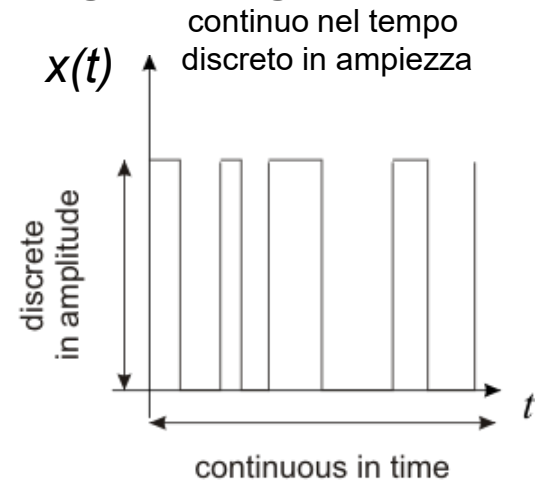


Prospetto Riassuntivo

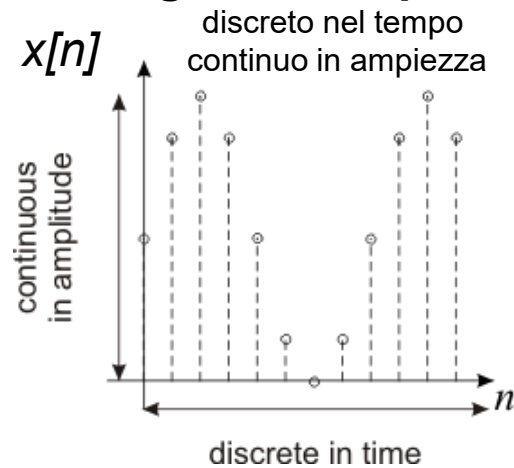
Segnale Analogico



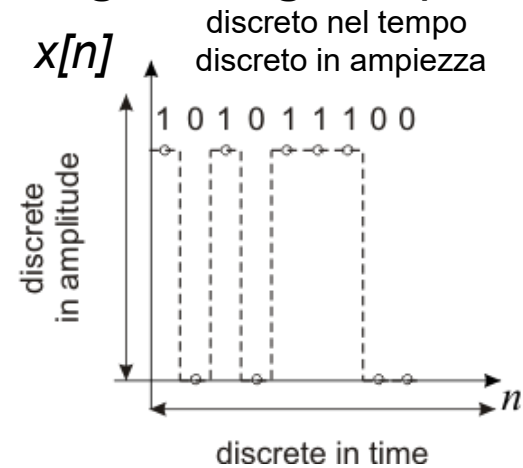
Segnale Digitale Asincrono



Segnale Campionato



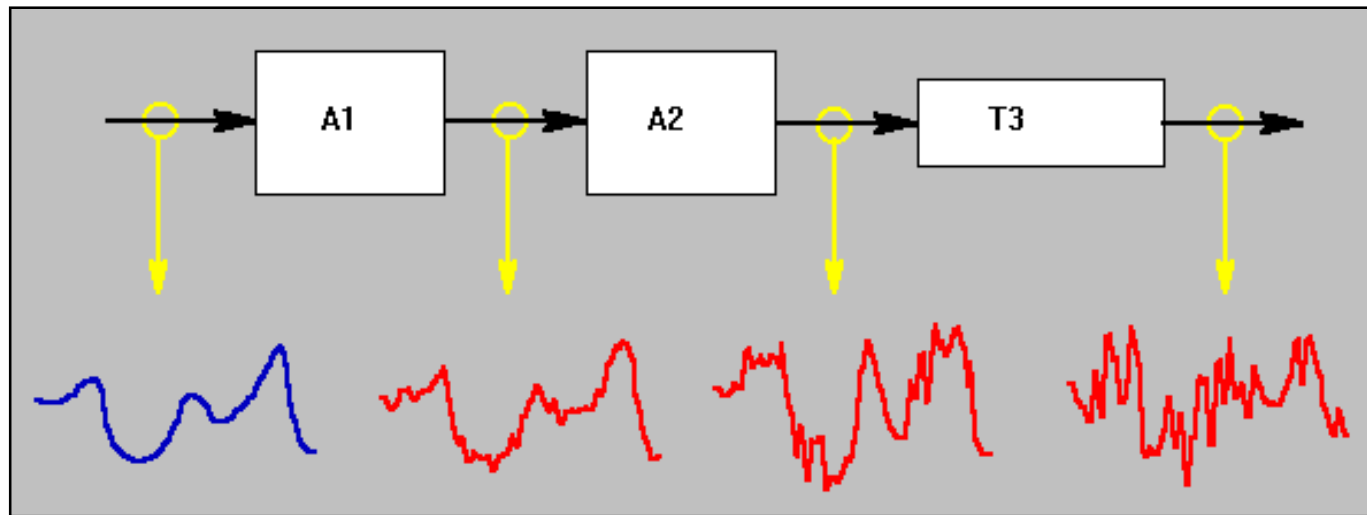
Segnale Digitale (Sincrono)



Segnale Analogico vs. Digitale

■ Il segnale analogico

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



segnale analogico 'pulito'
elevato SNR



segnale analogico degradato
basso SNR



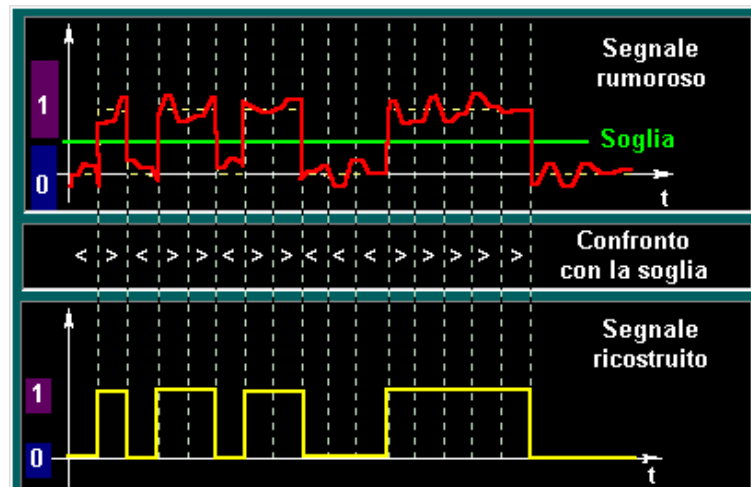
POLITECNICO
DI TORINO

DET
Department of Electronics and Telecommunications

Segnale Analogico vs. Digitale

■ Il segnale digitale

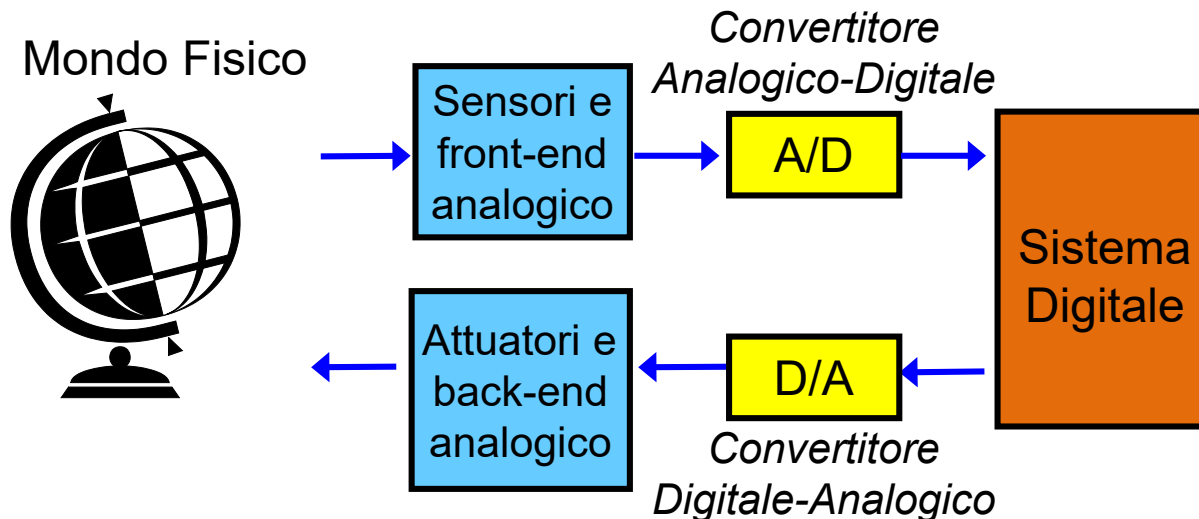
- ha contenuto di informazione limitato (n campioni su due livelli $\rightarrow n$ bit)
- il rumore aggiunto ad ogni elaborazione, se non è tale da invertire lo stato logico, *non degrada l'informazione*, che può essere recuperata esattamente confrontando il segnale con la soglia (**effetto rigenerativo**)



