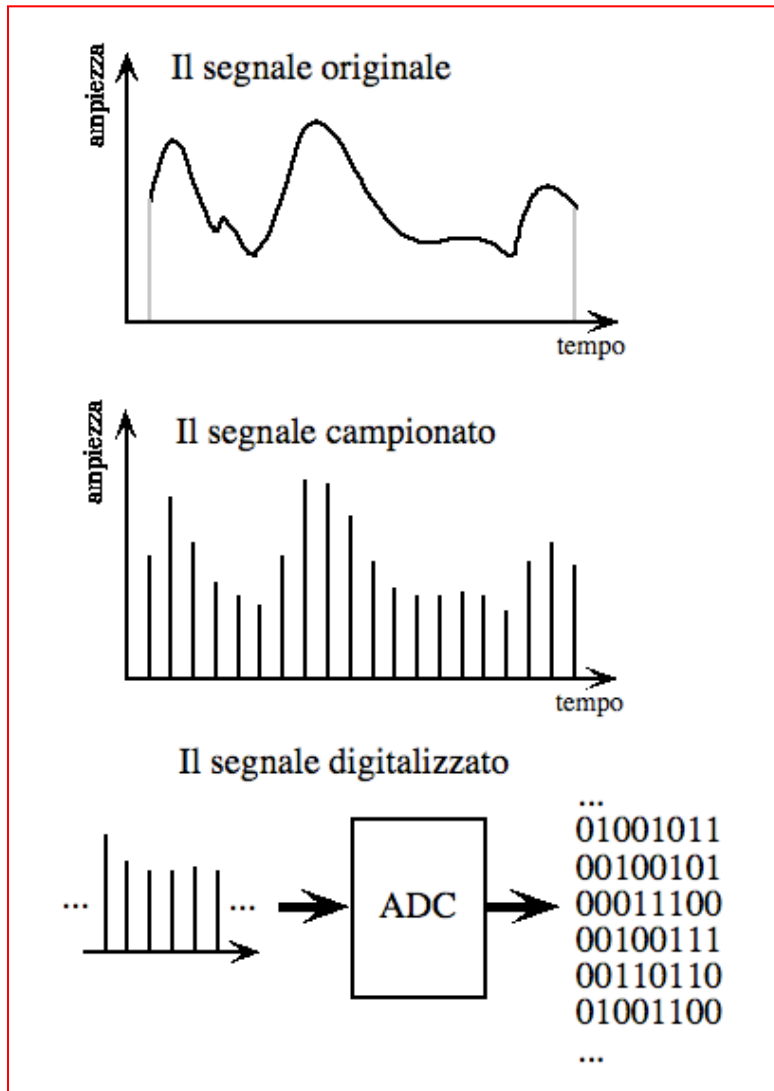


Strumentazione di laboratorio

Edoardo Milotti

Corso di Fondamenti Fisici di Tecnologia Moderna

ADC



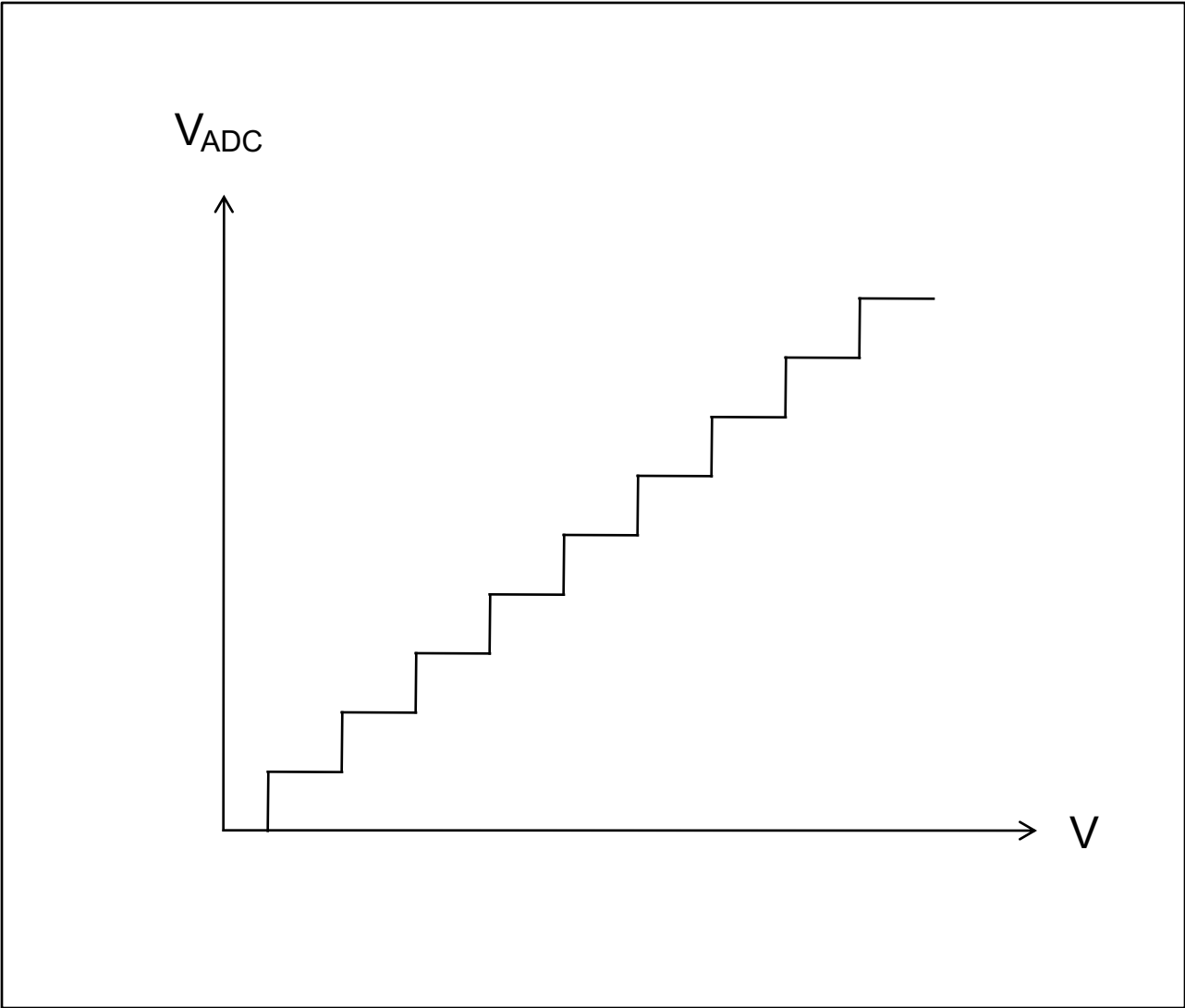
CAMPIONAMENTO
(teorema del campionamento)

