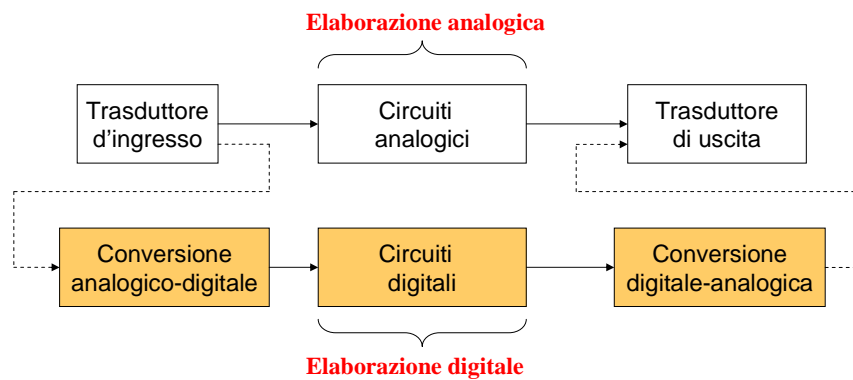


# CONVERSIONE ANALOGICO-DIGITALE E DIGITALE-ANALOGICA

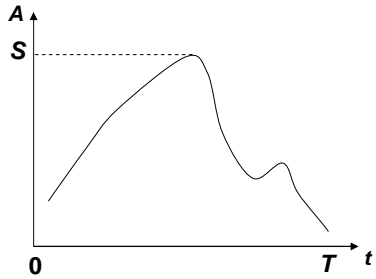
## ELABORAZIONE ANALOGICA O DIGITALE DEI SEGNALI



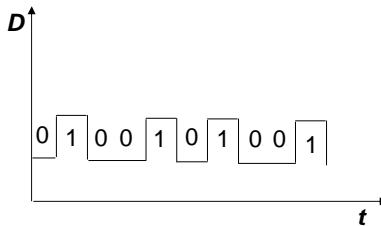
### Vantaggi dell'elaborazione digitale:

- Minore sensibilità ai disturbi
- Elaborazione più semplice e meno costosa
- Maggiore versatilità

## GRANDEZZE ANALOGICHE E DIGITALI



Una **grandezza analogica** può assumere qualunque valore all'interno di un dato intervallo  $0 \div S$  (**continua in ampiezza**) ed è definita in ogni istante di tempo in un determinato intervallo  $0 \div T$  (**continua in tempo**)



Una **grandezza numerica** (o **digitale**) è una lista di numeri che rappresentano il segnale analogico in determinati istanti (**discreta in tempo**). Dato che un numero con  $N$  cifre con base  $B$  può rappresentare  $B^N$  valori, una grandezza numerica rappresenta solo un numero finito di valori all'interno dell'intervallo  $0 \div S$  (**discreta in ampiezza**)

DIEET

Università di Palermo

Elettronica digitale II

Giuseppe Caruso

3

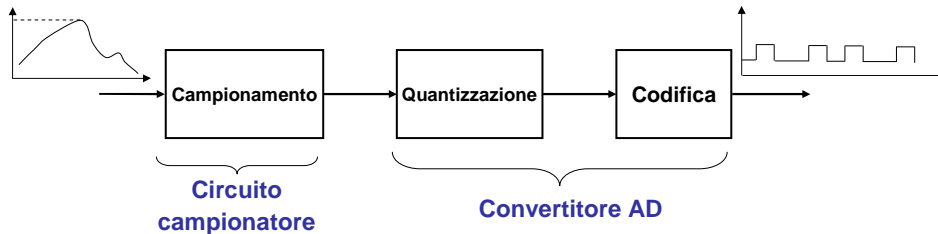
## CONVERSIONE ANALOGICO-DIGITALE

La conversione da analogico a digitale richiede tre operazioni:

**Campionamento** → discretizzazione in tempo

**Quantizzazione** → discretizzazione in ampiezza

**Codifica** → rappresentazione del campione quantizzato con un numero di  $N$  cifre



DIEET

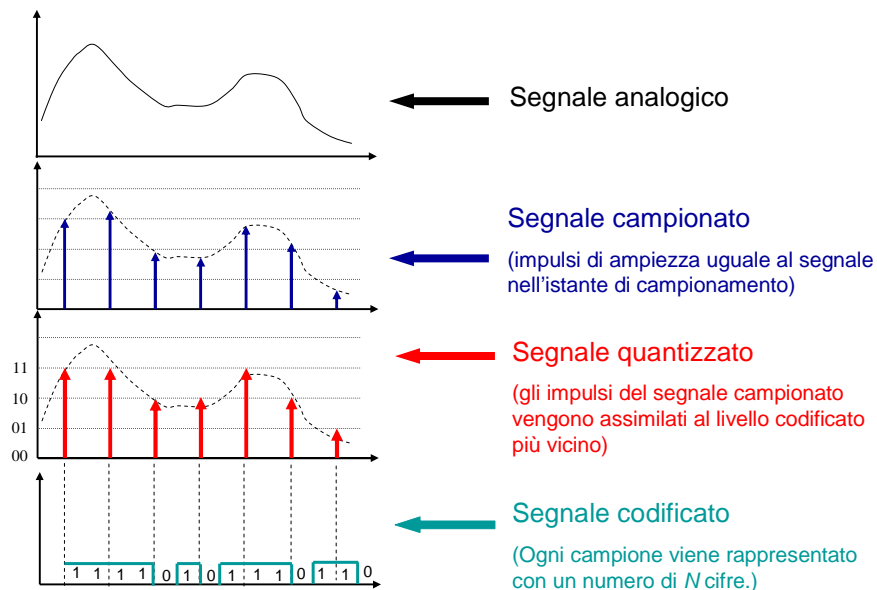
Università di Palermo

Elettronica digitale II

Giuseppe Caruso

4

## CONVERSIONE ANALOGICO-DIGITALE



DIEET

Università di Palermo

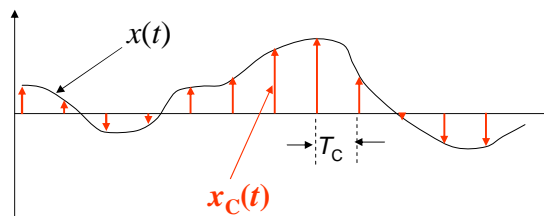
Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

5

## CAMPIONAMENTO

- L'operazione di campionamento trasforma un segnale analogico  $x(t)$  in una sequenza di segnali impulsivi, di ampiezza uguale al valore del segnale originario ad istanti di tempo determinati.
- IL segnale campionato  $x_c(t)$  si ottiene moltiplicando il segnale analogico per una serie di  $\delta$  di Dirac.