Segnale Analogico vs. Digitale

■ Il segnale digitale

- ha contenuto di informazione limitato (n campioni $\rightarrow n$ bit)
- il rumore aggiunto ad ogni elaborazione, se non è tale da invertire lo stato logico, *non degrada l'informazione* (**effetto rigenerativo**)
- I segnali provenienti dal mondo fisico devono essere convertiti per poter essere elaborati in modo digitale (e i risultati devono spesso essere ri-convertiti in analogico)

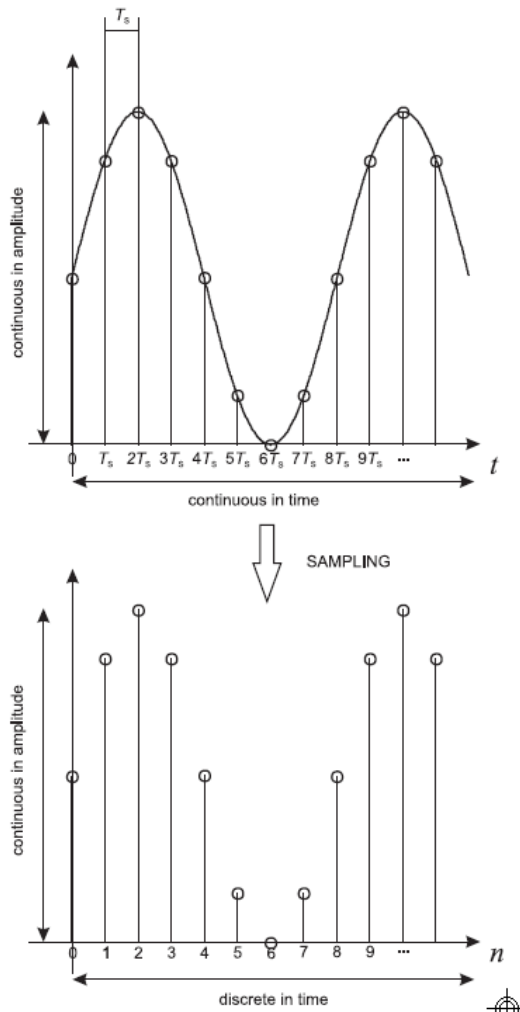


Conversione Analogico → Digitale (A/D)

- Comporta tre passaggi concettuali:
 - **Campionamento** (discretizzazione nel tempo)
 - **Quantizzazione** (discretizzazione in ampiezza)
 - **Codifica binaria**



Conversione Analogico → Digitale (A/D)



Da **segnale analogico**
CONTINUO nel tempo
CONTINUO in ampiezza

CAMPIONAMENTO

discretizzazione nel tempo

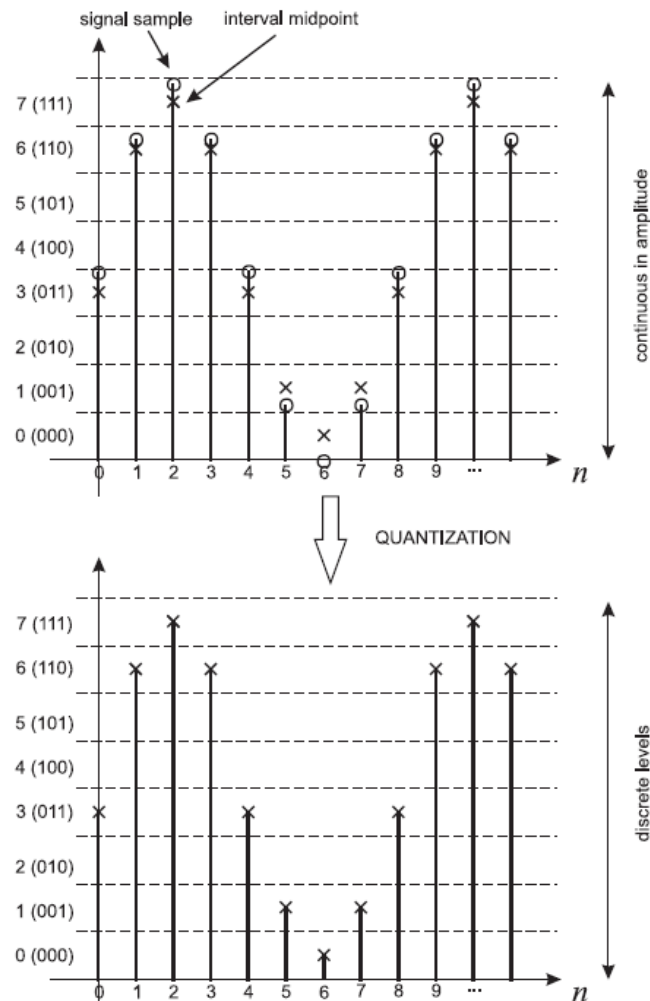
- Vengono prelevati i valori del segnale (campioni) ogni T .
- **Teorema del campionamento:** se un segnale ha banda limitata B e $1/T > 2B$ (Frequenza di Nyquist) **il campionamento non comporta perdita di informazione.**

A **segnale campionato**

DISCRETO nel tempo
CONTINUO in ampiezza



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

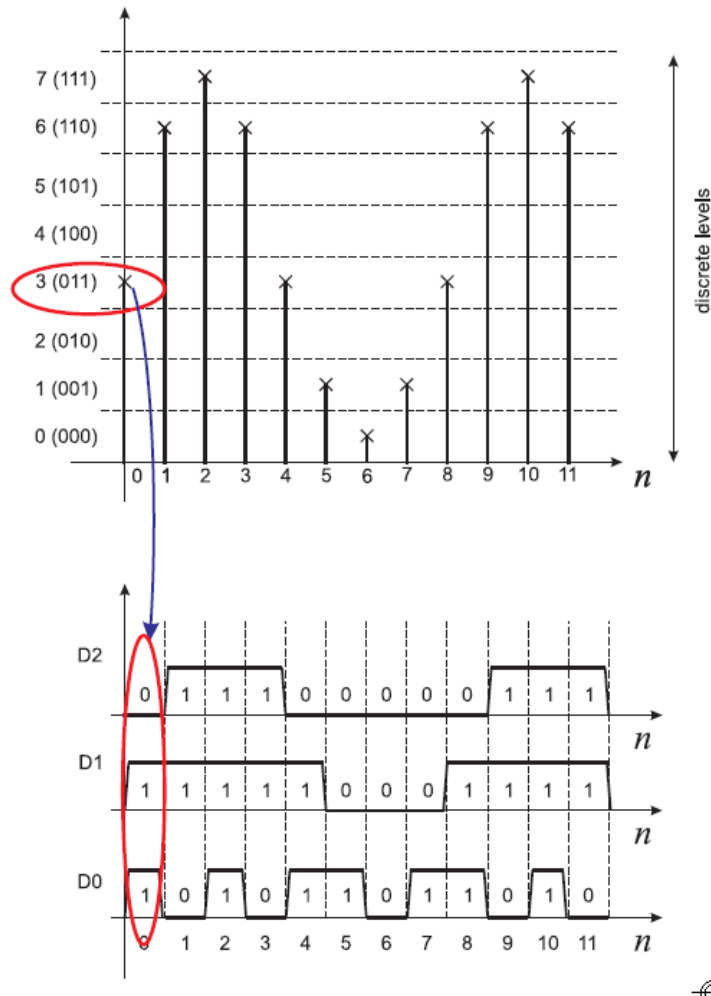
DISCRETO in ampiezza (su più livelli)



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: in conclusione

■ Segnale Analogico

- Elevata suscettibilità a rumore e disturbi
- E' più vicino al mondo fisico (sensori, trasduttori)
- Richiede tecniche di elaborazione relativamente complesse
- Richiede spesso HW dedicato per l'elaborazione

■ Segnale Digitale

- Elaborazione robusta al rumore. Effetto Rigenerativo
- Per elaborare segnali dal/verso il mondo fisico, è necessaria conversione A/D e D/A
- E' più semplice da elaborare (HW riconfigurabile e a basso costo)
- Le elaborazioni possono essere implementate via SW su HW programmabile e riconfigurabile



Concetti base

- **Sistema Elettronico**

- ***Schemi a blocchi***

- Architettura generale
 - Decomposizione funzionale e livelli di astrazione

- ***Blocchi funzionali di base***

- Analogici
 - Digitali
 - Mixed-Signal

- **I sistemi elettronici sono circuiti elettrici!**

- le grandezze elettriche rispettano le leggi della Teoria dei Circuiti



Sistemi Elettronici

- Un **Sistema Elettronico** è un qualsiasi apparato in grado di eseguire operazioni su segnali (*ingressi*) fornendo nuovi segnali (*uscite*).
- La dinamica e la banda dei segnali elaborabili sono *limitate*.
- Può essere descritto in termini *funzionali* (*che cosa fa*), 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.