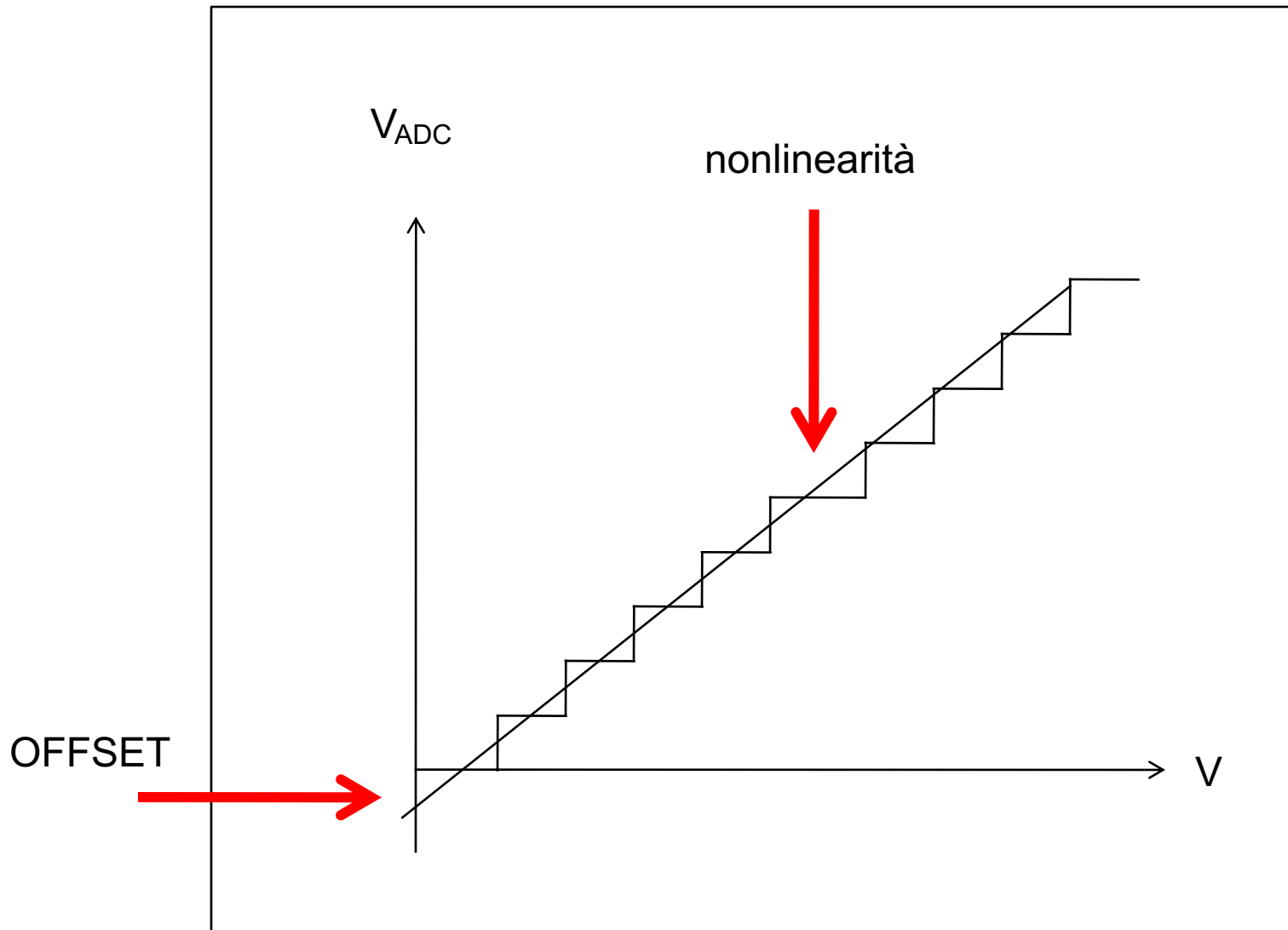
DIGITALIZZAZIONE
(fluttuazioni associate alla quantizzazione del segnale)

Esempio:

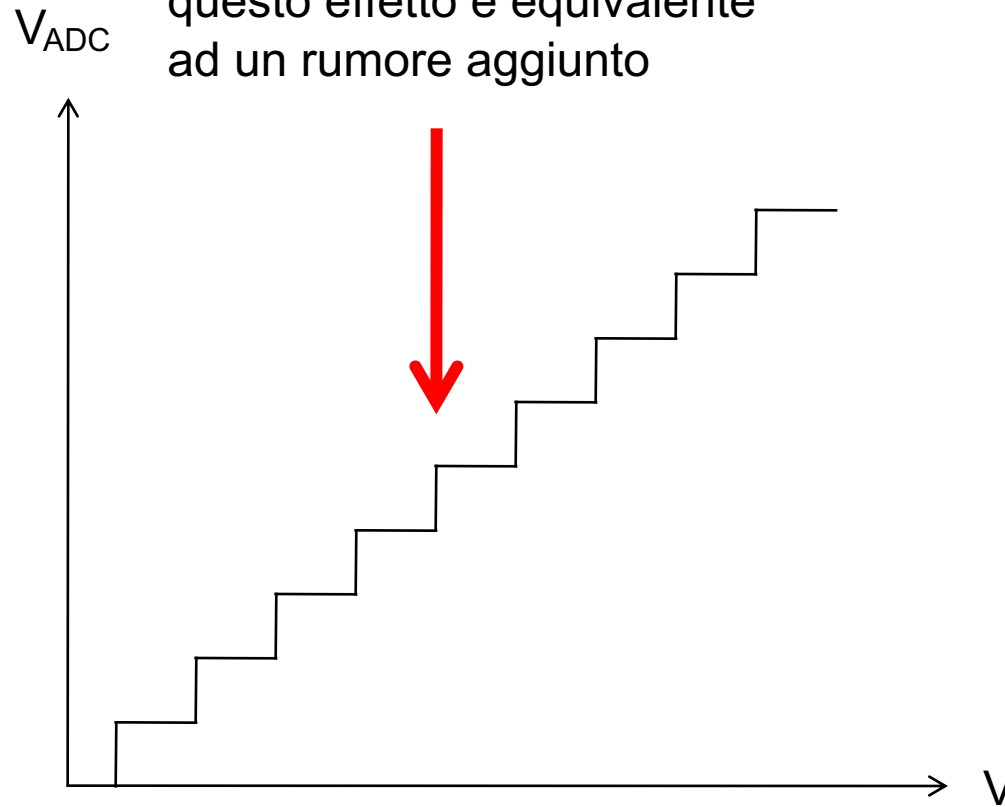
un ADC a 10 bit che campiona una tensione di ingresso compresa tra 0 V e 10 V suddivide l'intervallo di tensione 0 V - 10 V in 1024 sottointervalli, ciascuno di circa 9.77 mV

tensione massima (V)	codice
0.00488281	0000000000
0.0146484	0000000001
0.0244141	0000000010
0.0341797	0000000011
0.0439453	0000000100
0.0537109	0000000101
0.0634766	0000000110
0.0732422	0000000111
0.0830078	0000001000
0.0927734	0000001001
...	...





la tensione viene quantizzata
questo effetto è equivalente
ad un rumore aggiunto



Deviazione standard di una distribuzione uniforme compresa tra a e b

$$(b - a) / \sqrt{12}$$

Allora nel caso della quantizzazione in un range di tensione dato

$$\sigma_Q = \frac{2^{-M} \Delta V}{\sqrt{12}}$$

Un segnale deterministico

$$\frac{\Delta V}{2} \sin \omega t$$

che copre interamente lo stesso range ha la fluttuazione quadratica media

$$\frac{(\Delta V/2)^2}{2} = \frac{\Delta V^2}{8}$$

Il rapporto tra le due fluttuazioni (deterministica/rumore) è detto **range dinamico**

$$\frac{\Delta V^2}{8} / \frac{2^{-2M} \Delta V^2}{12} = 3 \cdot 2^{2M-1}$$

Range dinamico

$$\frac{\Delta V^2}{8} \bigg/ \frac{2^{-2M} \Delta V^2}{12} = 3 \cdot 2^{2M-1}$$

di solito si esprime in dB

$$DR = 10 \log_{10} (3 \cdot 2^{2M-1}) = 10 \log_{10} (3/2) + 20M \log_{10} 2 = 1.76 + 6.02M$$

se c'è anche rumore di altra origine (di solito elettronica) la definizione cambia leggermente

$$\frac{\Delta V^2}{8} \bigg/ \left(\frac{2^{-2M} \Delta V^2}{12} + \sigma_{el}^2 \right) = \frac{1}{2 \cdot 2^{-2M} / 3 + 8\sigma_{el}^2 / \Delta V^2}$$

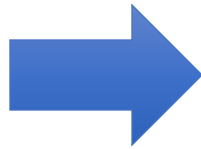
e quindi

$$DR = -10 \log_{10} \left(2 \cdot 2^{-2M} / 3 + 8\sigma_{el}^2 / \Delta V^2 \right)$$

