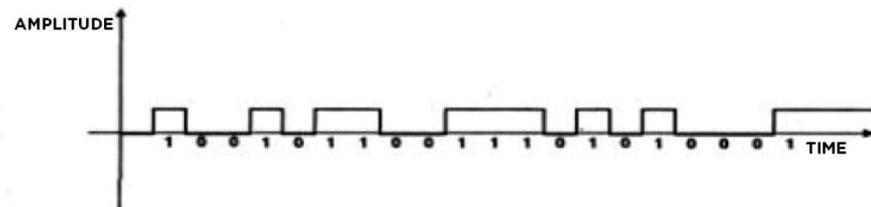
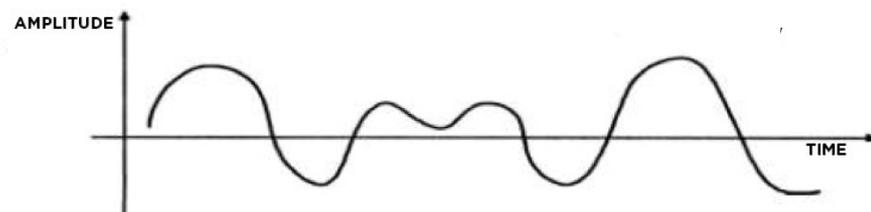


LA CONVERSIONE ANALOGICO-DIGITALE

Marco Panareo

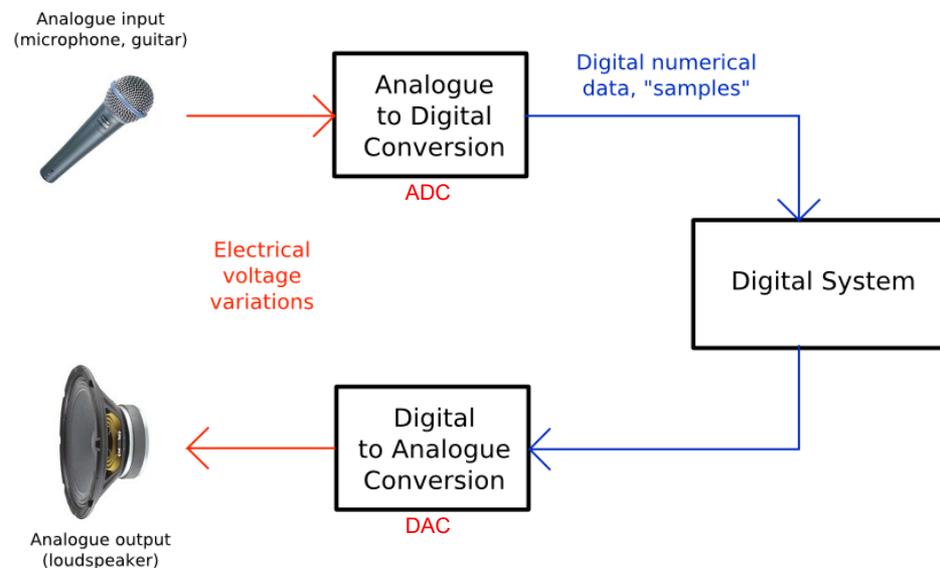
Grandezze analogiche e digitali

- Una grandezza è detta *analogica* qualora sia in grado di assumere tutti i valori possibili interni ad un certo intervallo ed è definita in tutti gli istanti di tempo compresi tra un tempo iniziale ed un tempo finale.
 - Una grandezza con tali caratteristiche è detta *continua* in ampiezza ed in tempo.
- Una grandezza *digitale*, o *numerica*, è sostanzialmente una sequenza di numeri, espressi in una certa base, ed è discreta sia in ampiezza che in tempo.
 - In generale, quindi, una grandezza digitale può assumere un numero *discreto* di valori; qualora la base è pari a due, la grandezza digitale è anche detta *binaria*