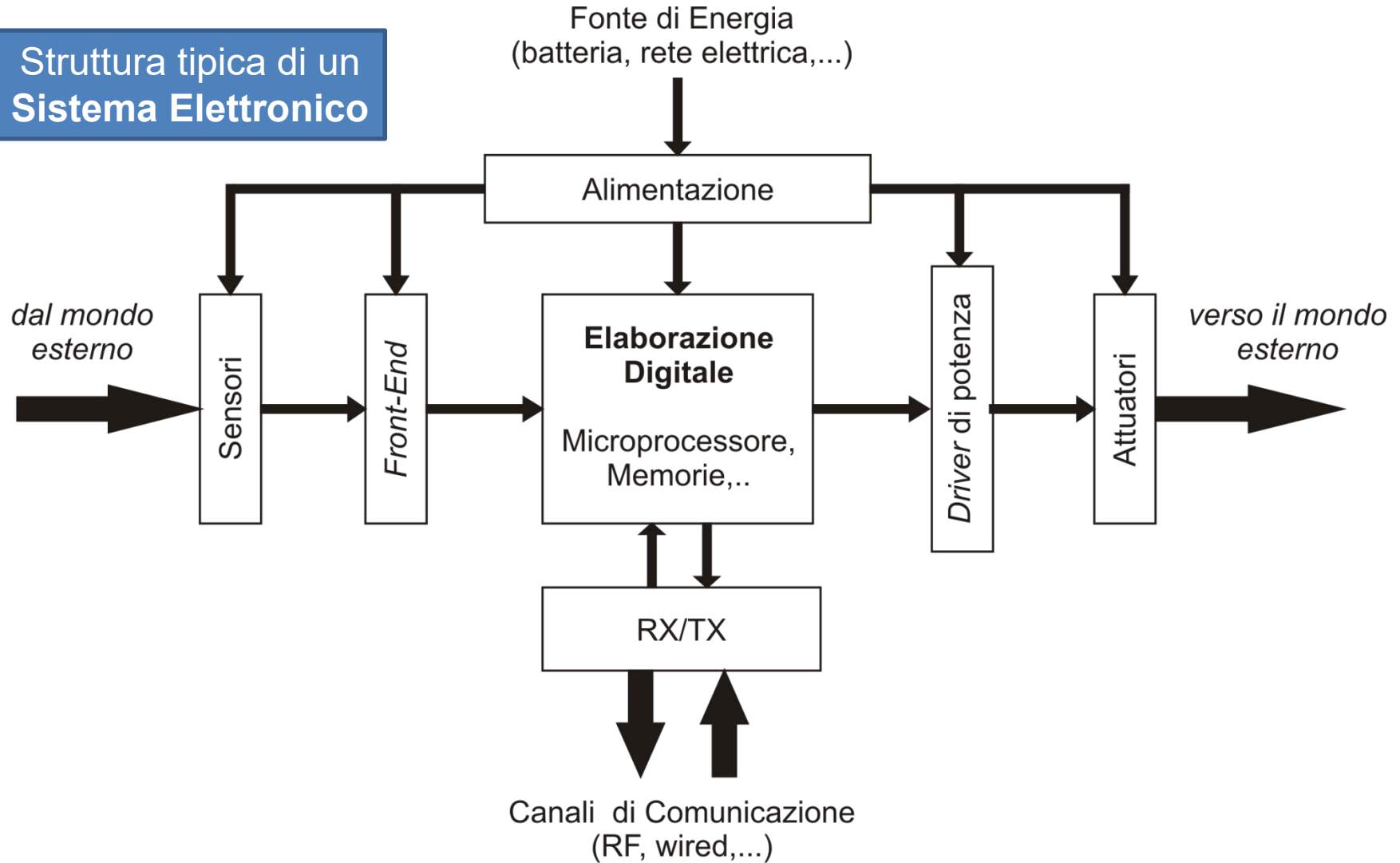
Sistemi Elettronici: Funzioni

- Le funzioni dei sistemi elettronici sono molteplici:
 - 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...)
- Si va verso la diffusione sempre più pervasiva di sistemi micro-nano elettronici a bassissimo costo interconnessi tra loro → **Internet of Things (IoT)**.



Sistemi Elettronici

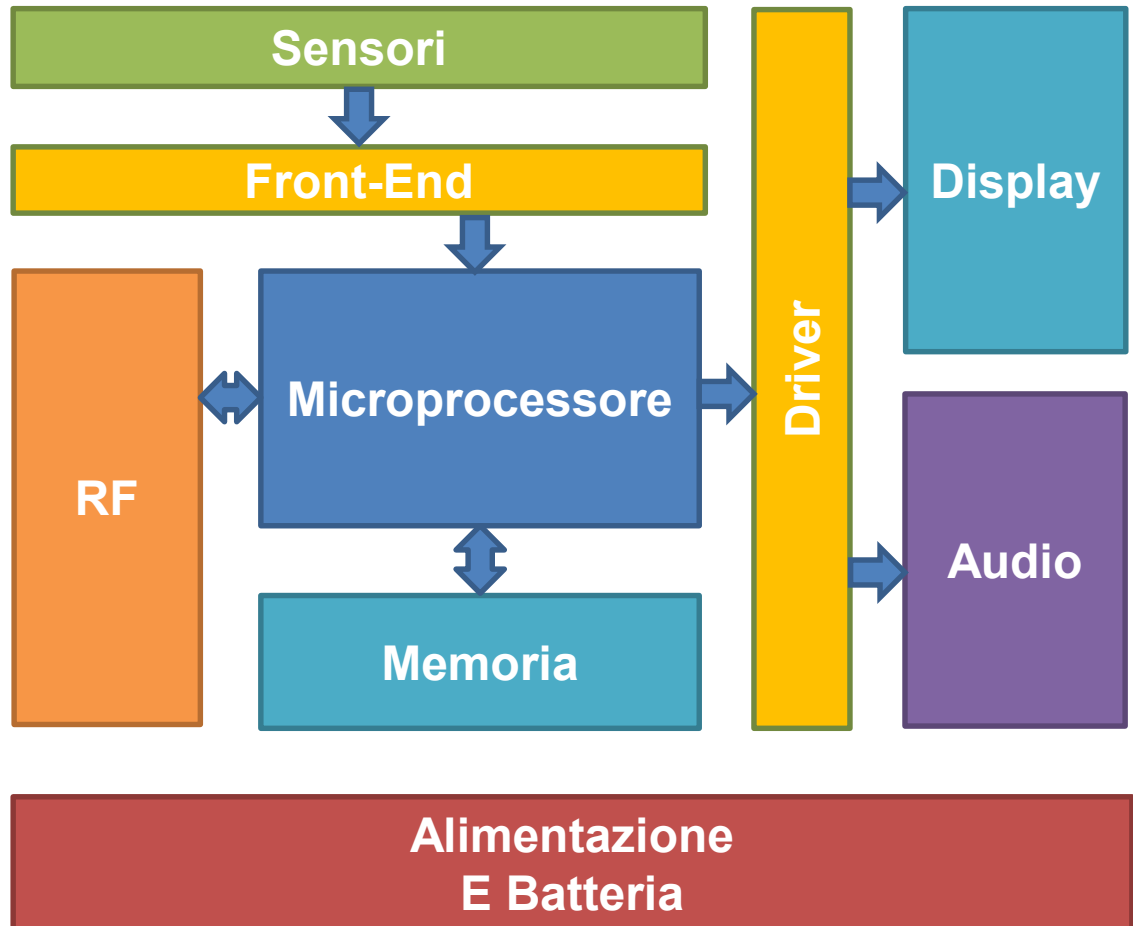
Struttura tipica di un Sistema Elettronico



