

Convertitore Digitale-Analogico

- L'informazione contenuta in un segnale elettrico è legata a diverse caratteristiche come ampiezza, frequenza, fase, durata: in generale si tratta di informazione di tipo **analogico**. In molti casi è desiderabile convertire questa informazione sotto forma **digitale**, e viceversa:

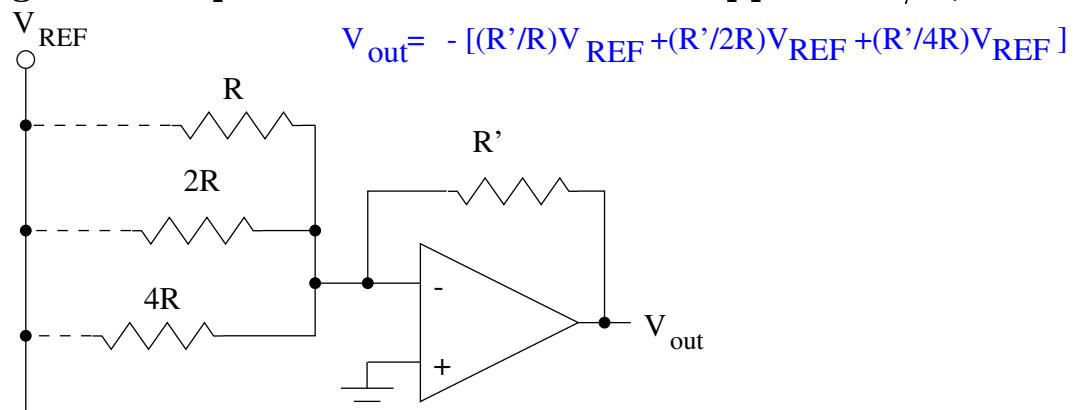
1. nel controllo di un processo industriale o di un esperimento mediante un calcolatore
2. in uno strumento con uscita digitale, ad es. un multimetro
3. nella trasmissione "priva di errori" di un segnale normalmente analogico, ad es. nella telefonia
4. nella registrazione permanente "priva di errori" di un segnale, ad es. in un Compact Disc musicale
5. nella sintesi digitale di forme d'onda

- Cominciamo con l'esame dei convertitori del tipo **digitale-analogico** (DAC). Il compito di un DAC è di generare una tensione in uscita V_{out} che sia proporzionale ad un numero binario in ingresso:

$$V_{out} = (2^{N-1}a_{N-1} + 2^{N-2}a_{N-2} + \dots + 2^2a_2 + 2^1a_1 + a_0) \times V_0$$

la tensione massima ottenibile in uscita sarà $(2^N - 1) \times V_0$ quando $a_{N-1} = a_{N-2} = \dots = a_2 = a_1 = a_0 = 1$.

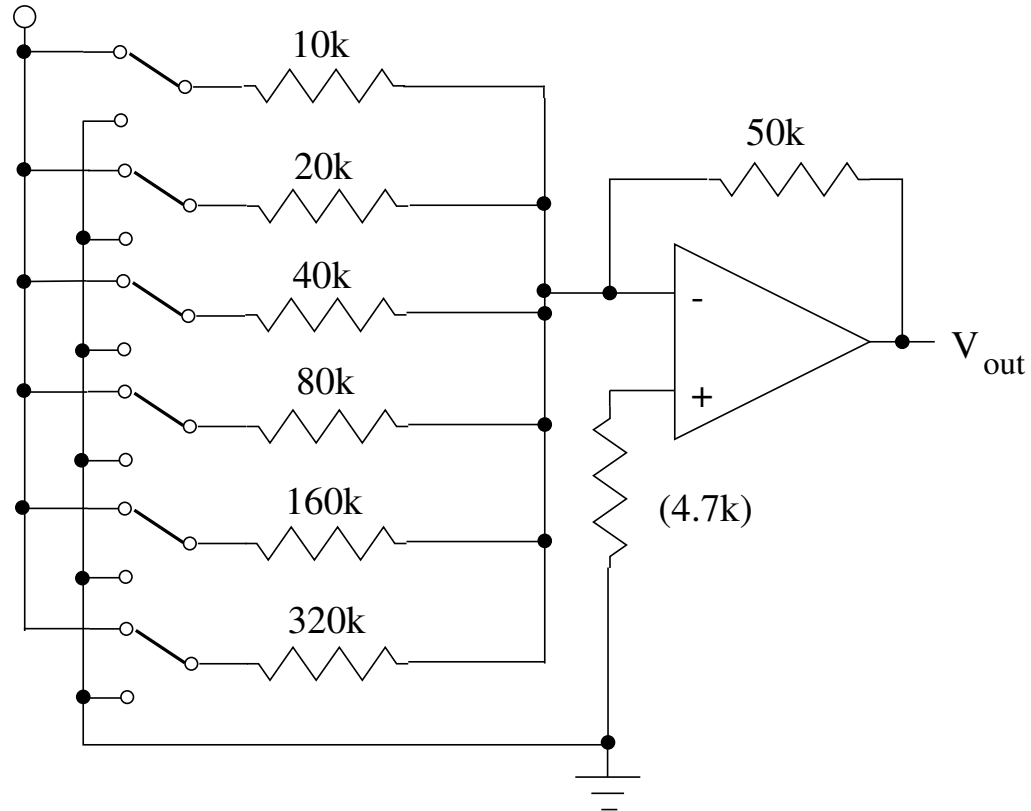
- Un primo esempio è il DAC a **somma pesata**: sfruttando il principio della "massa virtuale" all'ingresso di un amplificatore operazionale in configurazione invertente, possiamo generare i pesi richiesti mediante il rapporto R'/R_i :