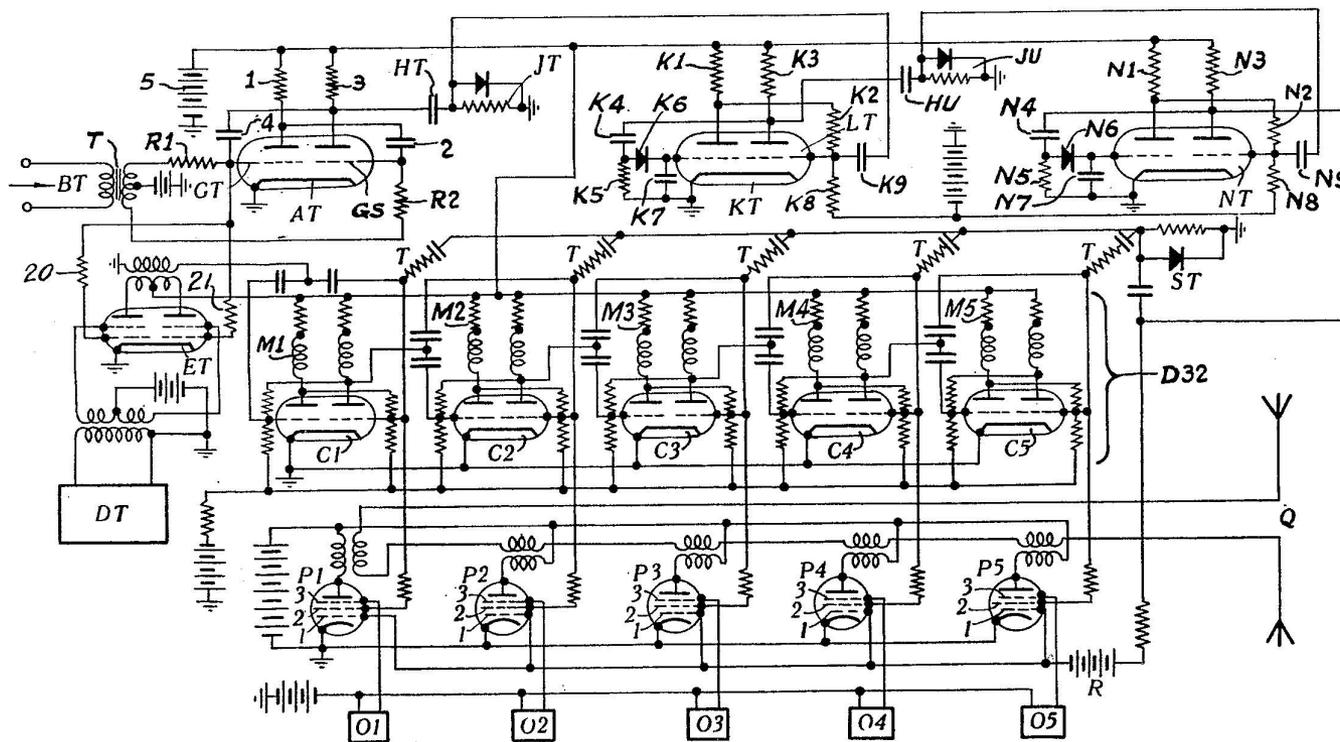
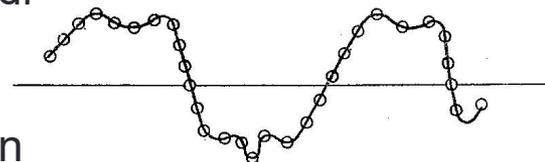
Conversione A/D

- L'esigenza della conversione di una grandezza analogica in una digitale nasce dall'opportunità di adoperare opportuni dispositivi per l'elaborazione della grandezza e inoltre perché l'eventuale memorizzazione della grandezza su uno specifico supporto risulta più conveniente qualora tale grandezza sia espressa in formato numerico.
- L'esigenza opposta, di convertire una grandezza numerica in una analogica emerge, ad esempio, qualora un sistema digitale deve comandare un trasduttore, come, ad esempio, la bobina di un altoparlante.