Sistemi Elettronici: Smartphone

Schema a blocchi funzionale semplificato

Apple iPhone5



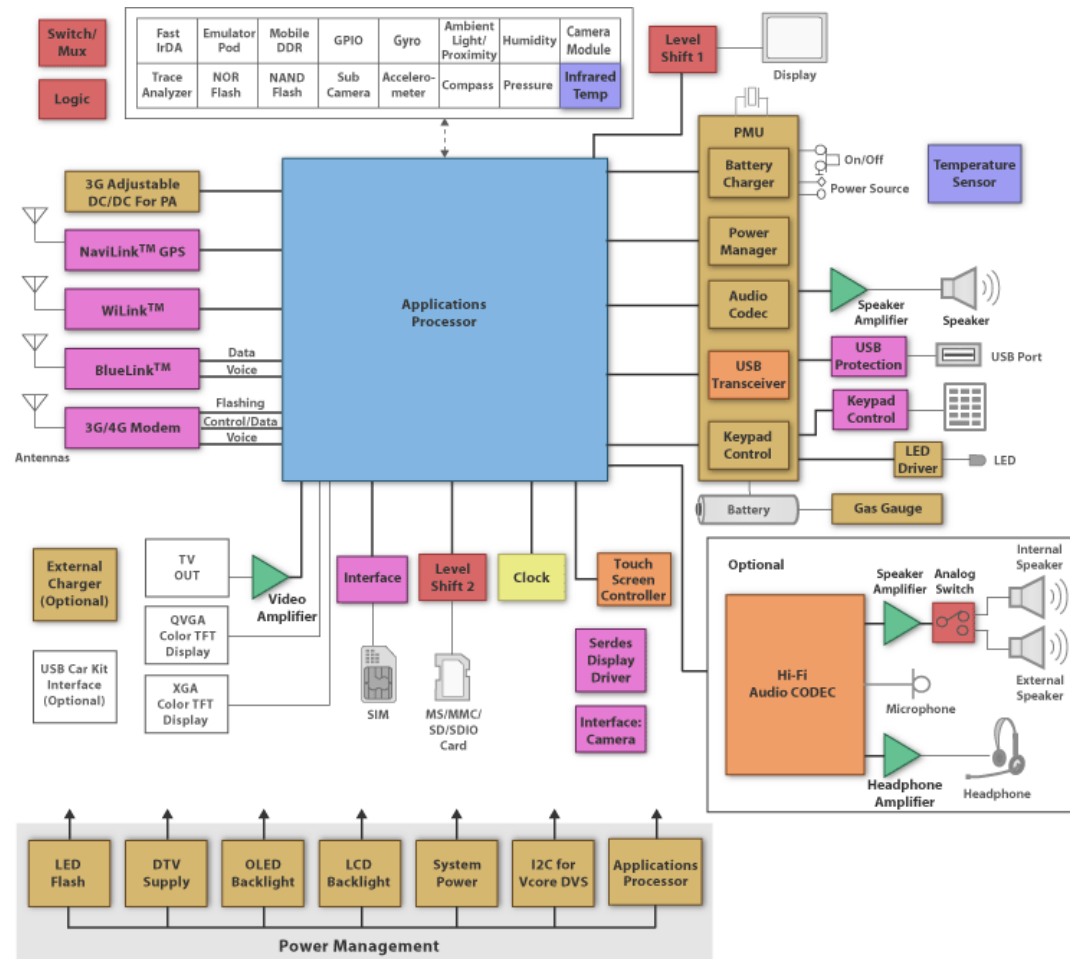
POLITECNICO
DI TORINO

DET
Department of Electronics and Telecommunications

Sistemi Elettronici: Smartphone

Schema a blocchi funzionale dettagliato

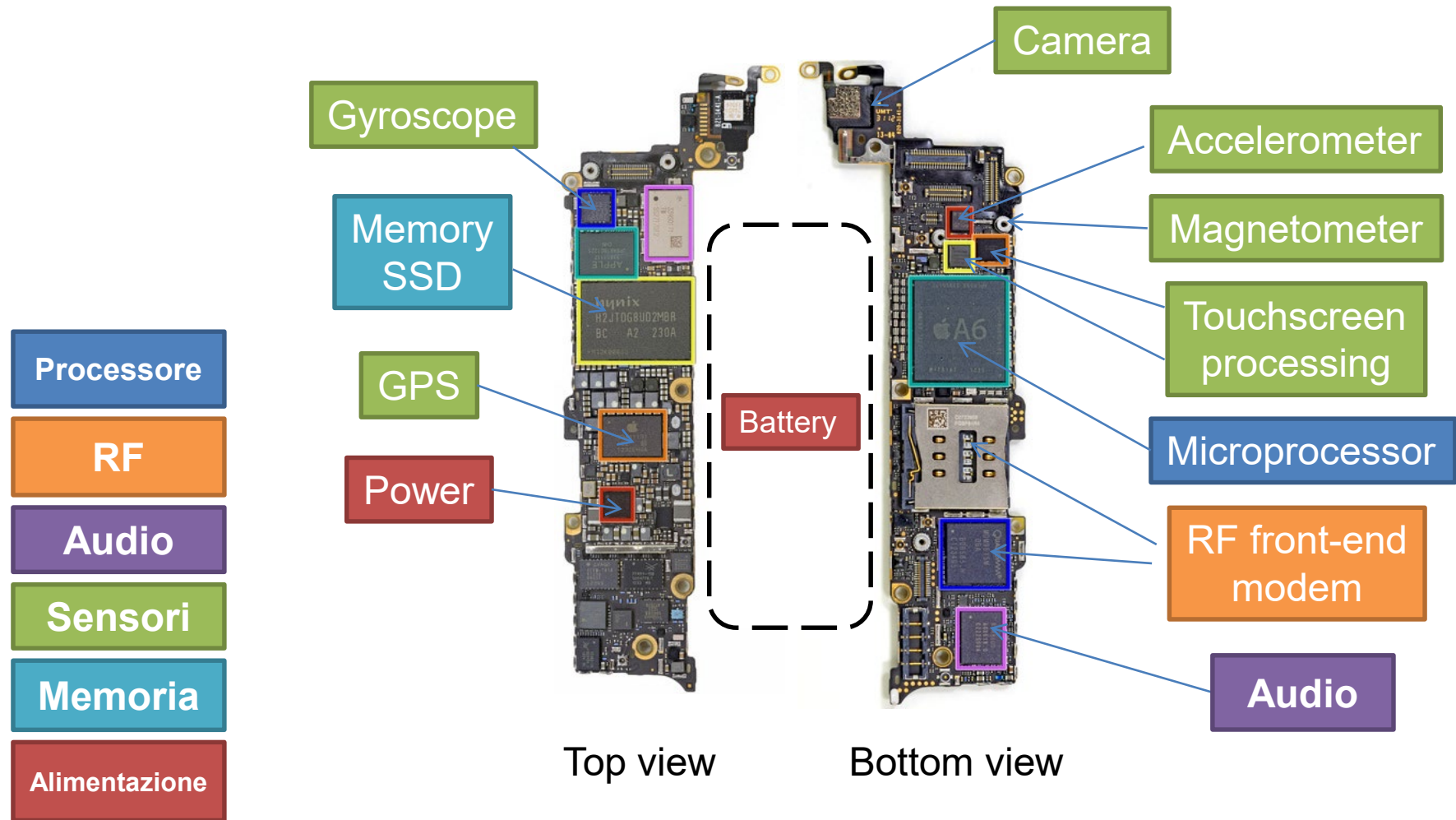
Apple iPhone5



POLITECNICO
DI TORINO

DET
Department of Electronics and Telecommunications

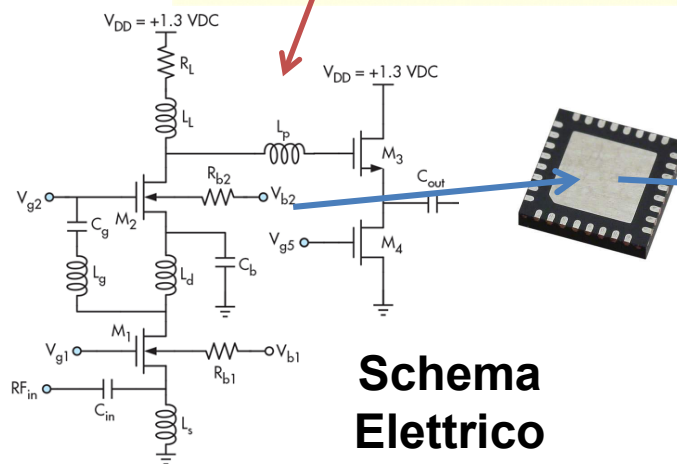
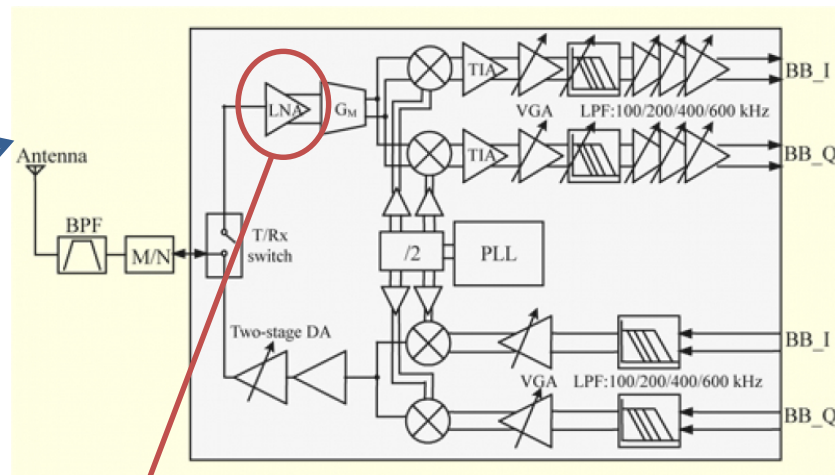
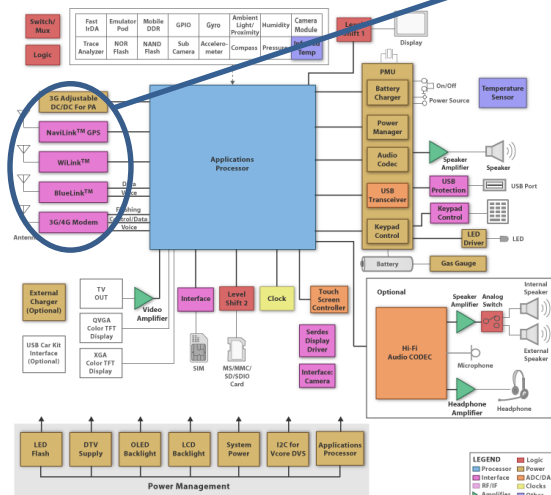
Sistemi Elettronici: Smartphone



Sistemi Elettronici: Smartphone

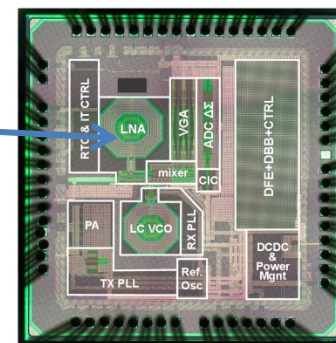
Schema a blocchi architetturale

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

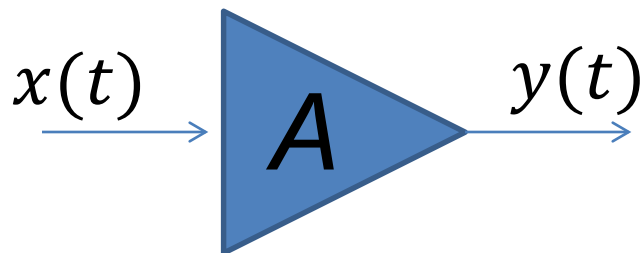