$$x_c(t) = x(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_c)$$

DIEET

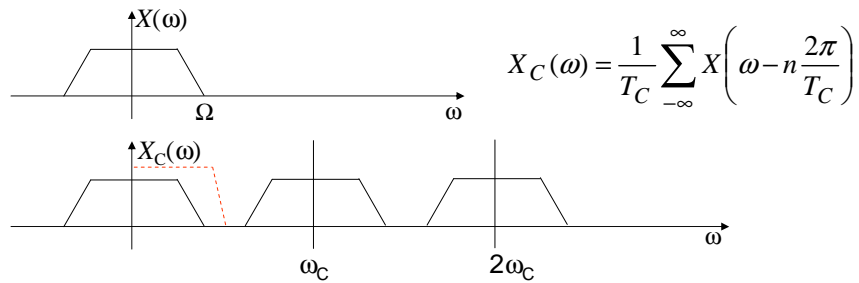
Università di Palermo

Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

6

## CAMPIONAMENTO



- Per ricostruire il segnale originario  $x(t)$  è sufficiente isolare mediante un filtro passa-basso la parte di spettro in banda base.
- $f_c = 1/T_c$ : frequenza di campionamento
- L'isolamento dello spettro principale è possibile se è verificata la condizione  $\omega_c = 2\pi f_c > 2\Omega$
- La frequenza  $2\Omega$  è chiamata **frequenza di Nyquist**

DIEET

Università di Palermo

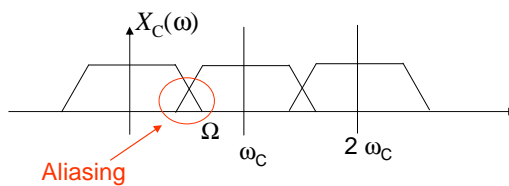
Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

7

## CAMPIONAMENTO

Quando la condizione  $\omega_c > 2\Omega$  non è soddisfatta si ha una sovrapposizione degli spettri detta **aliasing**



- La sovrapposizione degli spettri non permette di ricostruire correttamente il segnale di partenza.
- Nessun segnale reale è a banda rigorosamente limitata, per cui si inserisce un filtro detto **anti-aliasing** prima del circuito campionatore.

DIEET

Università di Palermo

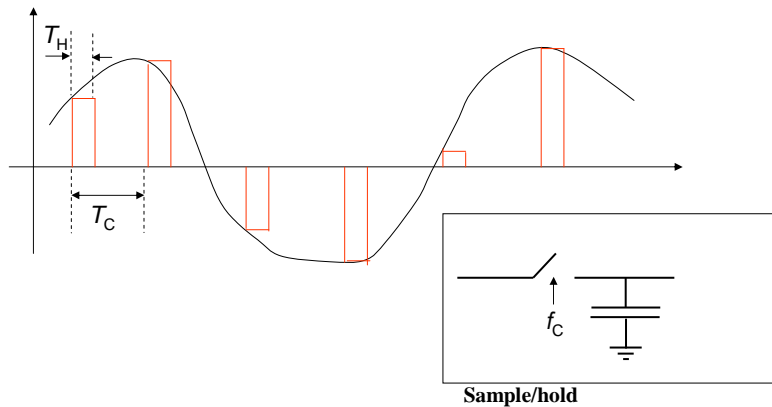
Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

8

## SAMPLE/HOLD

L'operazione di conversione A/D non è istantanea, occorre quindi mantenere il valore del campione per il tempo necessario ad eseguire la conversione. Questa operazione viene eseguita mediante un circuito di **sample/hold** (campionamento e mantenimento).



**DIEET**

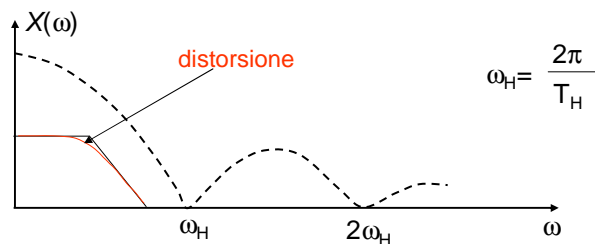
Università di Palermo

*Electronica digitale II*

Giuseppe Caruso

9

## SAMPLE/HOLD



- ❑ Lo spettro del segnale campionato e mantenuto equivale allo spettro del segnale campionato moltiplicato per una funzione di tipo  $\text{sinc}/x$ .
- ❑ Il segnale di partenza può essere ricostruito compensando con un apposito filtro di uscita la distorsione dello spettro prodotta dal circuito di mantenimento.

**DIEET**

Università di Palermo

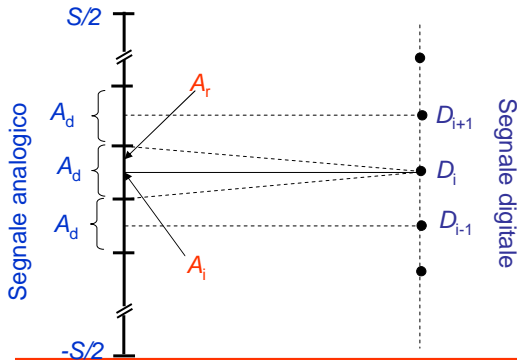
*Electronica digitale II*

Giuseppe Caruso

10

## QUANTIZZAZIONE

- ❑ L'operazione di quantizzazione consiste nel far corrispondere ad ogni campione analogico un valore numerico.
- ❑ Un numero di  $N$  cifre può rappresentare  $2^N$  valori.
- ❑ Dal momento che un campione può assumere infiniti valori all'interno di un dato intervallo, occorre dividere il campo dei valori del campione analogico ( $-S/2 \div +S/2$ ) in intervalli di ampiezza  $A_d$  ed associare ognuno di questi a uno dei  $2^N$  valori.



**Errore di quantizzazione:**

$$\epsilon_q = A_r - A_i$$

**L'errore massimo è:**

$$\epsilon_{q\max} = \pm A_d/2$$

DIEET

Università di Palermo

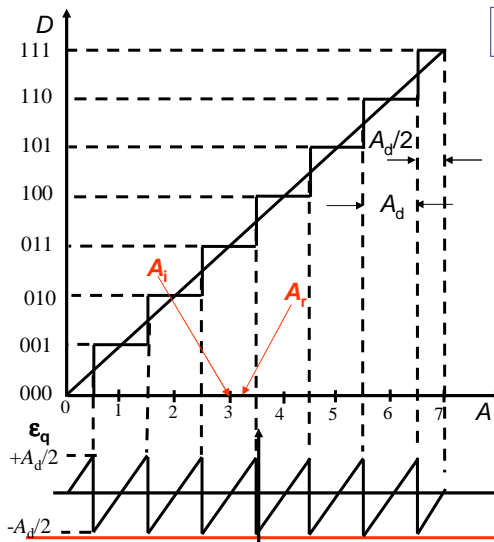
Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

11

## QUANTIZZAZIONE

### Caratteristica di trasferimento ideale



$$\epsilon_q = A_r - A_i$$

$$\epsilon_{q\max} = \pm A_d/2$$

$$A_d = \frac{V_{FS}}{2^N - 1}$$

Per ottenere un errore di quantizzazione massimo pari a  $\pm A_d/2$ , l'uscita digitale codifica intervalli di quantizzazione di ampiezza  $A_d$  simmetrici rispetto a multipli di  $A_d$ , tranne il primo codice '000' e l'ultimo '111' che rappresentano soltanto mezzo intervallo ( $A_d/2$ ). Il valore di  $A_d$  si calcola dividendo il fondo scala  $V_{FS}$  per  $2^N - 1$ .  
 Esempio:  $V_{FS} = 7V$ ,  $N = 3$ .  
 $A_d = V_{FS} / (2^N - 1) = 1V$

DIEET

Università di Palermo

Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

12

## CODIFICA

### Codici unipolari pesati e non pesati

- **Codice binario puro** – E' il codice normalmente usato per valori positivi.
- **Codice BCD** – E' usato principalmente negli strumenti di misura.
- **Codice di Gray** – E' un esempio di codice non pesato. Ogni codice differisce dal successivo di un bit. E' usato raramente.