Storia

- Il primo dispositivo per la conversione analogico-digitale venne brevettato nel 1937 da Alec H. Reeves presso la ITT di Parigi con l'obiettivo di migliorare l'immunità al rumore nelle trasmissioni telefoniche
- il dispositivo progettato da Reeves codificava una tensione in binario in 5 bit e faceva ampio uso della tecnologia dei tubi a vuoto da poco sviluppata

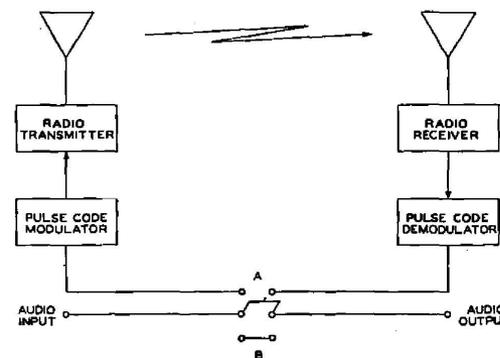
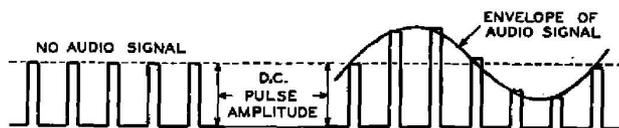


Storia

- Durante la Seconda guerra mondiale H. S. Black, J. O. Edson e W. M. Goodall presso la Bell Telephone Laboratories migliorarono il circuito di Reeves per realizzare un sistema per la cifratura della voce, allo scopo di rendere sicure le comunicazioni militari;
- poiché tale lavoro era coperto da segreto, fu reso noto solo dopo la fine della guerra, tra il 1947 e il 1948.

Telephony By Pulse Code Modulation

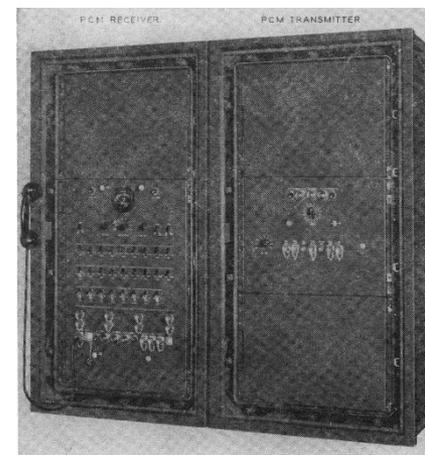
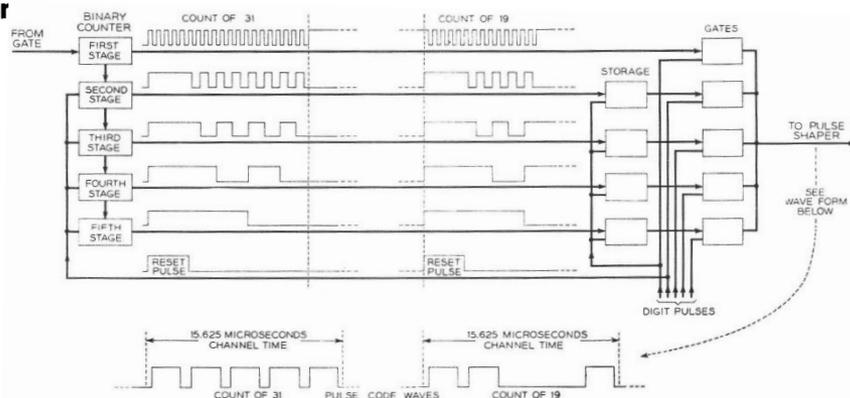
By W. M. Goodall