- Le funzioni di un sistema elettronico complesso si possono realizzare partendo da un numero relativamente ridotto di **funzioni elementari (decomposizione funzionale)** così com'è possibile sviluppare SW complesso a partire da poche istruzioni elementari.
- Le funzioni elementari possono essere distinte in:
 - analogiche
 - digitali
 - *mixed signal* (es: conversione A/D, conversione D/A)
- In questo corso approfondiremo lo studio delle funzioni analogiche



Sistemi Elettronici: Funzioni Analogiche senza memoria

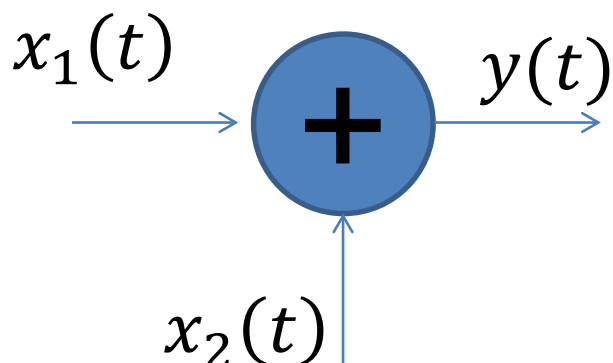
- Amplificazione (multipl. per una costante): $y(t) = Ax(t)$

Amplificatore



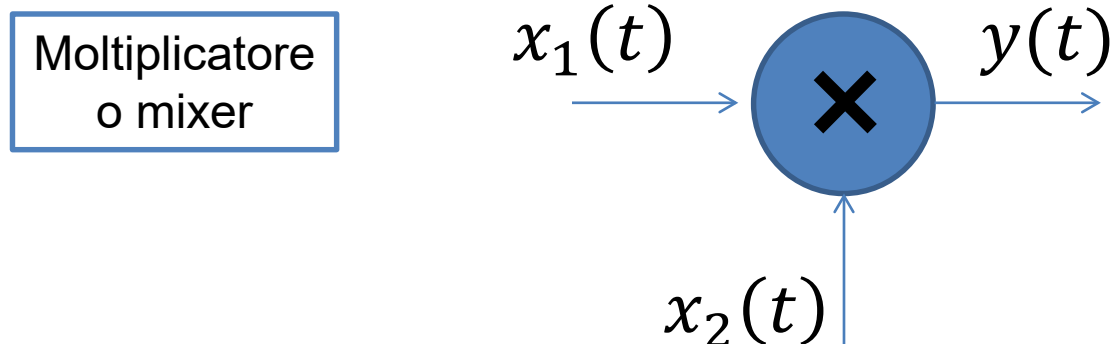
- Somma: $y(t) = x_1(t) + x_2(t)$

Sommatore

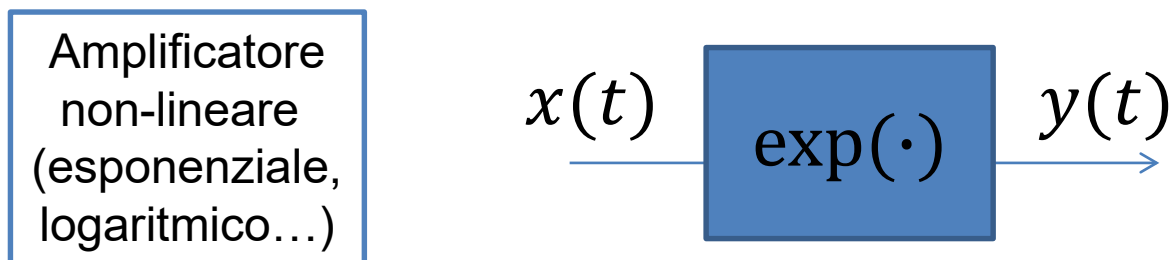


Sistemi Elettronici: Funzioni Analogiche senza memoria

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



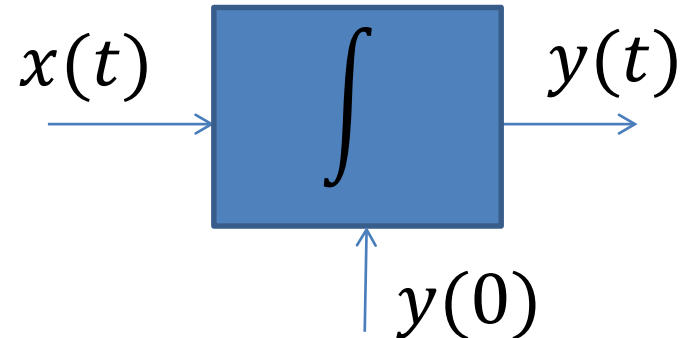
- Altre funzioni senza memoria (esponenziale, logaritmo,...):
 $y(t) = k_1 \exp[k_2 x(t)]$