nell'esempio abbiamo $R_{i+1} = R$, $R_i = 2R$, $R_{i-1} = 4R$.

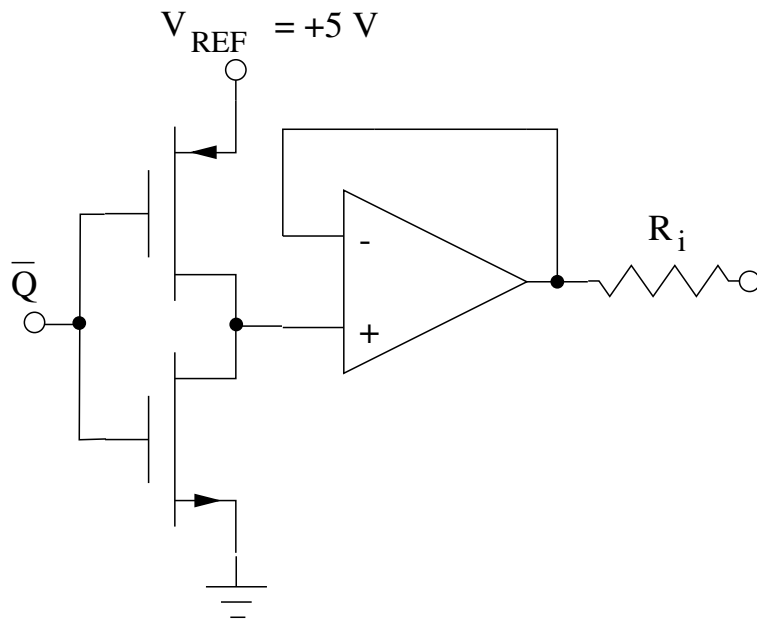
- Per completare il DAC dobbiamo aggiungere N interruttori che ci permettano di collegare ciascun ingresso alternativamente a V_{REF} oppure a massa; questi interruttori dovranno essere pilotati dagli N segnali digitali in ingresso.