Pulse Code Modulator

H. S. BLACK
FELLOW AIEE

J. O. EDSON
NONMEMBER AIEE



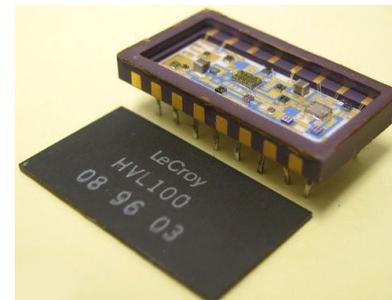
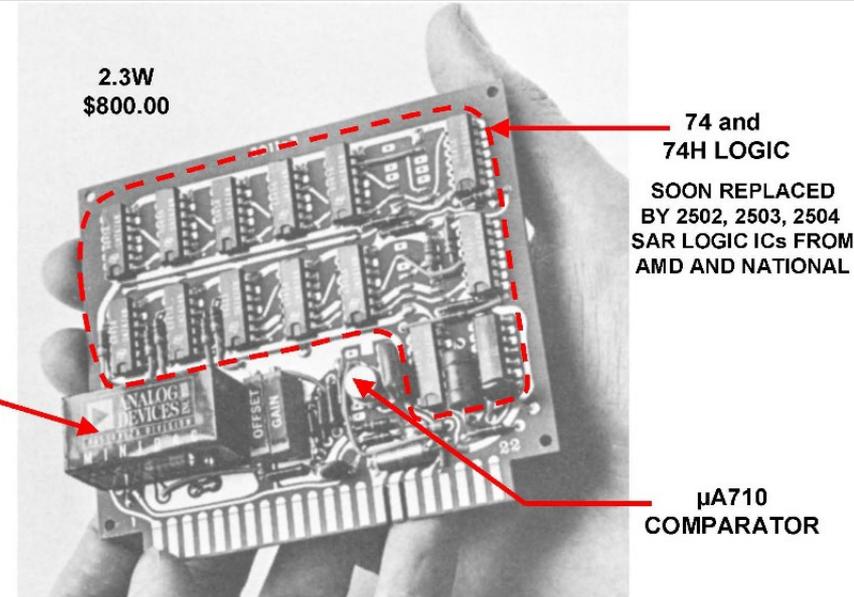
Il primo ADC commerciale

- Originariamente, lo sviluppo dei computer digitali costituì lo stimolo principale alla realizzazione di sistemi per la conversione analogico-digitale.
- Nel 1953 Bernard M. Gordon, che aveva a lungo lavorato su sistemi di conversione di dati, fondò la Epsco Engineering; Gordon in precedenza aveva collaborato alla costruzione dell'UNIVAC, il primo computer digitale commerciale e, durante tale attività, si era reso conto dell'utilità di un convertitore analogico-digitale.
- Nel 1954 la Epsco introdusse il primo convertitore analogico-digitale destinato a scopi commerciali; tale convertitore si basava ancora sulla tecnologia dei tubi a vuoto, dissipava per il suo funzionamento circa 500 W e codificava le tensioni in 11 bit.
- Questo dispositivo fu il primo convertitore commerciale in grado di elaborare segnali variabili, come i suoni.