Sistemi Elettronici: Funzioni Analogiche con memoria

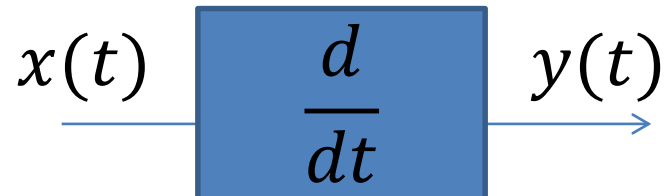
- Integrale definito nel tempo: $y(t) = \int_0^t k_i x(t') dt' + y(0)$

Integratore



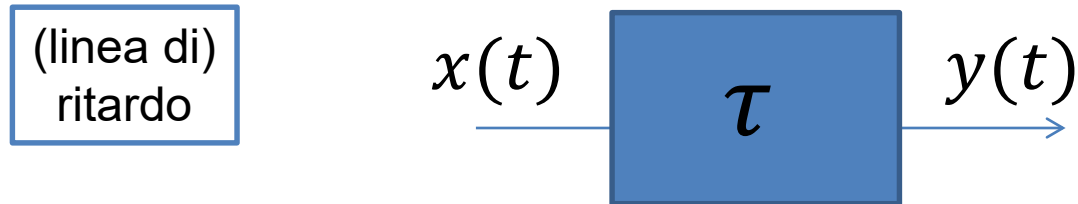
- Derivata temporale: $y(t) = k_d \frac{dx}{dt}$

Derivatore



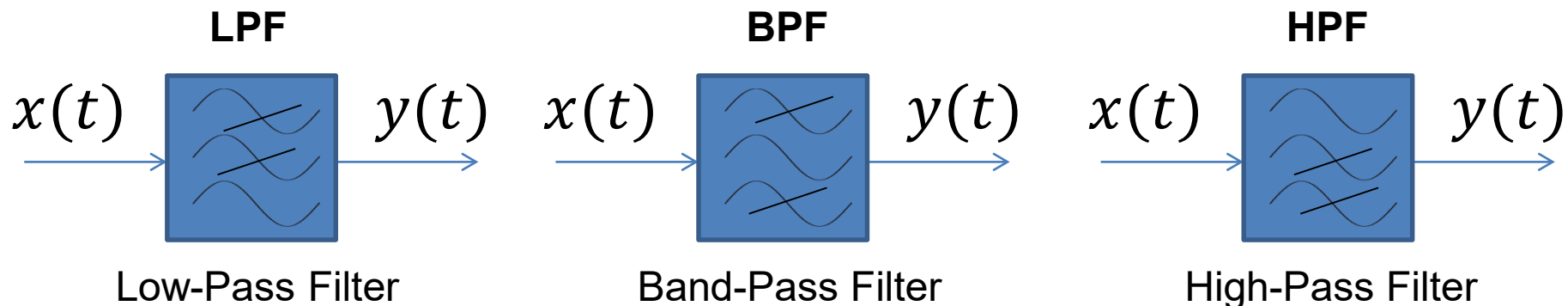
Sistemi Elettronici: Funzioni Analogiche con memoria

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



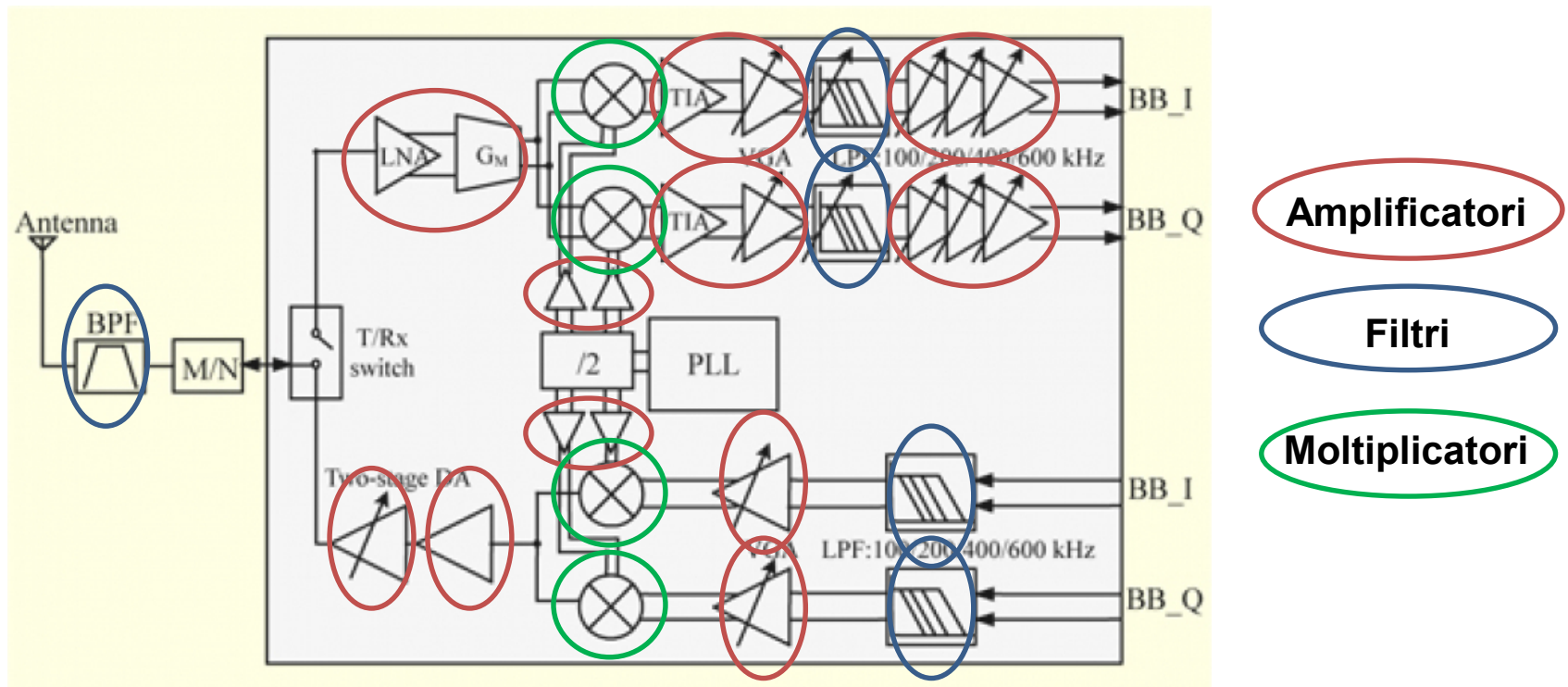
- Filtraggio: $Y(f) = H(f)X(f)$

– La funzione di trasferimento $H(f)$ può essere di tipo passa-basso, passa-banda passa-alto



Sistemi Elettronici: Funzioni Analogiche

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



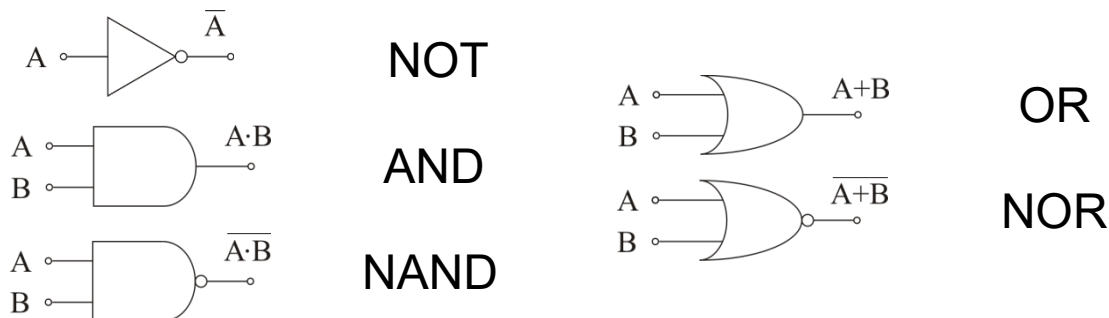
Sistemi Elettronici: Funzioni Digitali

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

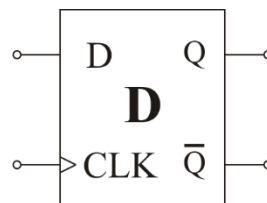
$$f: \{0,1\}^N \rightarrow \{0,1\}^M$$

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



Sistemi Elettronici

- Un modulo elettronico può essere complesso, ma sono sufficienti relativamente poche informazioni per poterlo utilizzare:
 - Cosa fa il modulo? → *Funzione*
 - Quanta e quale energia richiede? → *Alimentazione*
 - Come interagisce con gli altri moduli? → *Specifiche d'Interfaccia*
- Un sistema elettronico è un *circuito elettrico*
 - Funzioni, alimentazioni e specifiche d'interfaccia sono espresse in termini *elettrici*.
 - E' necessaria una descrizione *circuitale*.