Caso dell' analizzatore di spettro

il rumore di quantizzazione è distribuito su tutto lo spettro

$$\frac{\sigma_Q^2}{N/2} = \frac{2^{-2M} \Delta V^2}{6N}$$

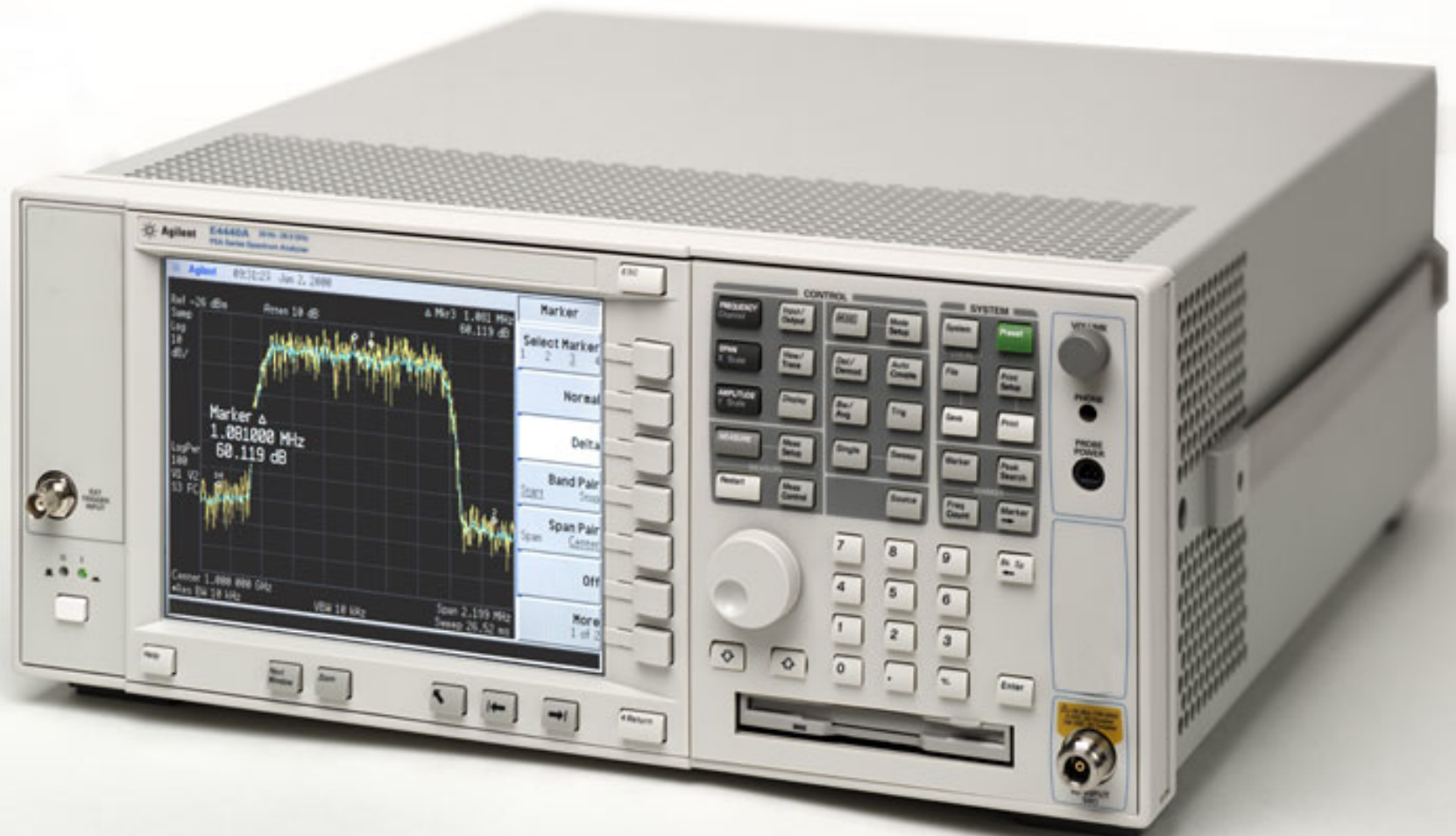


$$\frac{\Delta V^2}{8} / \frac{2^{-2M} \Delta V^2}{6N} = \frac{3}{4} \cdot 2^{2M} N$$



$$DR = 10 \log_{10} \left(\frac{3}{4} \cdot 2^{2M} N \right) = 10 \log_{10} (3/4) + 20M \log_{10} 2 + 10 \log_{10} N$$
$$\approx -1.25 + 6.02M + 10 \log_{10} N$$

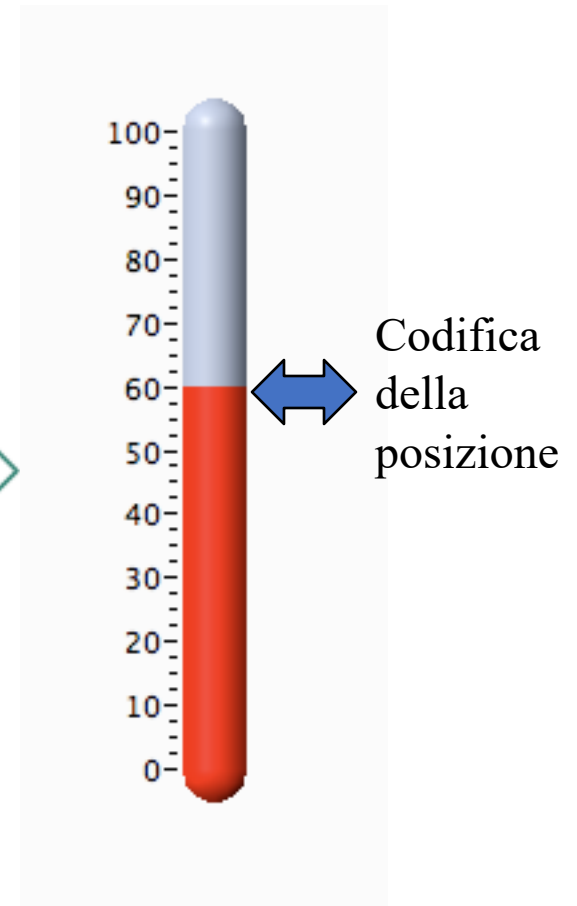
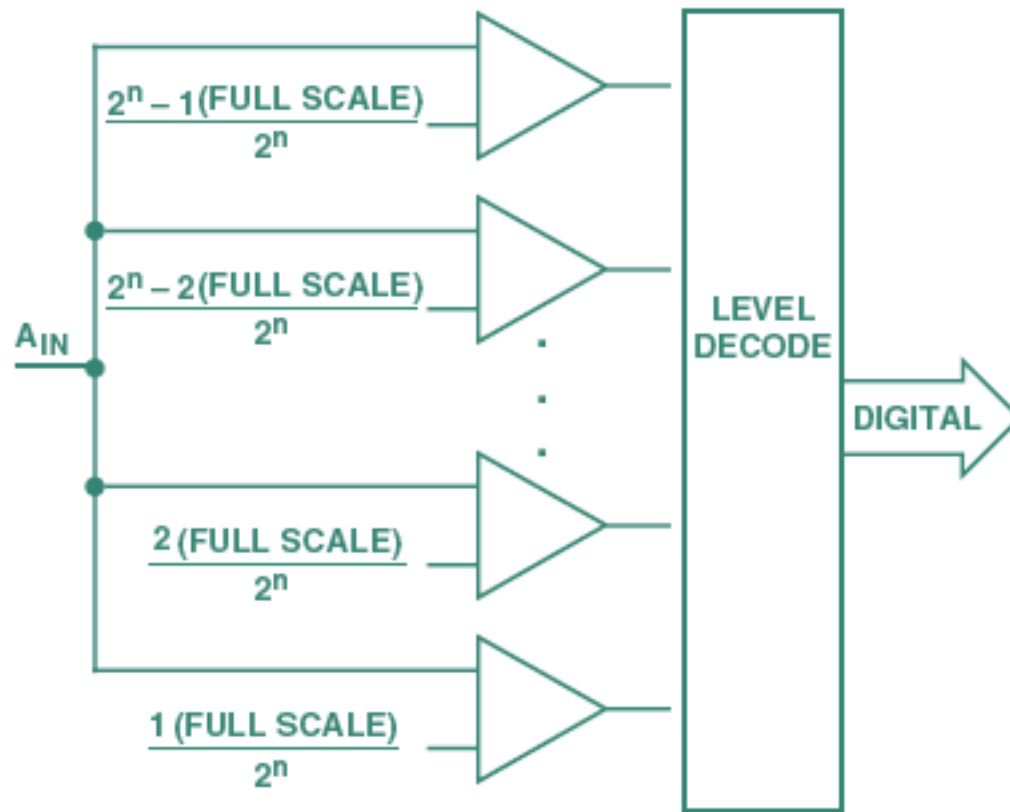
Esempio: analizzatore di spettro Agilent E4440A (3Hz-26.5GHz)