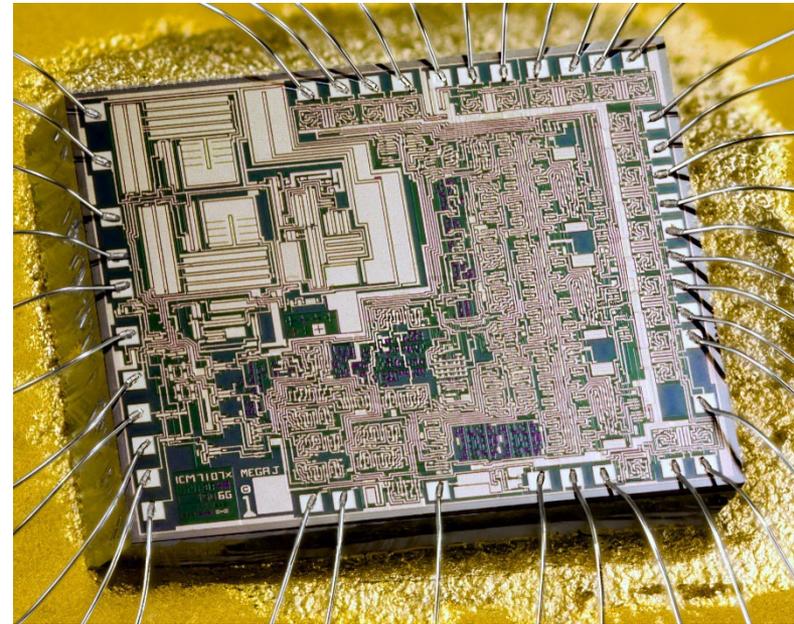
ADC moderni

- Con l'invenzione del transistor nel 1947, a partire dalla metà degli anni '50 e fino all'inizio degli anni '60 del ventesimo secolo, la tecnologia di costruzione dei circuiti elettronici migrò dai tubi a vuoto ai transistor, aprendo di conseguenza molteplici possibilità per il progetto dei sistemi di conversione di dati.
- Negli anni '60 si sviluppò la tecnologia dei circuiti integrati, in cui singoli transistor sono contenuti all'interno di un unico componente
- Il primo convertitore analogico digitale integrato a 12 bit fu prodotto dalla Analog Devices nel 1969 e richiedeva tuttavia ancora molteplici componenti aggiuntivi per poter essere adoperato nell'ambito di un sistema completo
- Questi primi convertitori analogico-digitali integrati utilizzavano una tecnologia ibrida, in cui su un supporto di ceramica incapsulato convivevano componenti discreti e componenti integrati



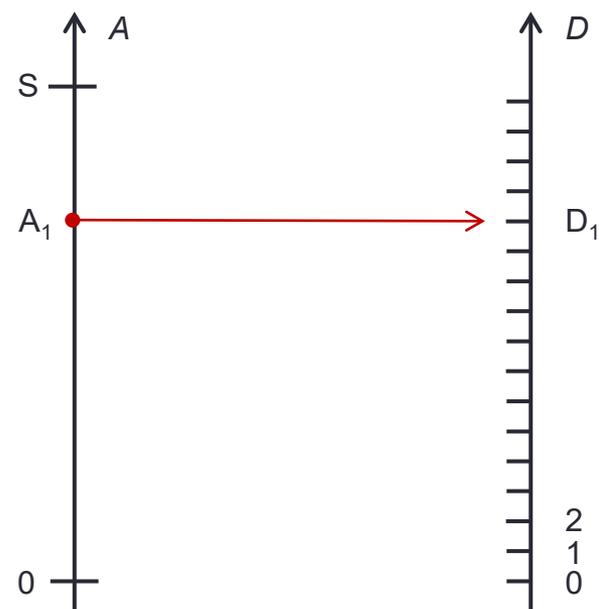
ADC moderni

- Solo a partire dagli anni '80, sotto la spinta alla miniaturizzazione dei dispositivi, comparvero i primi convertitori monolitici.
- Attualmente le applicazioni dei convertitori analogico digitali sono numerose e non sono limitate al solo ambito dei sistemi di misura.