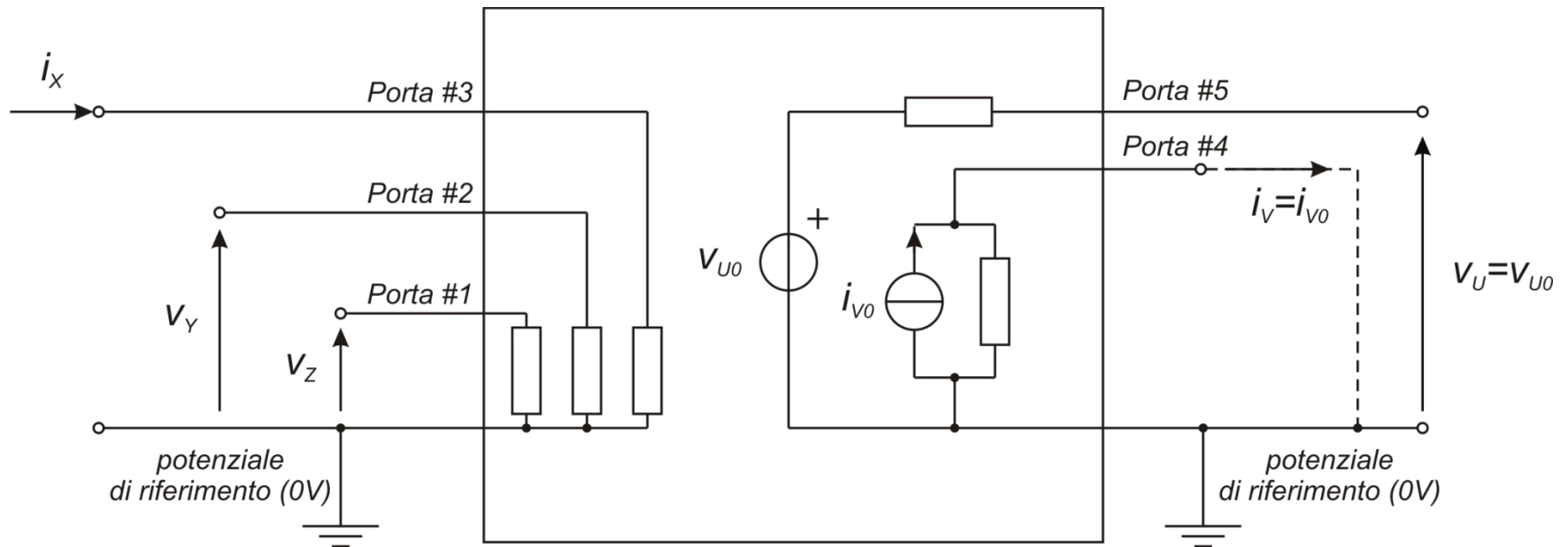
Dal Sistema al Circuito Elettronico

- Un sistema elettronico è un *circuito elettrico*.

Descrizione Funzionale
(schema a blocchi)



Descrizione Circuitale

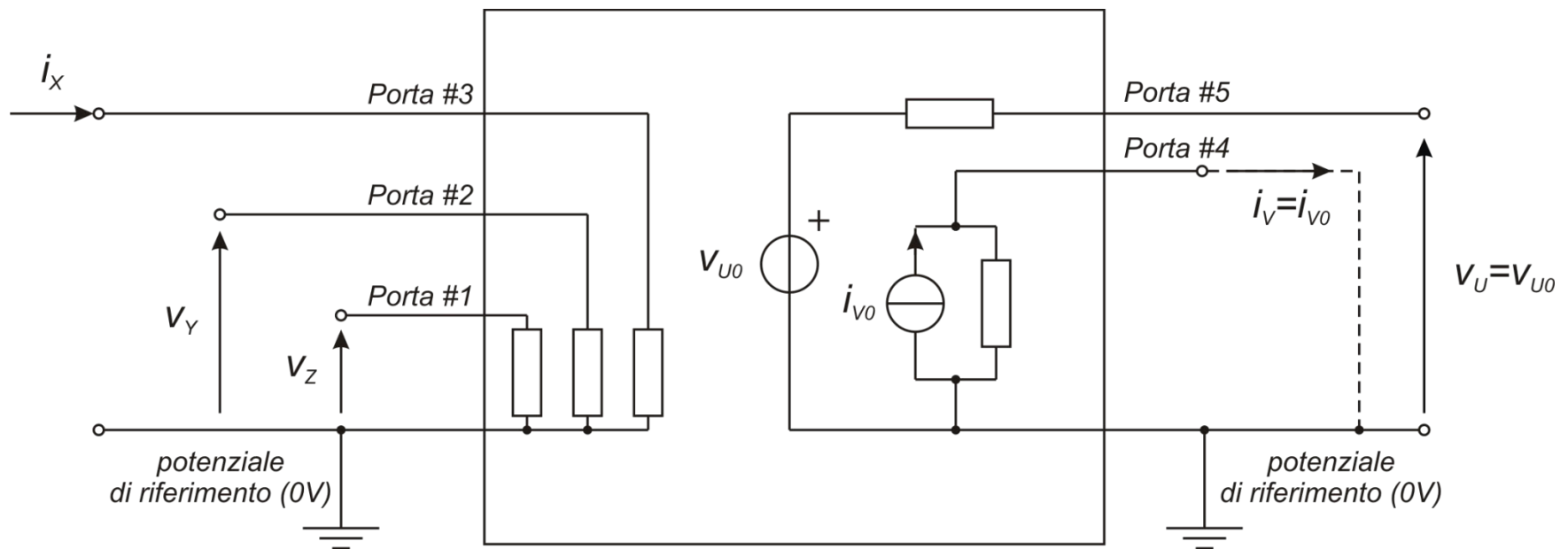


POLITECNICO
DI TORINO

DET
Department of Electronics and Telecommunications

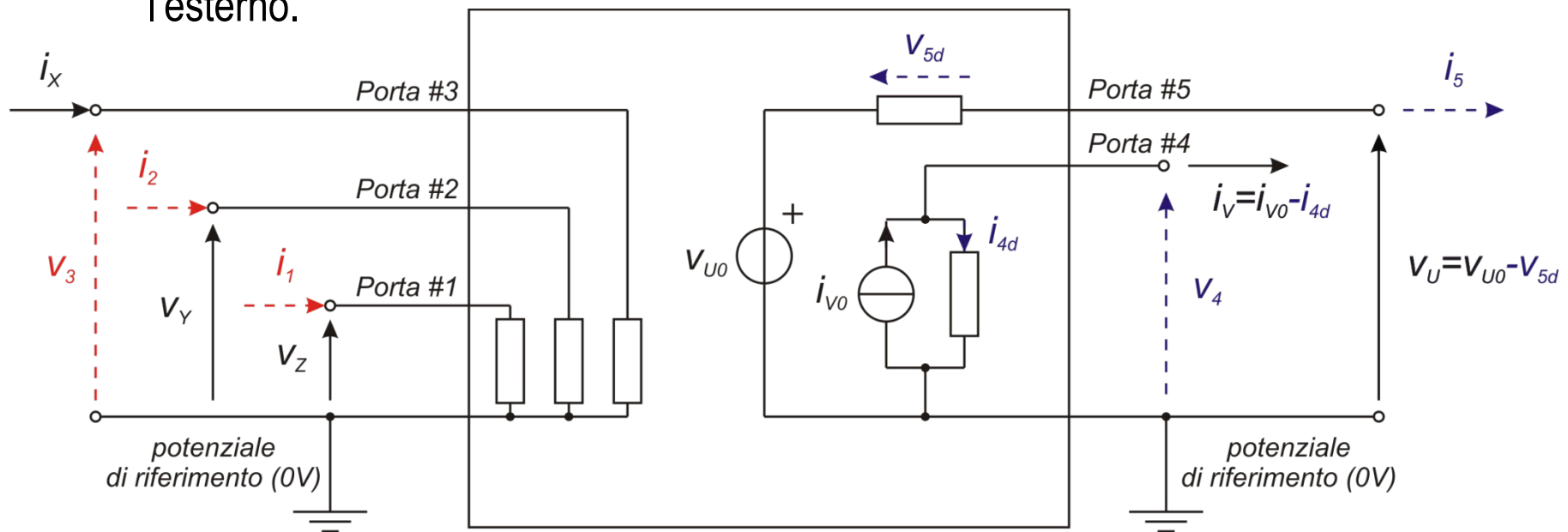
Dal Sistema al Circuito Elettronico

- Un sistema elettronico è un *circuito elettrico*.
 - gli ingressi sono **tensioni** (definite rispetto ad un potenziale di riferimento comune detto 0V, GND o anche *massa*) o **correnti** (il circuito è un *N*-porte).
 - Valgono le leggi di Kirchhoff (di *V* e *I*) e tutte le regole della Teoria dei Circuiti.
 - Le uscite si possono vedere come generatori di **tensione** o **corrente non ideali**.