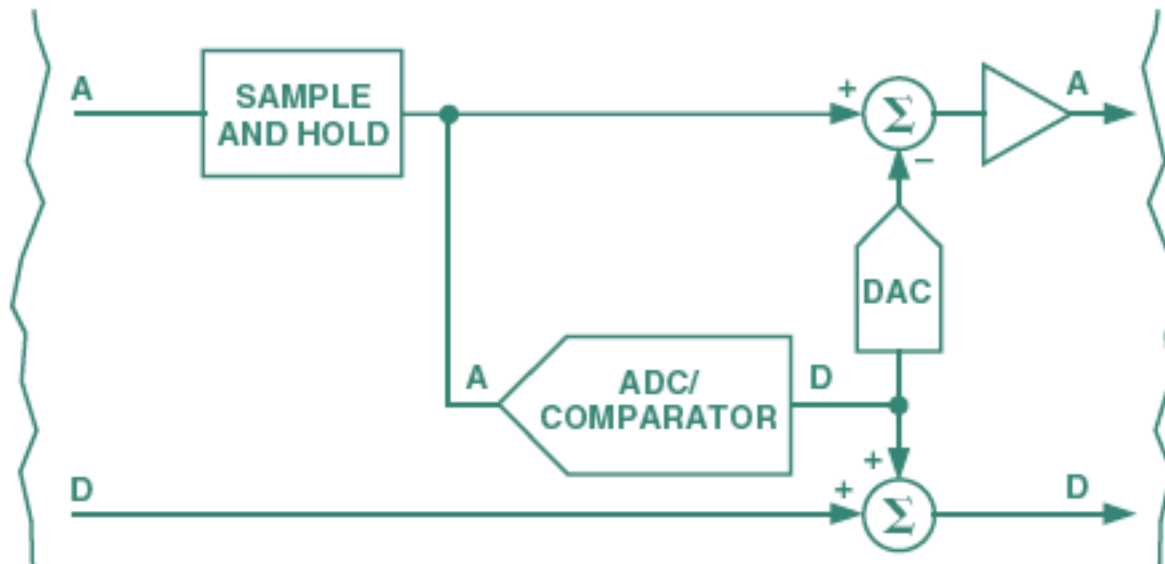
Molti tipi diversi di ADC

- Flash ADC
- Pipelined ADC
- SAR ADC
- Sigma-Delta ADC

Flash ADC

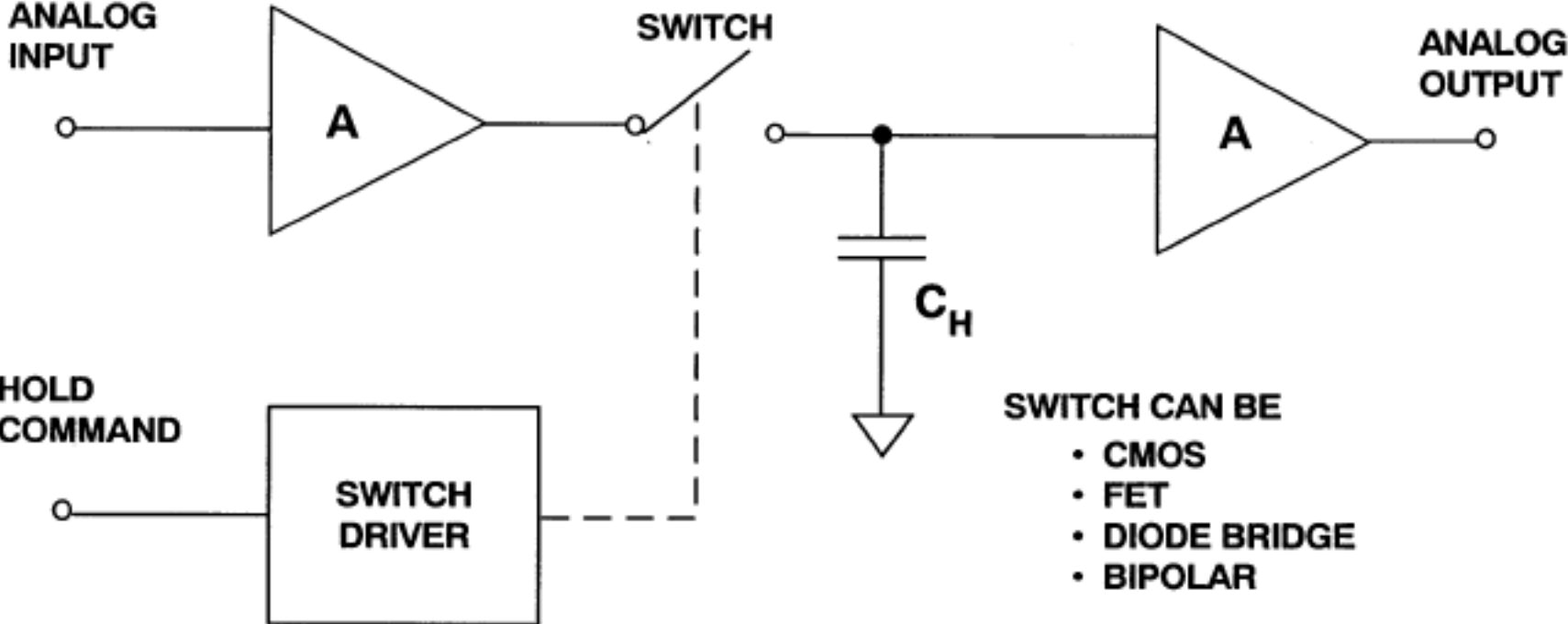


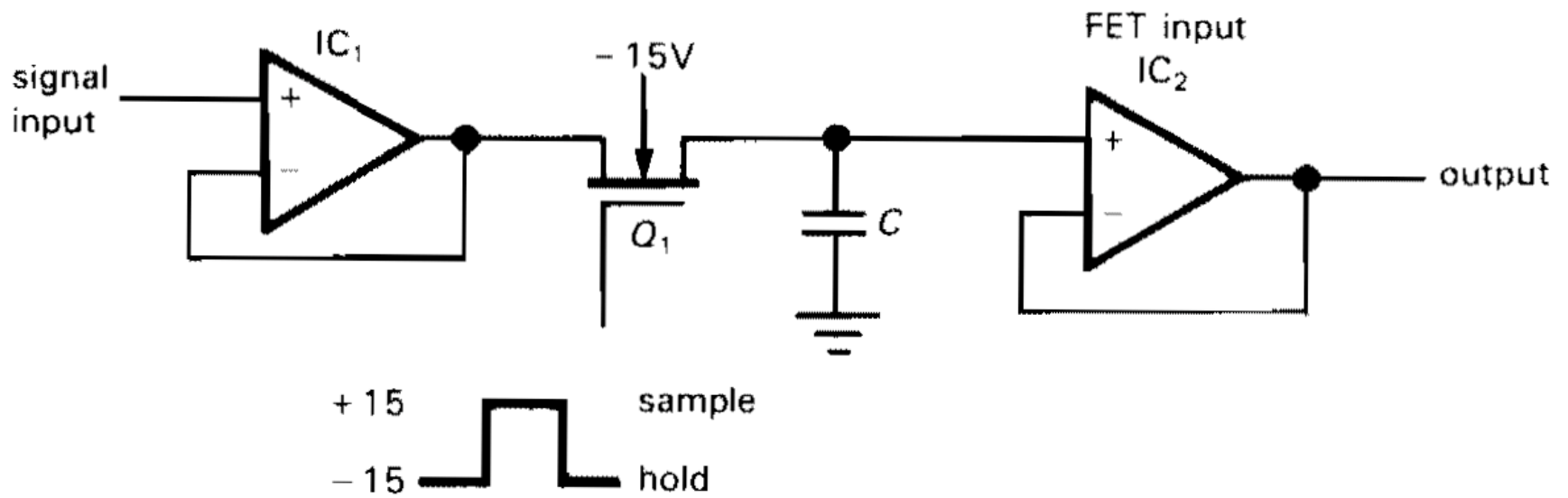
Pipelined ADC



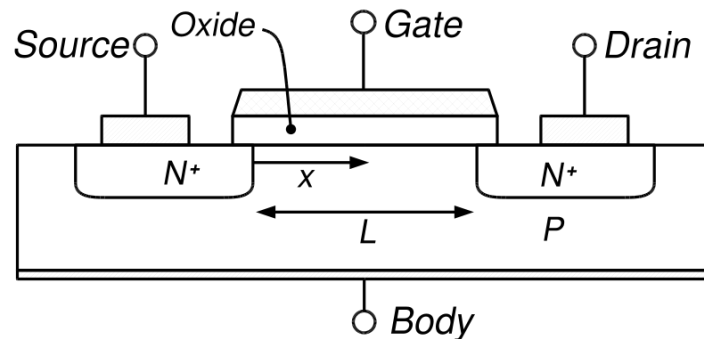
singolo stadio in una pipelined ADC architecture