Valore per S=15	Binario puro	BCD 8421	Codice di Gray
0	0000	0000	0000
1	0001	0001	0001
2	0010	0010	0011
3	0011	0011	0010
4	0100	0100	0110
5	0101	0101	0111
6	0110	0110	0101
7	0111	0111	0100
8	1000	1000	1100
9	1001	1001	1101
10	1010	0001 0000	1111
11	1011	0001 0001	1110
12	1100	0001 0010	1010
13	1101	0001 0011	1011
14	1110	0001 0100	1001
15	1111	0001 0101	1000

DIEET

Università di Palermo

*Electronica digitale II*

Giuseppe Caruso

13

## CODIFICA

### Codici binari bipolari

- Il codice **complemento a due** è il più utilizzato per rappresentare numeri negativi. I numeri positivi sono rappresentati come nel codice binario puro mentre quelli negativi con il complemento a due. E' usato nei sistemi a microprocessori e per implementare algoritmi matematici. Inoltre, costituisce lo standard per i sistemi audio digitali.
- Il codice **modulo e segno** ha il vantaggio che per piccole variazioni intorno allo zero cambia soltanto il bit di segno.

Valore	Binario scalato	Modulo e segno	Complemento a 2	Complemento a 1
(+8)	-	-	-	-
7	1 111	0 111	0 111	0 111
6	1 110	0 110	0 110	0 110
5	1 101	0 101	0 101	0 101
4	1 100	0 100	0 100	0 100
3	1 011	0 011	0 011	0 011
2	1 010	0 010	0 010	0 010
1	1 001	0 001	0 001	0 001
0	1 000	0 000	0 000	0 000
		1 000		1 111
-1	0 111	1 001	1 111	1 110
-2	0 110	1 010	1 110	1 101
-3	0 101	1 011	1 101	1 100
-4	0 100	1 100	1 100	1 011
-5	0 011	1 101	1 011	1 010
-6	0 010	1 110	1 010	1 001
-7	0 001	1 111	1 001	1 000
(-8)	0 000		1 000	-

DIEET

Università di Palermo

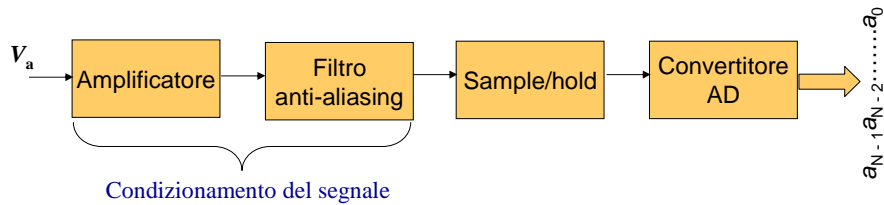
*Electronica digitale II*

Giuseppe Caruso

14

## CONVERSIONE ANALOGICO-DIGITALE

### Diagramma a blocchi di un sistema di conversione analogico-digitale



- **Amplificatore:** consente di sfruttare pienamente la dinamica di conversione.
- **Filtro anti-aliasing:** rende il segnale limitato in banda.
- **Sample/hold:** cattura un campione del segnale e lo memorizza.
- **Convertitore AD:** esegue le operazioni di quantizzazione e codifica.

DIEET

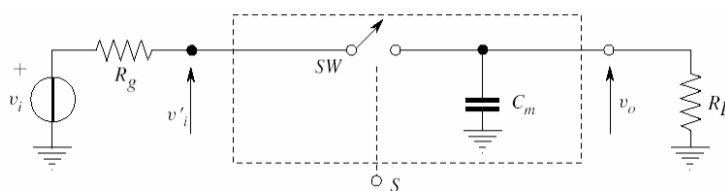
Università di Palermo

Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

15

## CIRCUITI DI SAMPLE/HOLD



### Problemi

- Durante la fase di sample (SW chiuso), l'uscita insegue l'ingresso. A causa del rapporto di partizione tra  $R_g$  e  $R_L$  si ha un'attenuazione del segnale di uscita.
- Durante la fase di hold (SW aperto), la corrente che circola su  $R_L$  dà luogo ad un decadimento del segnale campionato.
- Nel passaggio da hold a sample,  $R_g$  si somma alla resistenza dell'interruttore facendo aumentare il tempo di acquisizione.

DIEET

Università di Palermo

Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

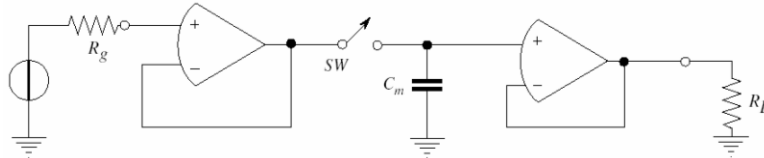
16



## CIRCUITI DI SAMPLE/HOLD

### Sample/hold con architettura open-loop

Vengono inseriti due inseguitori di tensione per ridurre l'influenza di  $R_g$  ed  $R_L$ .



In questo circuito, la riduzione della tensione di uscita è dovuta alla partizione tra la resistenza dell'interruttore e la resistenza d'ingresso dell'operazionale (molto grande). La resistenza dell'interruttore influenza ancora il tempo di acquisizione ma ora si somma alla resistenza di uscita di un operazionale (molto piccola)

DIEET

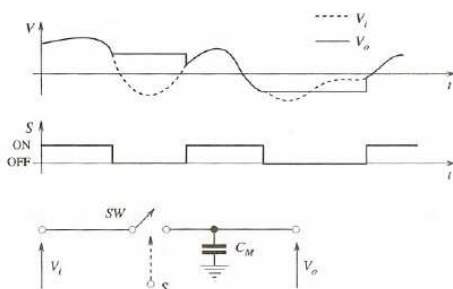
Università di Palermo

Elettronica digitale II

Giuseppe Caruso

17

## CIRCUITI DI SAMPLE/HOLD



- ❑ **Sample** (SW chiuso): il segnale di uscita insegue il segnale d'ingresso (tracking).
- ❑ **Hold** (SW aperto): il segnale di uscita viene mantenuto al valore che ha all'istante in cui il comando passa da sample ad hold.
- ❑ Si hanno errori in corrispondenza alle seguenti situazioni di funzionamento:
  - **Stato di sample;**
  - **Passaggio da sample a hold;**
  - **stato di hold;**
  - **Passaggio da hold a sample.**