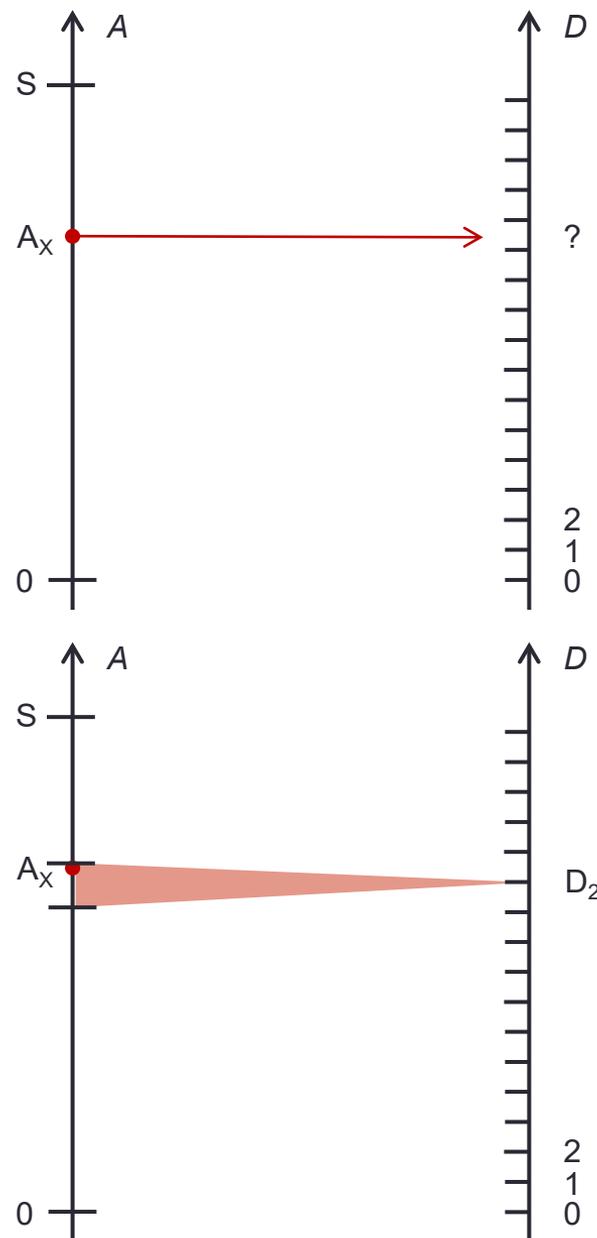
Conversione

- La conversione analogico-digitale richiede la definizione di una legge di corrispondenza tale da consentire l'associazione di valori numerici ai valori analogici propri della grandezza da convertire
- Assumendo che la grandezza A da convertire sia unipolare (ad esempio sia sempre positiva), tale operazione significa associare a ciascun valore di A compreso nel suo intervallo di definizione $(0, S)$, un numero D espresso in un certo formato.



Conversione

- Siccome A è continua mentre D è una quantità discreta, non è possibile identificare una funzione biunivoca tale da associare a ciascun valore di A uno ed un solo valore di D .
- Pertanto si sceglie di associare a ciascun valore di D un intervallo di valori di A .
 - Ciò consente di stabilire una corrispondenza tra tutti i valori di A situati in un certo intervallo con un unico valore di D .
- Questa operazione comporta una ovvia perdita di informazione che è possibile quantificare.



Quantizzazione uniforme

- Supponiamo che ciascun intervallo di A , da porre in corrispondenza con i valori di D , abbia uguale ampiezza; in questo caso si parlerà di **quantizzazione uniforme** della grandezza analogica.
- Se il numero di intervalli in cui è suddiviso A è pari a m , uguale ai valori definiti della variabile D , l'ampiezza A_D di ciascun intervallo vale:

$$A_D = \frac{S}{m}$$

- Per stimare l'entità della perdita di informazione derivante dall'associazione di un intervallo analogico ad un unico valore numerico, si definisce l'**errore di quantizzazione** ε come la differenza tra il valore reale A_r della grandezza A ed il valore A_i in corrispondenza del centro dell'intervallo:

$$\varepsilon \equiv A_r - A_i$$

- siccome l'intervallo considerato ha ampiezza A_D , dalla relazione precedente risulterà:

$$|\varepsilon| \leq \frac{A_D}{2} = \frac{S}{2m}$$

- Il numero degli intervalli disponibili è legato alla rappresentazione adoperata per la grandezza numerica; per **n cifre** in **base b** , il numero dei valori rappresentabili è:

$$m = b^n$$

Esempio – codifica binaria

- Il caso più comune è rappresentato dalla codifica della grandezza A in binario:

$$b \longleftarrow 2$$

- Con una rappresentazione a n cifre sono possibili 2^n valori di D
- Se, ad esempio, $n = 8$ ci \longrightarrow sono 256 valori

Binari(8bit)
00000000
00000001
00000010
00000011
00000100
.....
11111101
11111110
11111111

Errore

- Una volta stabilito il numero m dei valori della grandezza D e specificata la base di rappresentazione b , dalla relazione precedente si ha:

$$|\varepsilon| \leq \frac{A_D}{2} = \frac{S}{2b^n}$$

- questo errore può esprimersi in termini assoluti
 - volt, ampere, ecc.
- solo se la grandezza A ha una dimensione definita, altrimenti si utilizza l'errore relativo (percentuale).
- In termini di errore relativo sussiste una precisa relazione fra il numero n delle cifre e l'errore nella rappresentazione.