Sample-and-hold





circuito sample-and-hold



schema di MOSFET

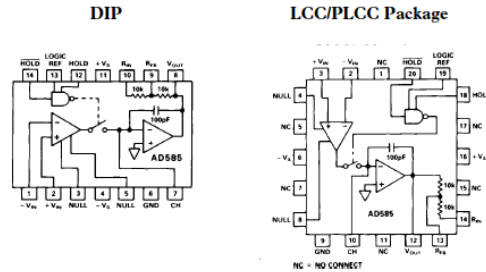
FEATURES

- 3.0 μ s Acquisition Time to $\pm 0.01\%$ max
- Low Droop Rate: 1.0 mV/ms max
- Sample/Hold Offset Step: 3 mV max
- Aperture Jitter: 0.5 ns
- Extended Temperature Range: -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$
- Internal Hold Capacitor
- Internal Application Resistors
- ± 12 V or ± 15 V Operation
- Available in Surface Mount

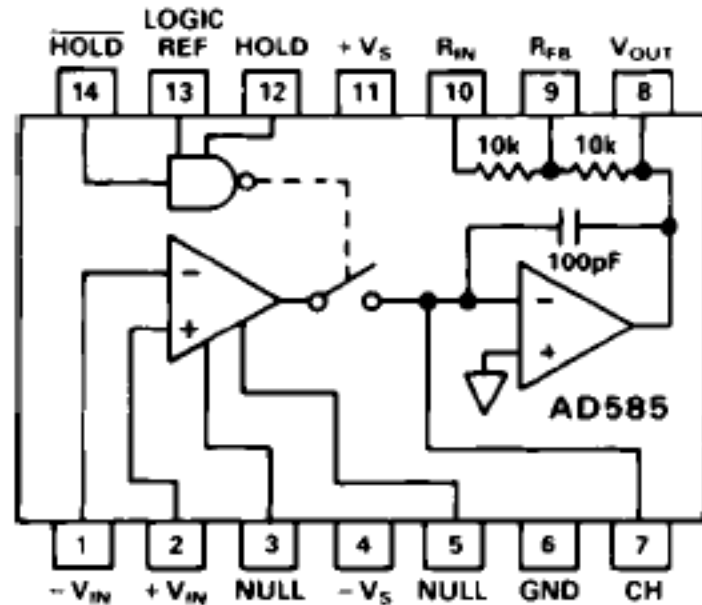
APPLICATIONS

- Data Acquisition Systems
- Data Distribution Systems
- Analog Delay & Storage
- Peak Amplitude Measurements
- MIL-STD-883 Compliant Versions Available

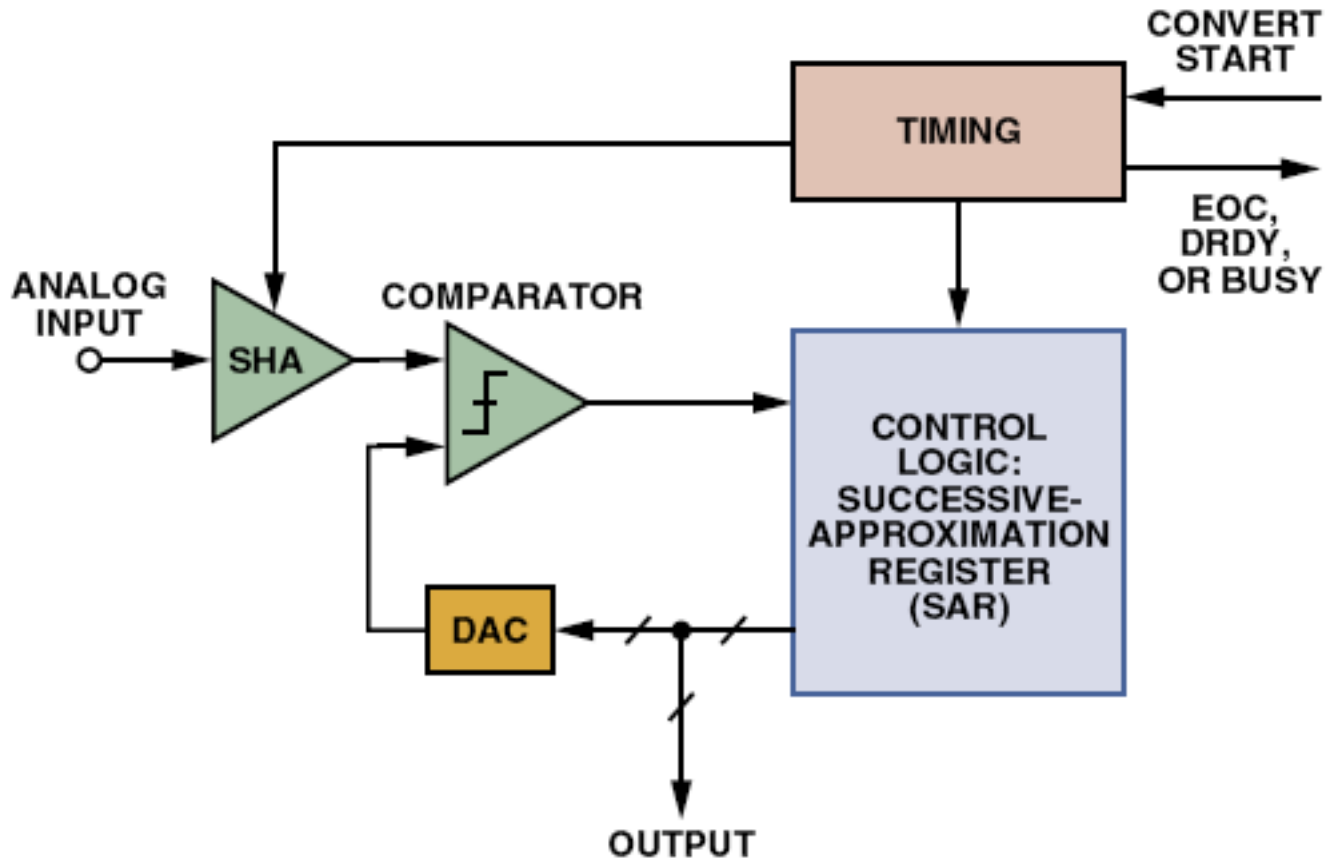
FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