DIEET

Università di Palermo

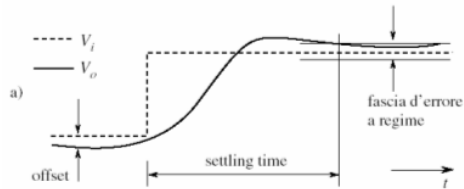
Elettronica digitale II

Giuseppe Caruso

18

## CIRCUITI DI SAMPLE/HOLD

### Errori in fase di sample



**Settling time** - è il tempo necessario al segnale ad assestarsi all'interno della fascia d'errore a regime.

DIEET

Università di Palermo

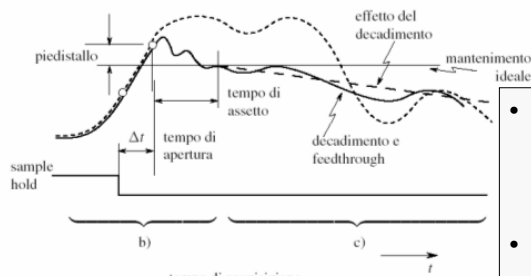
Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

19

## CIRCUITI DI SAMPLE/HOLD

### Errori nel passaggio da sample a hold



- Il **tempo di apertura** è il tempo che intercorre tra l'applicazione del comando e l'apertura dell'interruttore.
- L'**errore di pedistallo** è la variazione di tensione di uscita dovuta all'iniezione di cariche del segnale di comando in  $C_m$ .
- Il **tempo di assetto** è il tempo necessario alla tensione di uscita a rientrare in una determinata fascia d'errore (dipende dalla precisione richiesta al S/H).

DIEET

Università di Palermo

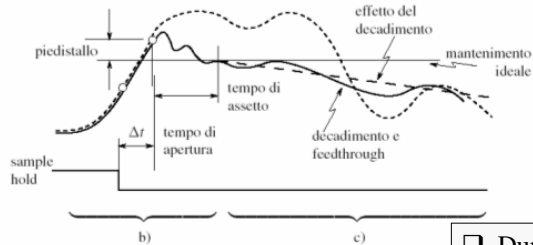
Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

20

## CIRCUITI DI SAMPLE/HOLD

### Errori in fase di hold



- ❑ Durante la fase di hold, si ha un **decadimento** della tensione di uscita per la perdita di carica di  $C_m$  (perdite del dielettrico, correnti di dispersione attraverso l'interruttore).
- ❑ **Feedthrough** – passaggio di una parte del segnale d'ingresso all'uscita a causa di un non perfetto isolamento.

DIEET

Università di Palermo

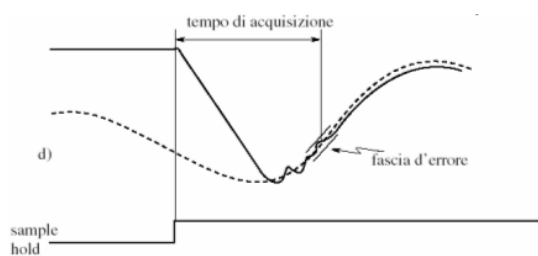
Elettronica digitale II

Giuseppe Caruso

21

## CIRCUITI DI SAMPLE/HOLD

### Errori nel passaggio da hold a sample



Il **tempo di acquisizione** è il tempo che intercorre dal comando di sample a quando l'uscita si porta entro una fascia di errore assegnata attorno al valore di regime.

DIEET

Università di Palermo

Elettronica digitale II

Giuseppe Caruso

22

## CONVERTITORI ANALOGICO-DIGITALE (ADC)



DIEET

Università di Palermo

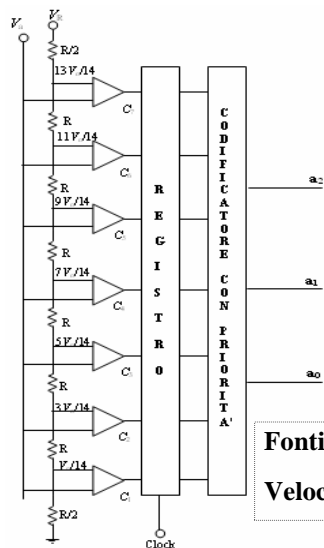
Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

23

## CONVERTITORI ANALOGICO-DIGITALE (ADC)

### Convertitore A/D FLASH



CODIFICATORE CON PRIORITA'

$C_7$	$C_6$	$C_5$	$C_4$	$C_3$	$C_2$	$C_1$	$a_2$	$a_1$	$a_0$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
0	0	0	0	0	1	x	0	1	0
0	0	0	0	1	x	x	0	1	1
0	0	0	1	x	x	x	1	0	0
0	0	1	x	x	x	x	1	0	1
0	1	x	x	x	x	x	1	1	0
1	x	x	x	x	x	x	1	1	1

$x \in \{0,1\}$

Fonti di errori: soglie di riferimento e comparatori.

Velocità di conversione:  $10^8 \div 10^9$  conversioni/secondo

DIEET

Università di Palermo

Electronica digitale II

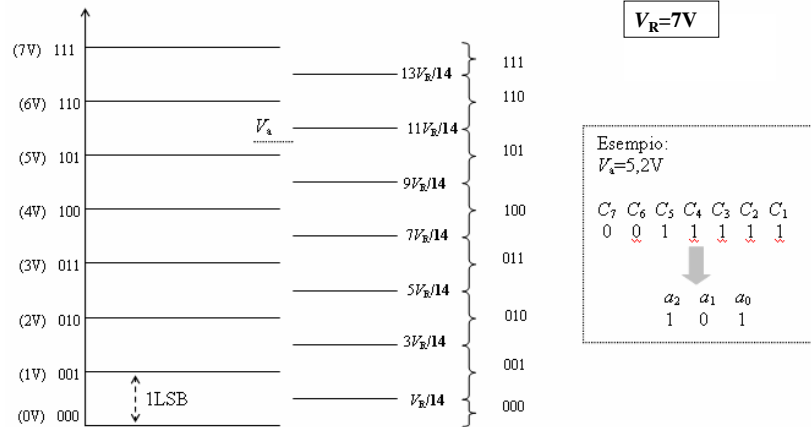
Giuseppe Caruso

24

## CONVERTITORI ANALOGICO-DIGITALE (ADC)

### Convertitore A/D FLASH

Esempio:



DIEET

Università di Palermo

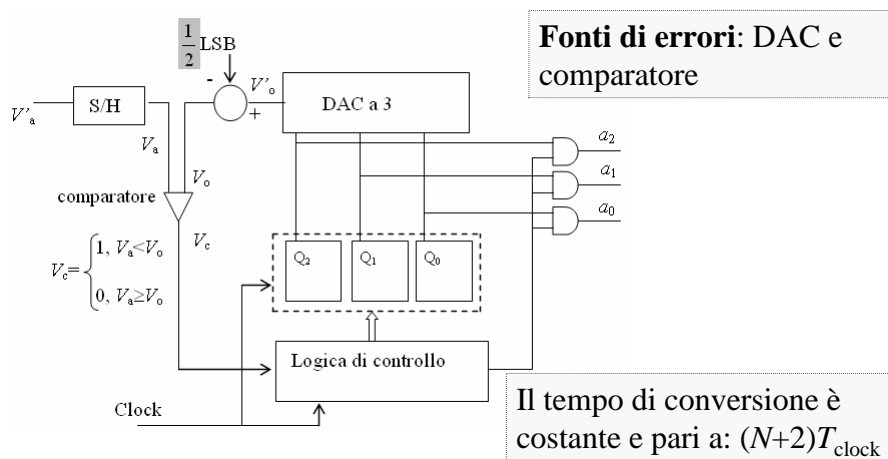
Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