Esempio – codifica binaria a 8 bits

- Con riferimento all'esempio precedente in cui b vale 2 e n vale 8, dalla relazione $|\varepsilon| \leq S/(2b^n)$ risulta:

$$|\varepsilon| \leq \frac{S}{2 \cdot 2^n} = \frac{S}{2^{n+1}} = \frac{S}{2^9} = \frac{S}{512};$$

- l'errore relativo (massimo) è quindi:

$$\varepsilon_r \% = \frac{S}{2^{n+1}} \times 100 = \frac{100}{2^9} \approx 0.195\% .$$

Rappresentazione del dato

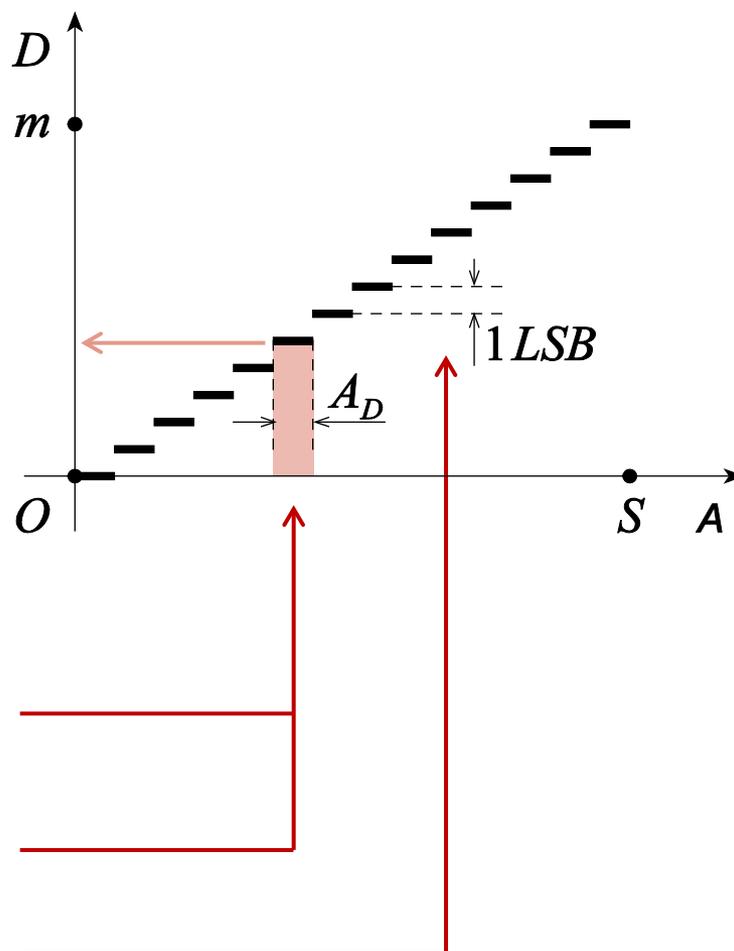
- Nel caso di codifica binaria il numero D si esprime come:

$$D = \underbrace{b_n}_{\text{SIGNUM}} \underbrace{b_{n-1}}_{\text{MSB}} 2^{n-1} + b_{n-2} 2^{n-2} + \dots + b_1 2^1 + \underbrace{b_0}_{\text{LSB}} 2^0$$

- dove i coefficienti b_k , detti *bit*, possono assumere valore 0 o 1;
 - il bit col peso più alto è detto *MSB (Most Significant Bit)*
 - quello di peso più basso *LSB (Least Significant Bit)*.
 - Inoltre, per grandezze bipolari, è necessario un ulteriore bit, convenzionalmente di peso massimo, per la codifica del *segno*.
- Il bit meno significativo corrisponde alla minima variazione che può avere la variabile numerica D ; pertanto, a una variazione di una quantità A_D della grandezza analogica A corrisponde una variazione di 1 *LSB* della grandezza numerica.
- Così, una volta stabilito il numero n dei bit adoperati nella rappresentazione digitale, gli errori possono essere espressi in termini di *LSB* (1 *LSB*, $\frac{1}{2}$ *LSB*, ecc.) oppure in valore assoluto (volt, ampere, ecc.).