**Sample-and-hold
Amplifier (SHA)**



Successive Approximations Register (SAR) ADC



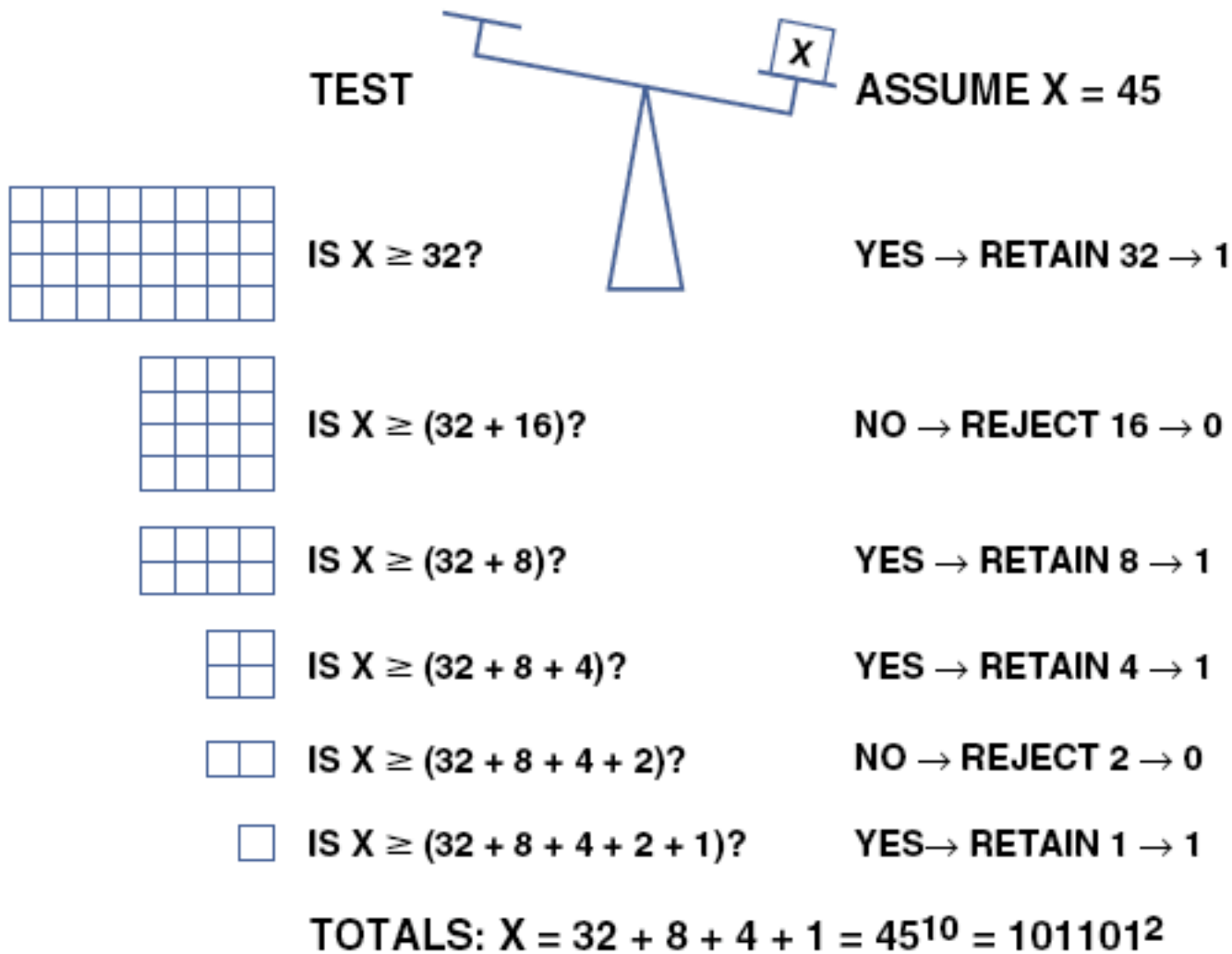


Figure 4. Successive-approximation ADC algorithm using balance scale and binary weights.

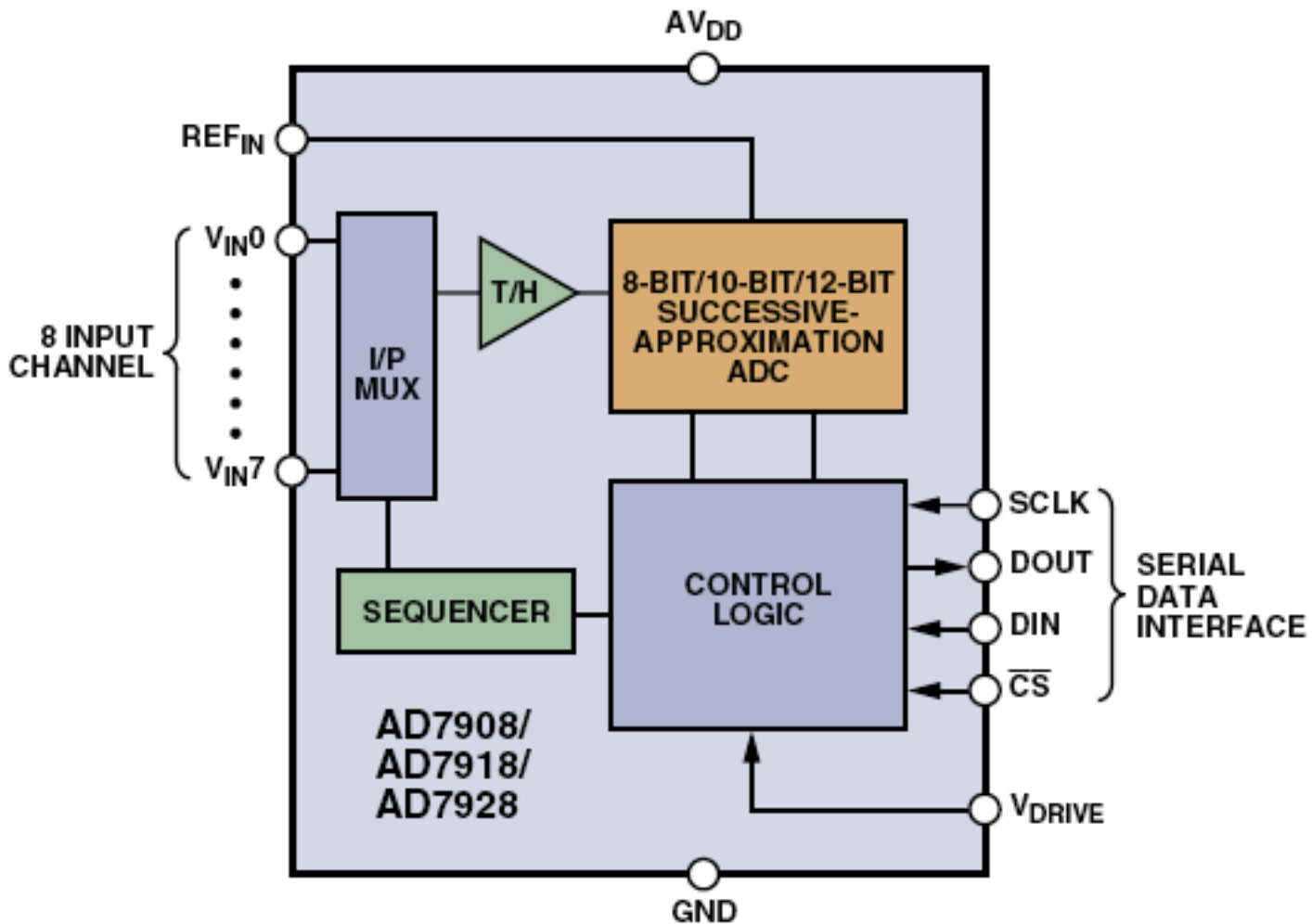
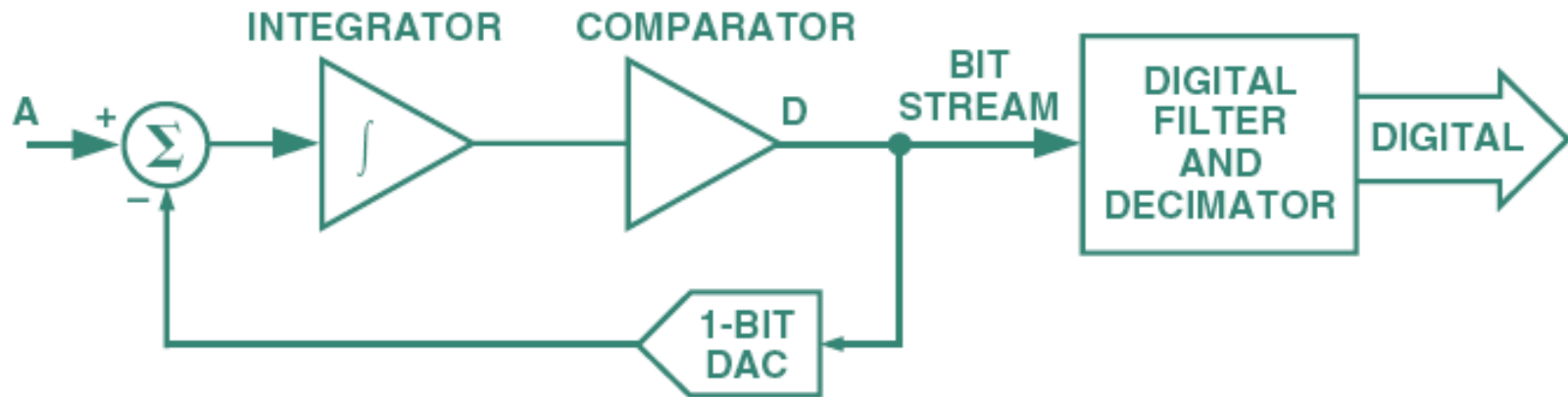


Figure 5. Functional block diagram of a modern 1-MSPS SAR ADC with 8-channel input multiplexer. Its family includes the [AD7908](#)⁵ (8 bits), [AD7918](#)⁶ (10 bits), and [AD7928](#)⁷ (12 bits).