25

## CONVERTITORI ANALOGICO-DIGITALE (ADC)

### Convertitore ADC ad approssimazioni successive



DIEET

Università di Palermo

Electronica digitale II

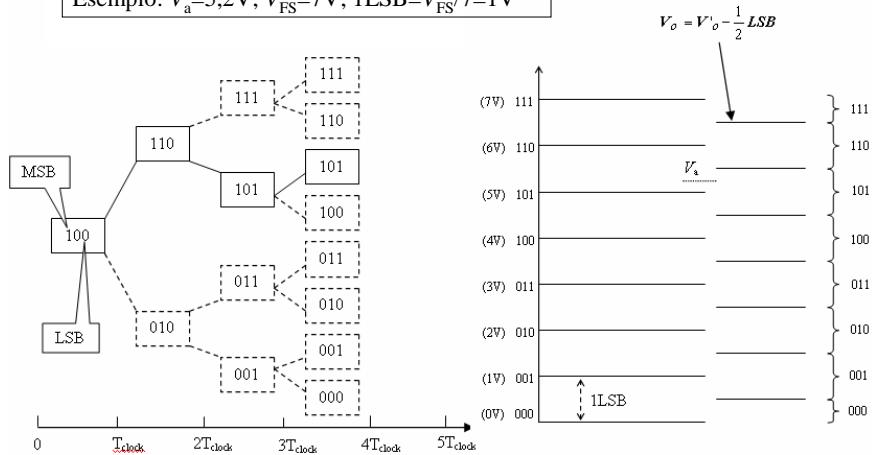
Giuseppe Caruso

26

## CONVERTITORI ANALOGICO-DIGITALE (ADC)

### Convertitore ADC ad approssimazioni successive

Esempio:  $V_a=5,2V$ ;  $V_{FS}=7V$ ;  $1LSB=V_{FS}/7=1V$



DIEET

Università di Palermo

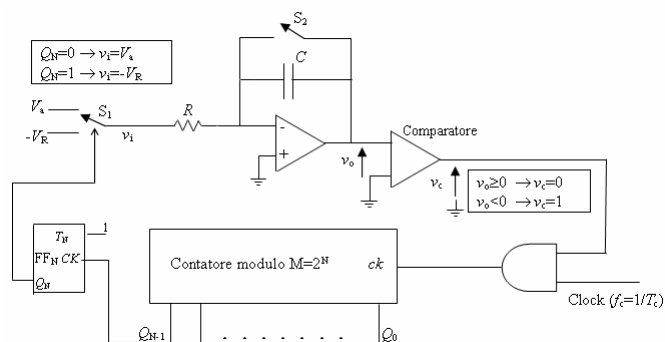
Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

27

## CONVERTITORI ANALOGICO-DIGITALE (ADC)

### Convertitore a doppia rampa



- Il tempo di conversione dipende da  $V_a$
- Conversioni accurate con risoluzione  $> 20$  bit
- E' utilizzato nei sistemi di acquisizione dati di alta precisione e negli strumenti di misura

DIEET

Università di Palermo

Electronica digitale II

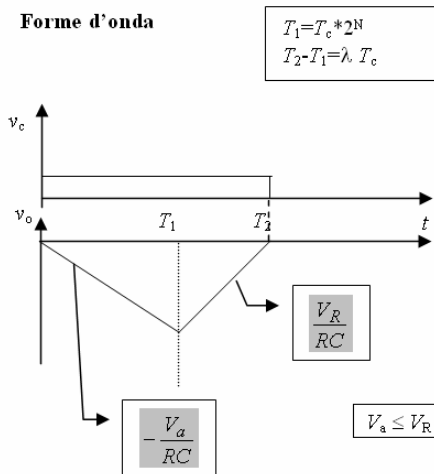
Giuseppe Caruso

28

## CONVERTITORI ANALOGICO-DIGITALE (ADC)

### Convertitore a doppia rampa

Forme d'onda



$$v_o(T_2) = -\frac{1}{RC} \int_0^{T_2} v_i dt = 0$$

$$\lambda = \frac{2^N}{V_R} V_a$$

Se  $V_a$  varia durante  $T_1$ :

$$\lambda = \frac{2^N}{V_R} \langle V_a \rangle$$

DIEET

Università di Palermo

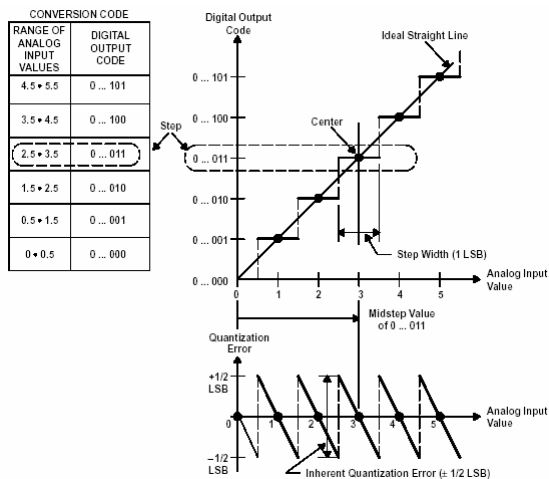
Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

29

## CONVERTITORI ANALOGICO-DIGITALE (ADC)

### CARATTERISTICA DI TRASFERIMENTO IDEALE



- Aumentando il numero dei bit, la gradinata tende ad una retta.
- Il punto intermedio di ogni gradino corrisponde ad un punto di questa retta.
- La larghezza di un gradino è definito come 1LSB (un last significant bit)
- L'errore di quantizzazione massimo è pari a 1/2LSB

DIEET

Università di Palermo

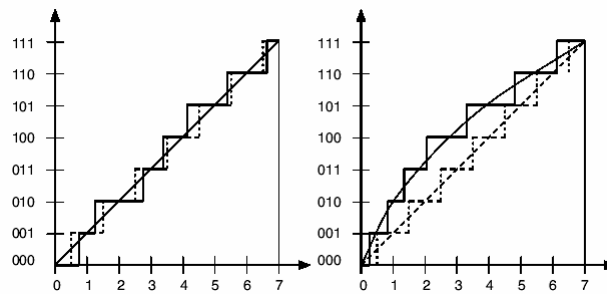
Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

30

## CONVERTITORI ANALOGICO-DIGITALE (ADC)

### CARATTERISTICHE DI TRASFERIMENTO REALI



**DIET**

Università di Palermo

*Elettronica digitale II*

Giuseppe Caruso

31

## CONVERTITORI ANALOGICO-DIGITALE (ADC)

### ERRORI STATICI

- Errore di offset
- Errore di guadagno
- Nonlinearità integrale
- Nonlinearità differenziale

Ognuno di questi errori può essere espresso in unità di LSB o come percentuale del fondo scala (FSR: full scale range)

Esempio: un errore di 1LSB per un convertitore ad 8 bit corrisponde a 0.2% FSR.