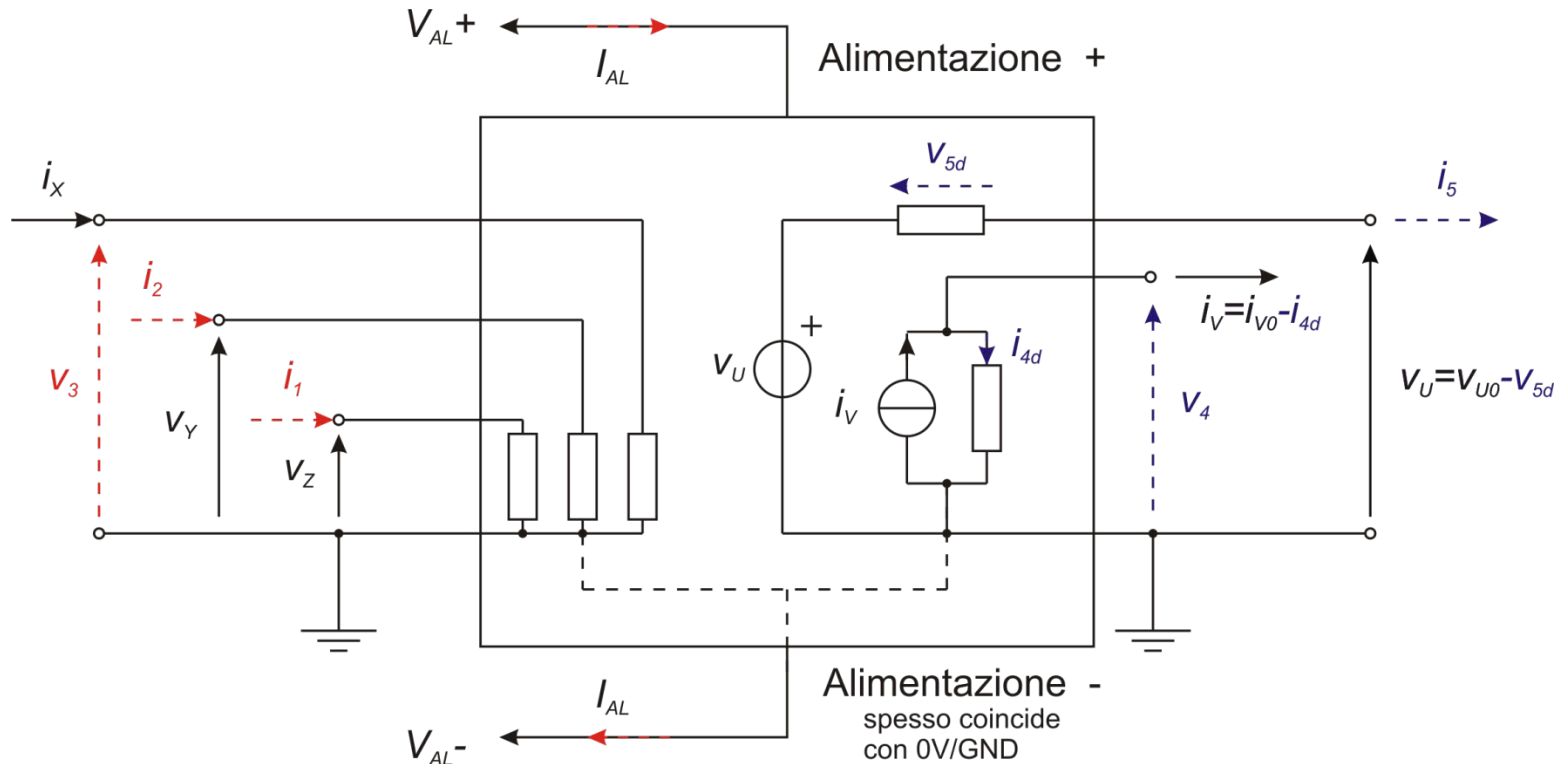
Dal Sistema al Circuito Elettronico

- 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.
 - E' indispensabile considerare come il circuito interagisce *eletttricamente* con l'esterno.



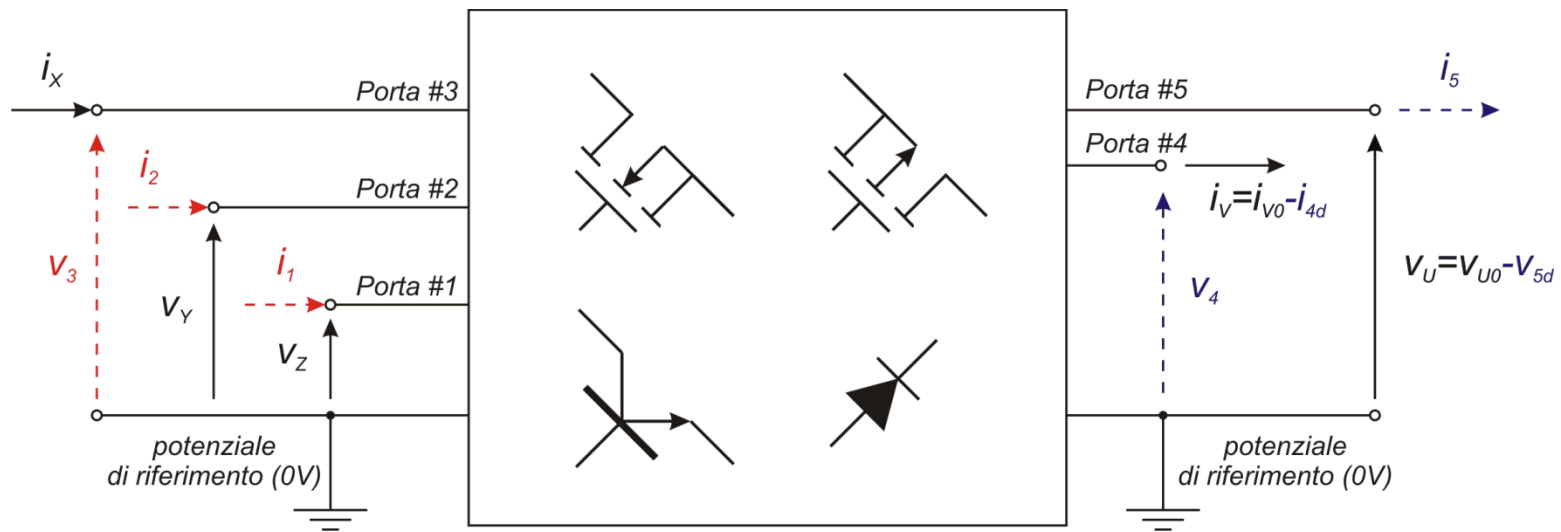
Dal Sistema al Circuito Elettronico

- 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

- Un sistema elettronico è un *circuito elettrico*
 - È costituito esclusivamente o in larga parte da **dispositivi a semiconduttore**.
 - Per poter comprendere concetti di base sul 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.



Organizzazione del corso

- Nel corso (Sistemi Elettronici e Tecnologie) verranno presentati:
 - i principali **dispositivi a semiconduttore** e le loro caratteristiche
 - *obiettivo: introdurre gli elementi base di ogni sistema elettronico ed i principi fisici su cui sono basati, per descriverne il loro utilizzo in sistemi analogici e digitali.*
 - i principali **blocchi funzionali analogici** (amplificatori e circuiti derivati) e le relative *caratteristiche elettriche*
 - *obiettivo: comprendere le specifiche elettriche di un blocco analogico e capire come implementare le principali funzioni analogiche a partire da circuiti di base, senza entrare nei dettagli del loro funzionamento.*