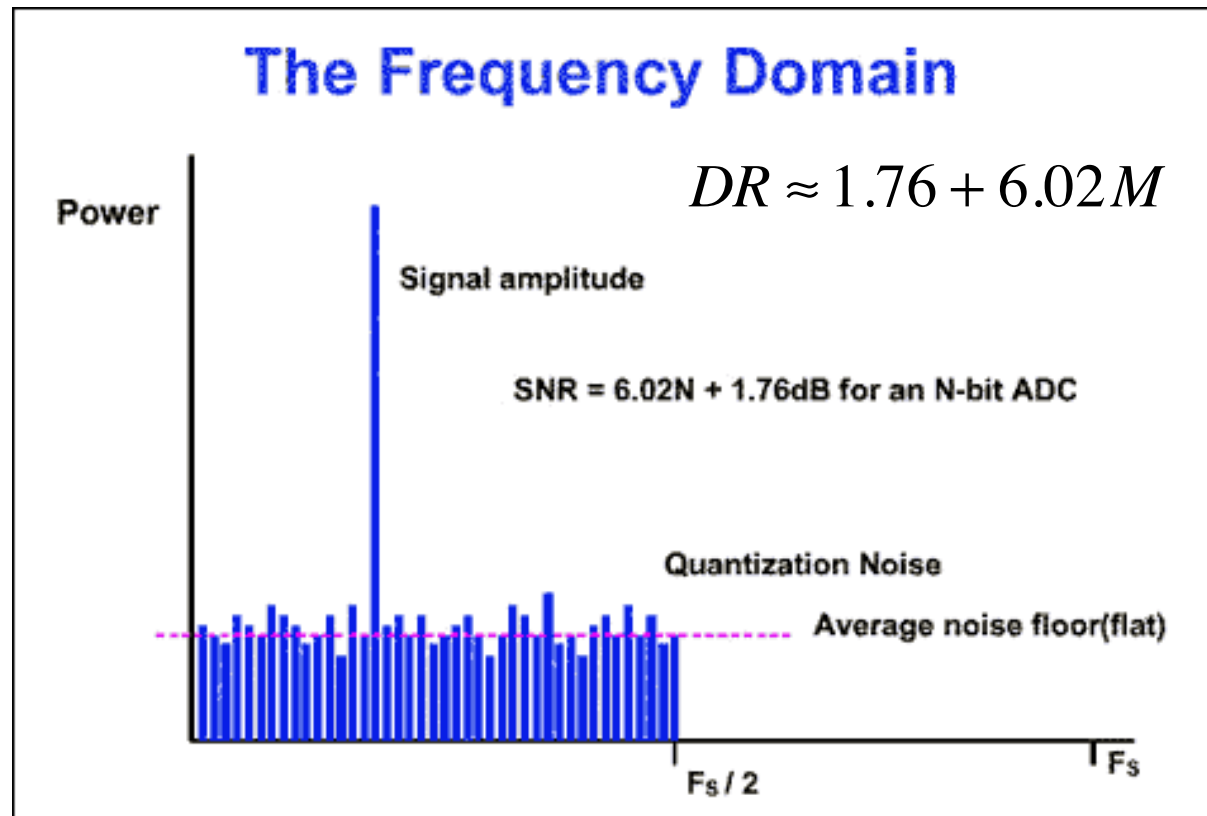
Sigma-Delta ADC



Il rumore negli ADC Sigma-Delta

(immagini dal sito web della MAXIM http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/an_pk/1870/CMP/WP-10)

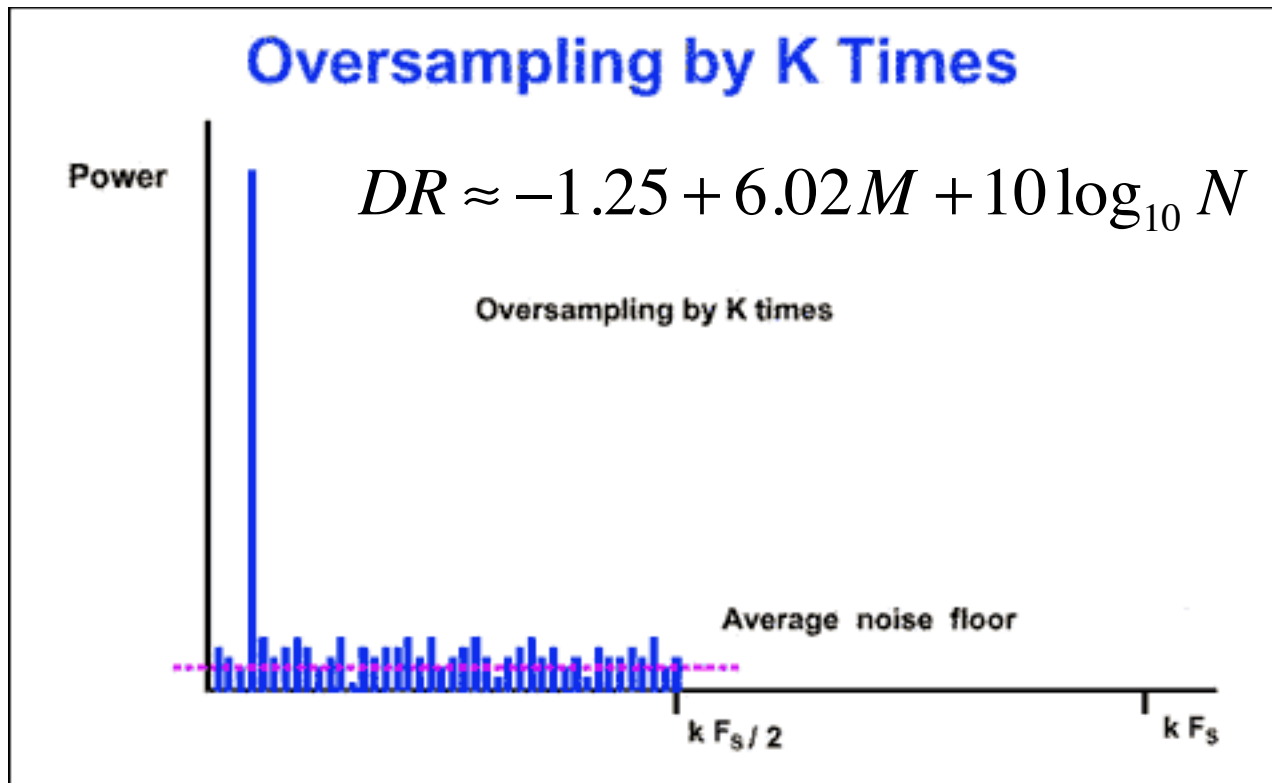
1. Spettro di rumore nel caso di un ADC che campiona a frequenza F_s



$$DR \approx -1.25 + 6.02M + 10 \log_{10} N$$

2. Utilizzo del sovracampionamento (oversampling) per aumentare il range dinamico:

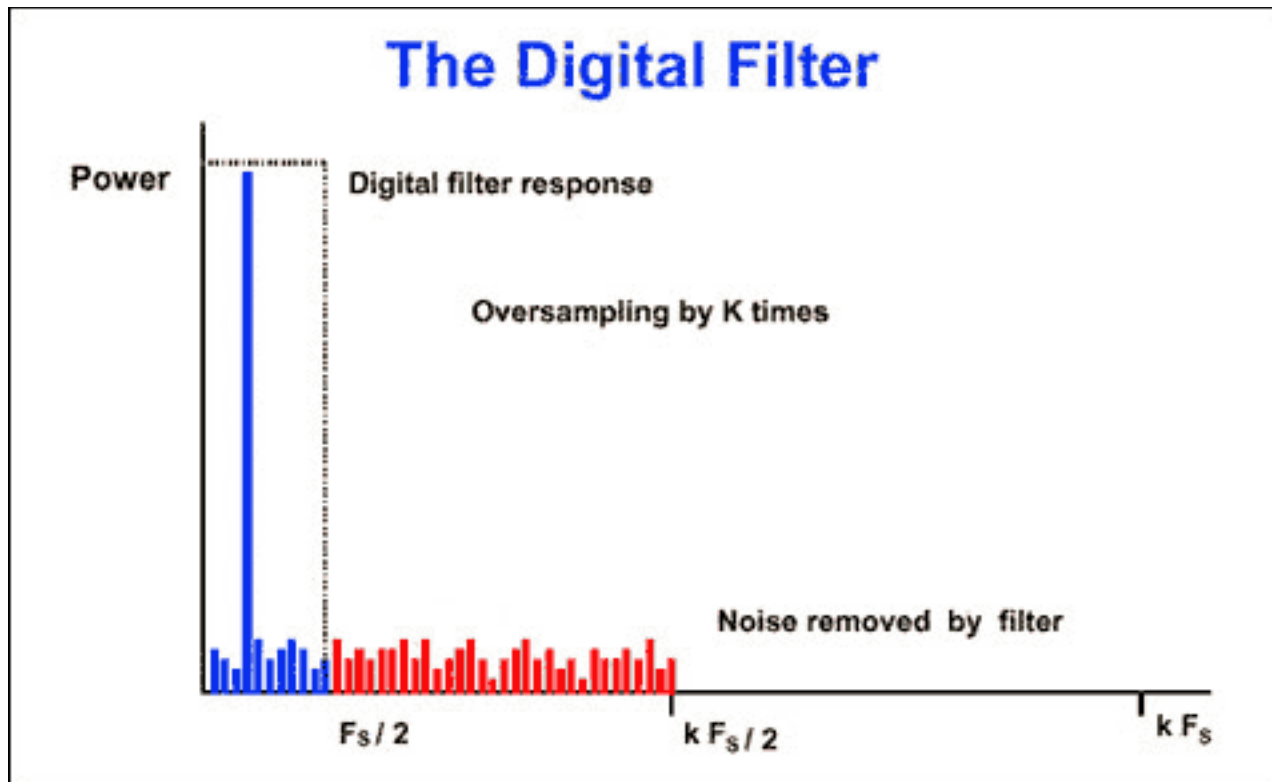
la frequenza di campionamento viene aumentata di un fattore k , e il livello di rumore si riduce dello stesso fattore