**DIET**

Università di Palermo

*Elettronica digitale II*

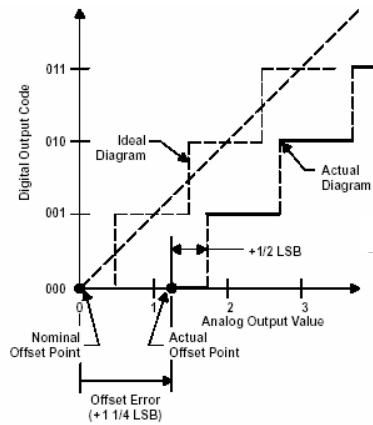
Giuseppe Caruso

32



## CONVERTITORI ANALOGICO-DIGITALE (ADC)

### ERRORE DI OFFSET



L'errore di offset è definito come la differenza tra i punti di offset nominale e reale. Per un ADC, il punto di offset è il punto medio dell'intervallo corrispondente all'uscita zero.

L'errore di offset è recuperabile mediante opportuna taratura.

DIEET

Università di Palermo

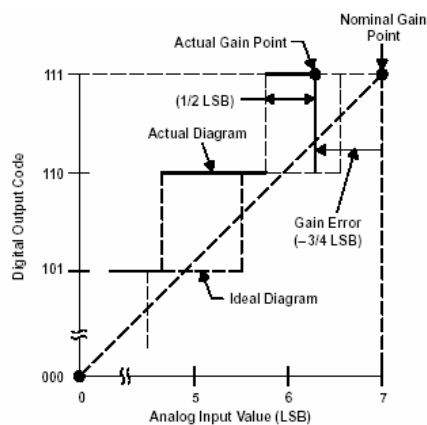
Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

33

## CONVERTITORI ANALOGICO-DIGITALE (ADC)

### ERRORE DI GUADAGNO



L'errore di guadagno è definito come la differenza tra i punti di guadagno nominale e reale sulla caratteristica di trasferimento dopo che l'errore di offset è stato compensato.

Anche quest'errore può essere recuperato mediante opportuna taratura.

DIEET

Università di Palermo

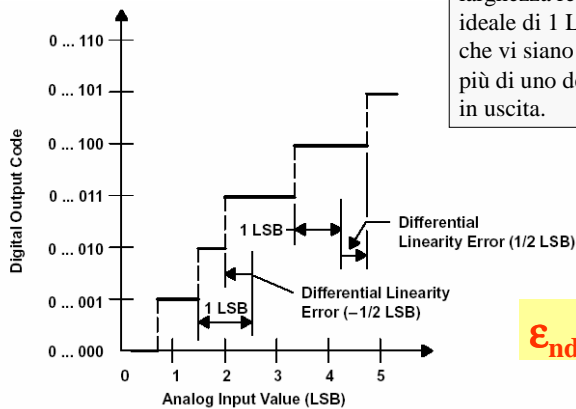
Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

34

## CONVERTITORI ANALOGICO-DIGITALE (ADC)

### NONLINEARITA' DIFFERENZIALE



L'errore di non linearità differenziale (o linearità differenziale) è la differenza tra la larghezza reale di un gradino e il valore ideale di 1 LSB. In un ADC c'è la possibilità che vi siano codici mancanti, cioè che uno o più di uno dei  $2^N$  codici non si presenti mai in uscita.

$$\epsilon_{nd} = A_{d, \text{reale}} - A_{d, \text{ideale}}$$

DIEET

Università di Palermo

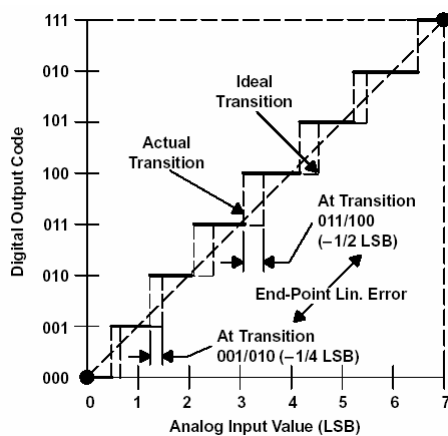
Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

35

## CONVERTITORI ANALOGICO-DIGITALE (ADC)

### NONLINEARITA' INTEGRALE



L'errore di non linearità integrale (chiamato anche errore di linearità) è la deviazione dei valori della caratteristica reale da una linea retta. Tale linea può essere la migliore linea che minimizza queste deviazioni o una linea che collega i punti estremi della caratteristica dopo aver compensato gli errori di offset e di guadagno. Il secondo metodo è chiamato *end-point linearity* ed è la definizione normalmente adottata poiché è più semplice da verificare.

Le deviazioni sono misurate in corrispondenza alle transizioni da un gradino all'altro.

DIEET

Università di Palermo

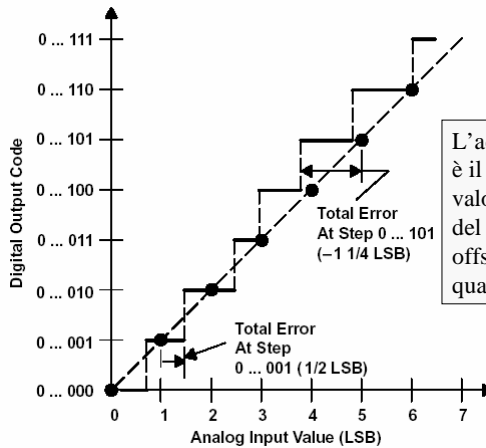
Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

36

## CONVERTITORI ANALOGICO-DIGITALE (ADC)

### ACCURATEZZA ASSOLUTA O NON LINEARITÀ ASSOLUTA



L'accuratezza assoluta o non linearità assoluta è il valore massimo della differenza tra un valore analogico ed il valore ideale al centro del gradino. Quest'errore include gli errori di offset, di guadagno, di linearità e di quantizzazione

DIEET

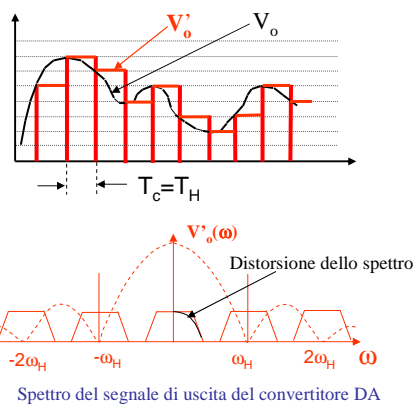
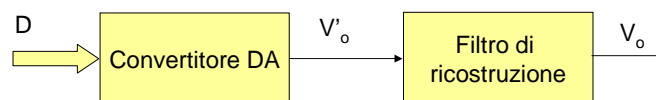
Università di Palermo

Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

37

## CONVERTITORI DIGITALE-ANALOGICO (DAC)



Il **convertitore DA** genera un segnale che ha l'aspetto di un segnale campionato con impulsi di durata uguale a quella del periodo di campionamento

Il **filtro di ricostruzione** isola lo spettro del segnale in banda base e corregge la distorsione dovuta al fatto che il segnale è campionato con impulsi di durata finita.