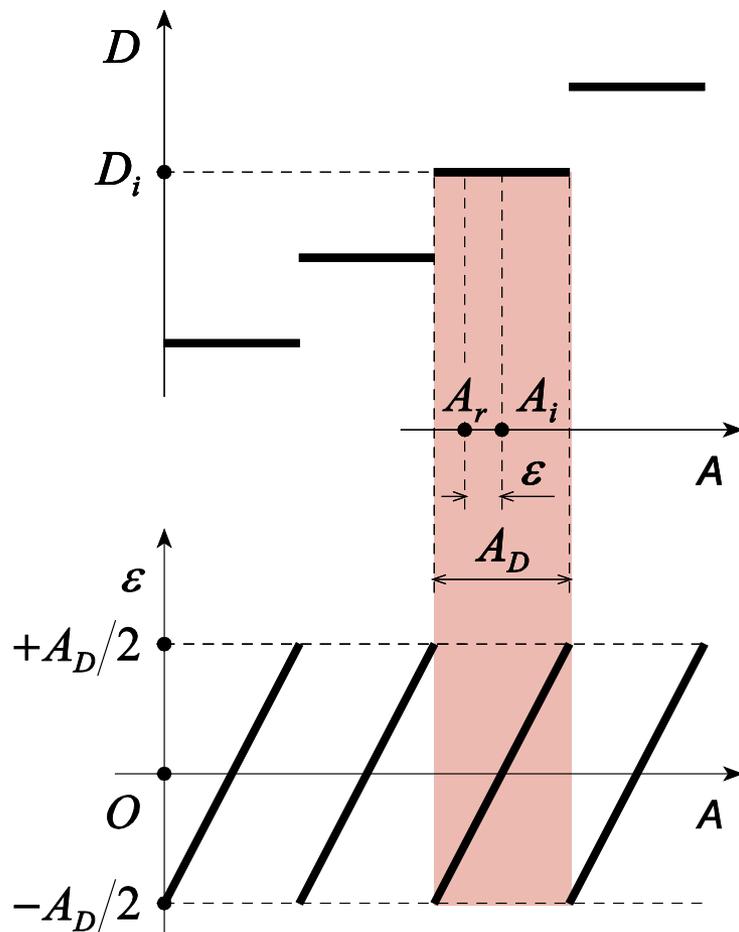
Caratteristica di trasferimento

- Il processo di conversione può essere rappresentato tramite una *caratteristica di trasferimento* tra la variabile analogica A e quella digitale D .
- Adoperando questa caratteristica si può ricavare, per ogni valore di A la corrispondente rappresentazione numerica di D
 - tutti i punti all'interno di uno stesso intervallo di ampiezza A_D corrispondono ad uno stesso valore di D ;
 - ogni gradino ha larghezza A_D ;
 - il salto fra un gradino e il successivo corrisponde alla variazione di 1 LSB .



Caratteristica di trasferimento

- Dalla caratteristica di trasferimento si evince che:
 - I punti A_i e D_i corrispondono al centro dell' i -esimo gradino
 - Al valore D_i è associato ogni valore A_r compreso nell'intervallo A_D .
 - L'errore di quantizzazione è compreso fra $-A_D/2$ e $+A_D/2$
 - al variare della grandezza A dal limite inferiore a quello superiore di un intervallo A_D , l'errore varia tra tali estremi a partire da $-A_D/2$ in modo lineare; questo andamento si ripete periodicamente per ogni intervallo A_D .



ADC

- All'aumentare di m , cresce il numero di gradini corrispondenti alla variabile numerica e, contemporaneamente, diminuisce l'ampiezza degli intervalli A_D . Per m sufficientemente elevato, la caratteristica di conversione diventa assimilabile ad una retta continua.
- Tuttavia, col crescere di m aumenta anche la complessità del circuito di conversione e, di conseguenza, il suo costo, così, ragioni di carattere economico inducono a scegliere m quanto più piccolo è possibile.
- Occorre pertanto identificare un criterio che consenta di stabilire il valore di m sufficiente, in relazione alle caratteristiche del sistema di conversione che si intende sviluppare