3. Il segnale sovracampionato viene filtrato e l'intervallo di frequenza si riduce di nuovo a $F_s/2$

In questo modo si guadagnano 6dB nel range dinamico per ogni fattore 4 di sovracampionamento (un bit guadagnato per ogni fattore 4)

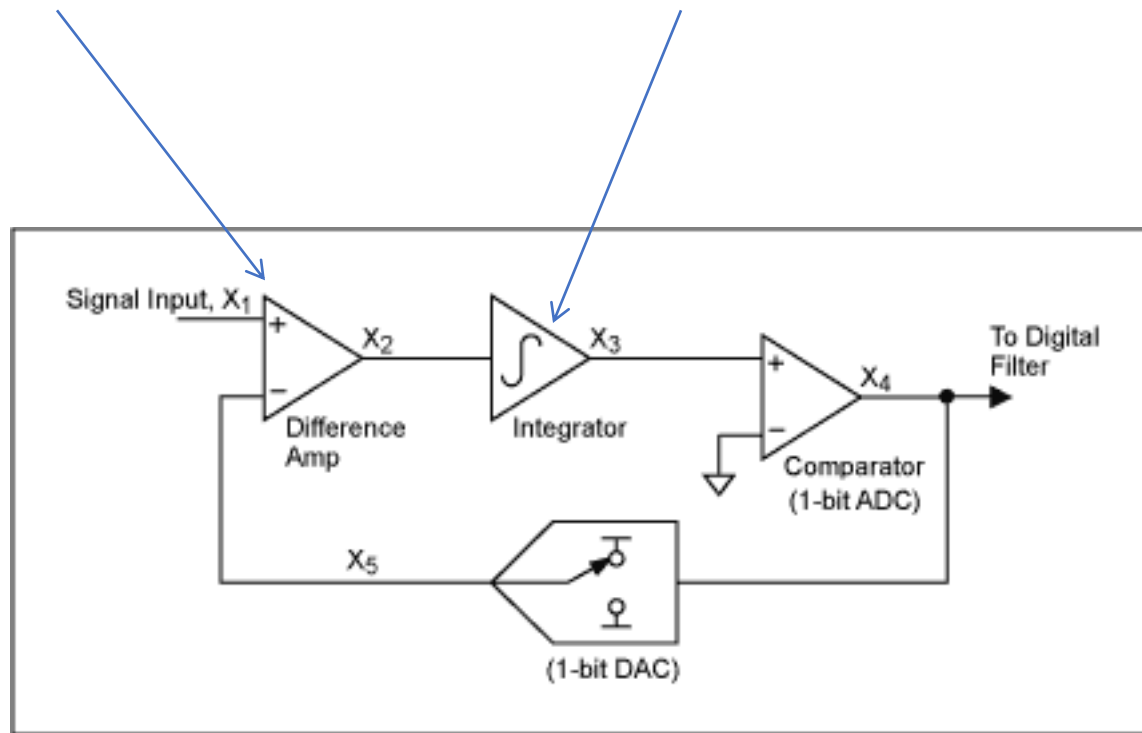
$$DR \approx -1.25 + 6.02M + 10 \log_{10} N$$



4. Noise shaping con un modulatore Sigma-Delta: il fondo di rumore viene modificato, e spostato ad alta frequenza

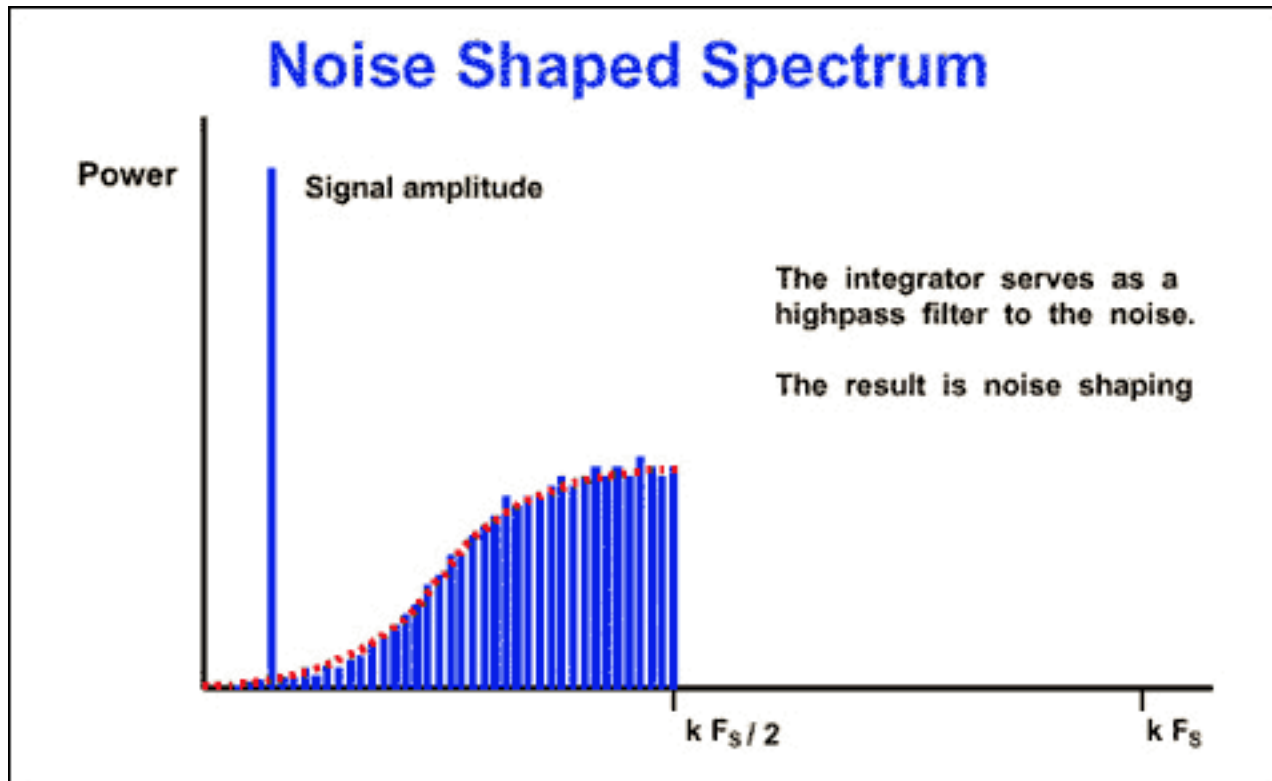
Qui si fa la differenza (Delta): simile all'ingresso di un OP-AMP, il feedback è negativo e il loop tende ad annullare la differenza media tra i due ingressi

Qui si fa la somma delle differenze (Sigma)



In questo modo (guadagno in tensione) x (numero medio di bit alti) \approx V_{in}

Lo stesso meccanismo sposta il rumore ad alta frequenza (noise shaping):
la potenza totale è la stessa, ma lo spettro di rumore non è più piatto (questo
viene dalla non-linearità del feedback)



5. Il filtraggio passa-basso è molto più efficace.

- oversampling diretto: 6 dB per ogni fattore 4 di oversampling
- 1 stadio Sigma: 9 dB per ogni fattore 2 di oversampling
- 2 stadi Sigma: 15 dB per ogni fattore 2 di oversampling
- ...