$T_c$ : periodo di campionamento  
 $T_H$ : durata dell'impulso di campionamento

DIEET

Università di Palermo

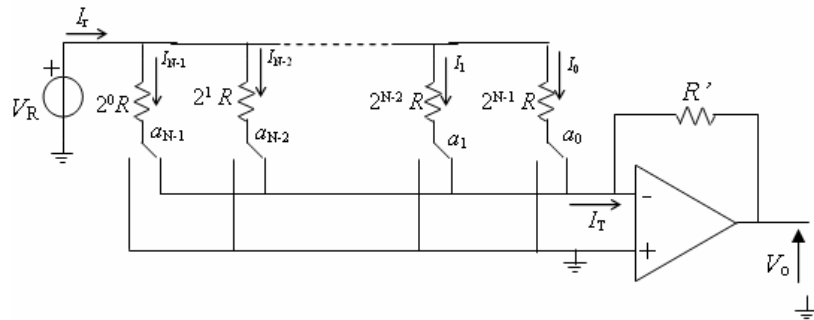
Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

38

## CONVERTITORI DIGITALE-ANALOGICO (DAC)

### DAC con resistori pesati realizzato con deviatori di corrente



$$V_o = -I_T R' = -\frac{R'}{R 2^{N-1}} V_R (2^{N-1} a_{N-1} + \dots + 2^0 a_0)$$

DIEET

Università di Palermo

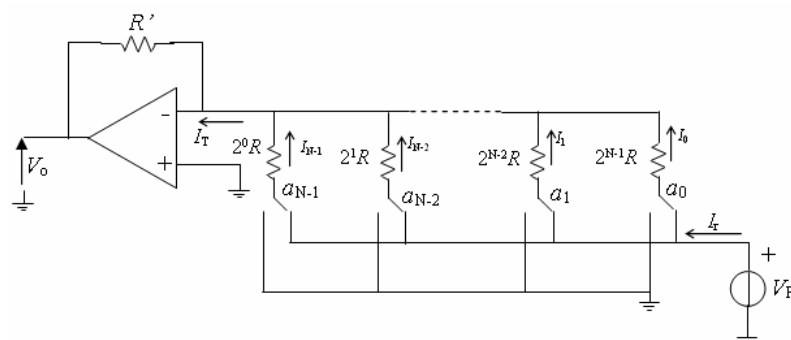
Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

39

## CONVERTITORI DIGITALE-ANALOGICO (DAC)

### DAC con resistori pesati realizzato con deviatori di tensione



$$V_o = -I_T R' = -\frac{R'}{R 2^{N-1}} V_R (2^{N-1} a_{N-1} + \dots + 2^0 a_0)$$

DIEET

Università di Palermo

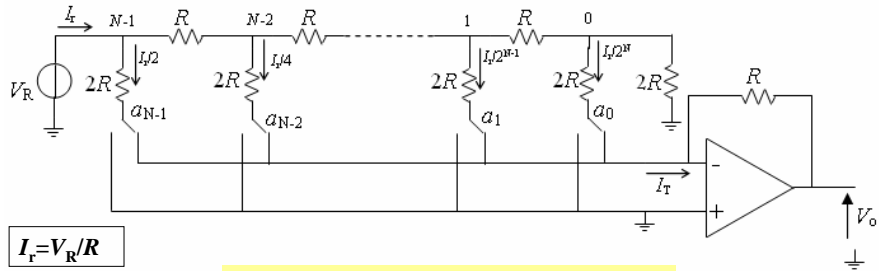
Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

40

## CONVERTITORI DIGITALE-ANALOGICO (DAC)

### DAC con rete R-2R realizzato con deviatori di corrente



$$I_r = V_R / R$$

$$I_T = \frac{I_r}{2} a_{N-1} + \frac{I_r}{4} a_{N-2} + \dots + \frac{I_r}{2^{N-1}} a_1 + \frac{I_r}{2^N} a_0$$

$$V_o = -R I_T = -\frac{V_R}{2^N} (a_{N-1} 2^{N-1} + \dots + a_0 2^0)$$

DIEET

Università di Palermo

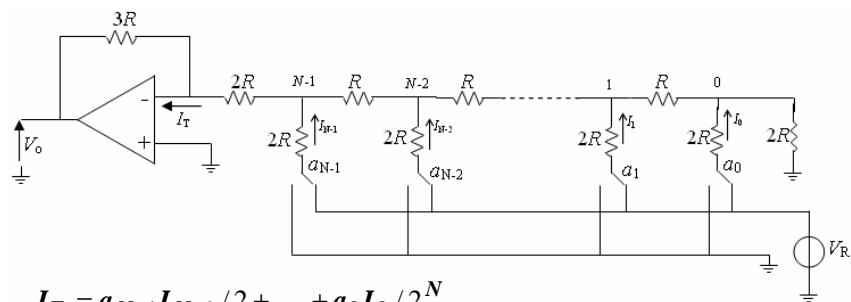
Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

41

## CONVERTITORI DIGITALE-ANALOGICO (DAC)

### DAC con rete R-2R realizzato con deviatori di tensione



$$I_T = a_{N-1} I_{N-1} / 2 + \dots + a_0 I_0 / 2^N$$

$$I_{N-1} = I_{N-2} = \dots = I_0 = \frac{V_R}{3R}$$

$$V_o = -\frac{V_R}{2^N} (a_{N-1} 2^{N-1} + \dots + a_0 2^0)$$

DIEET

Università di Palermo

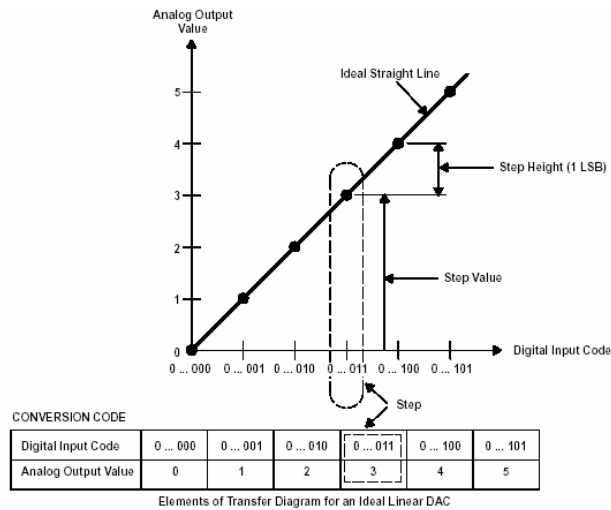
Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

42

## CONVERTITORI DIGITALE-ANALOGICO (DAC)

### Caratteristica di trasferimento ideale di un DAC



**DIET**

Università di Palermo

*Elettronica digitale II*

Giuseppe Caruso

43

## CONVERTITORI DIGITALE-ANALOGICO (DAC)

### Errori statici

- Errore di offset
- Errore di guadagno
- Nonlinearità differenziale
- Nonlinearità integrale
- Non linearità assoluta

**DIET**

Università di Palermo

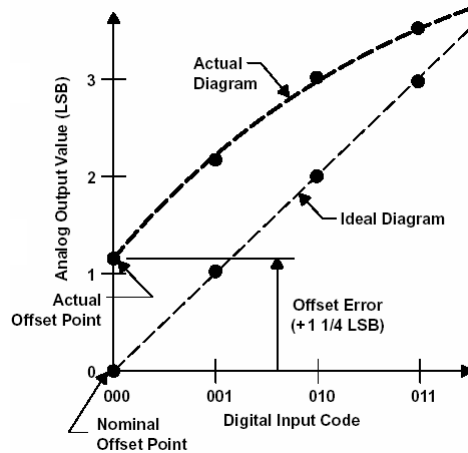
*Elettronica digitale II*

Giuseppe Caruso

44

## CONVERTITORI DIGITALE-ANALOGICO (DAC)

### Errori di offset



L'errore di offset è il valore di uscita analogico quando l'ingresso digitale è zero.

Quest'errore influenza nello stesso modo tutti i codici e può essere generalmente compensato.

DIEET

Università di Palermo

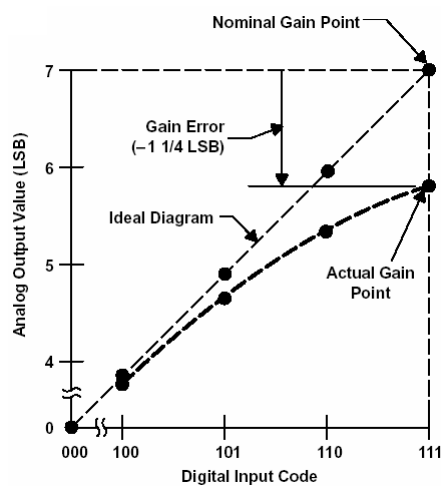
Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

45

## CONVERTITORI DIGITALE-ANALOGICO (DAC)

### Errori di guadagno



L'errore di guadagno è la differenza tra i punti di guadagno nominale e reale quando l'ingresso digitale è il fondo scala e l'errore di offset è stato compensato.

Quest'errore generalmente può essere corretto.

DIEET

Università di Palermo

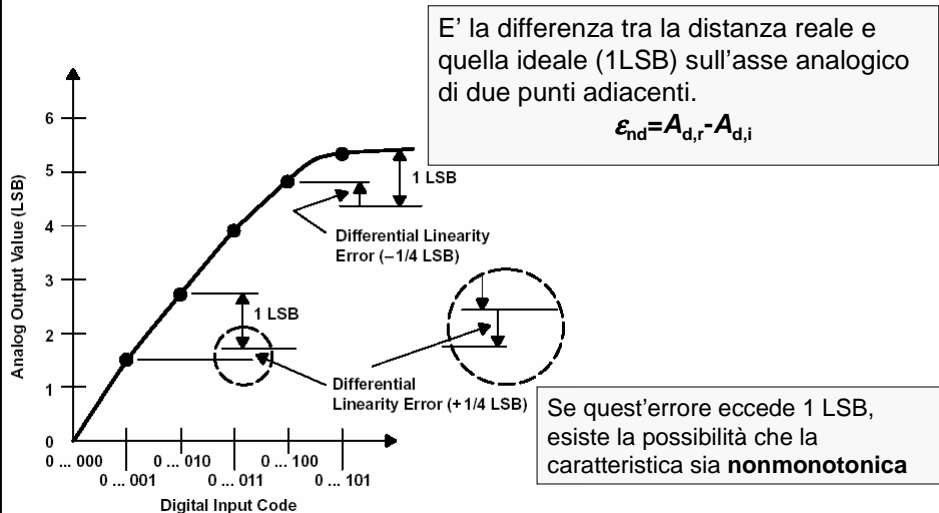
Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

46

## CONVERTITORI DIGITALE-ANALOGICO (DAC)

### Errore di non linearità differenziale (o linearità differenziale)



DIEET

Università di Palermo

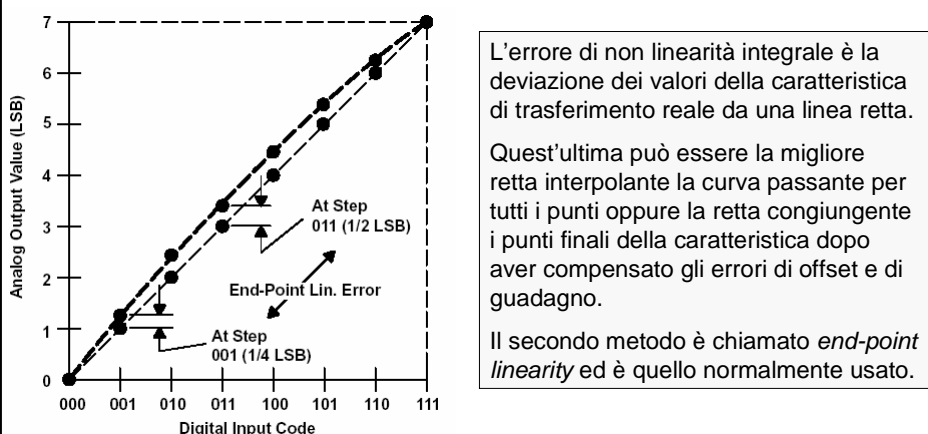
Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

47

## CONVERTITORI DIGITALE-ANALOGICO (DAC)

### Errore di non linearità integrale (o errore di linearità)



DIEET

Università di Palermo

Electronica digitale II

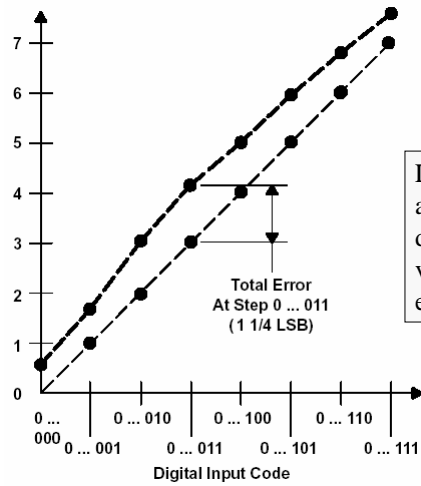
Giuseppe Caruso

48



## CONVERTITORI DIGITALE-ANALOGICO (DAC)

### Accuratezza assoluta o non linearità assoluta



L'accuratezza assoluta o non linearità assoluta è il valore massimo della differenza tra un valore analogico ed il valore ideale. Quest'errore include gli errori di offset, di guadagno e di linearità.

DIET

Università di Palermo

Electronica digitale II

Giuseppe Caruso

49