+1.0 V

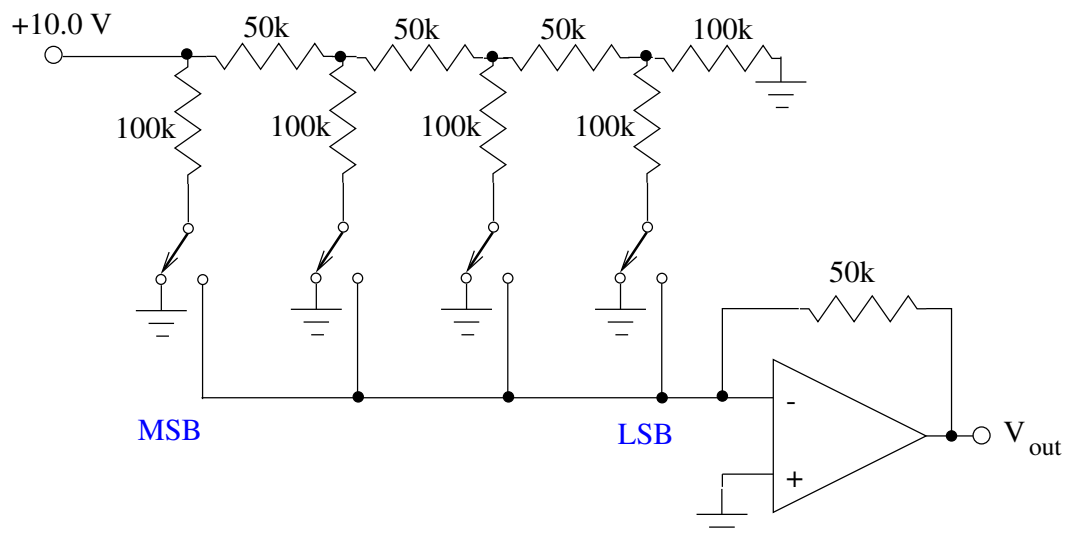


- Nell'esempio abbiamo un DAC a 6 bit che fornisce una tensione in uscita compresa tra 0 e $-10 \times (63/64)$ V, abbiamo cioè (in generale) $|V_0| = (2R'/R) \times |V_{REF}|/2^N$ con $V_{out,max} = (2^N - 1) \times |V_0|$. Bisogna considerare che normalmente la massima escursione di V_{out} è di circa ± 13 V se l'amplificatore operazionale è alimentato con ± 15 V.
- La resistenza tra l'ingresso non invertente e la massa si rende necessaria solo se usiamo un amplificatore operazionale bipolare, e serve ad annullare gli effetti della corrente di polarizzazione I_B , facendo in modo che i due ingressi vedano la stessa resistenza (nell'esempio: $4.7 \text{ k}\Omega \simeq 50 \text{ k}\Omega \parallel 5.1 \text{ k}\Omega$).
- Una possibilità per realizzare l'interruttore elettronico è data da un invertitore CMOS, il cui ingresso è collegato al complemento $\overline{Q_i}$ del bit in questione, seguito da un operazionale in configurazione *follower* (bassa impedenza di uscita) che permette di pilotare correttamente la resistenza R_i ; l'impedenza

di uscita del *follower* deve essere trascurabile rispetto alla più piccola delle resistenze.

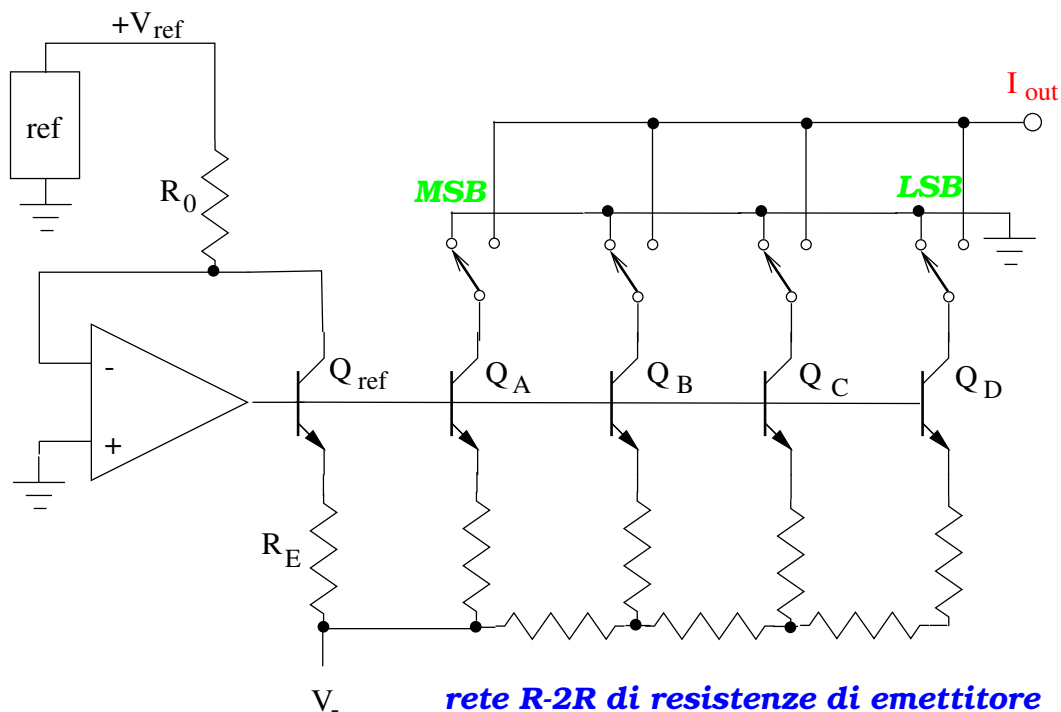


- Il DAC a resistenze pesate diventa poco pratico quando il rapporto tra la massima e la minima resistenza (2^{N-1}) diventa troppo grande: di fatto è raramente usato per $N > 4$ bit.
- Un modello ampiamente usato, anche come parte di circuiti VLSI, è il DAC a **scala R-2R**, in cui vengono generate correnti in scala binaria utilizzando due soli valori di resistenza:



- Le correnti che non sono dirottate verso massa si sommano nel nodo invertente dell'amplificatore operazionale e generano una tensione di uscita proporzionale al numero binario in ingresso.

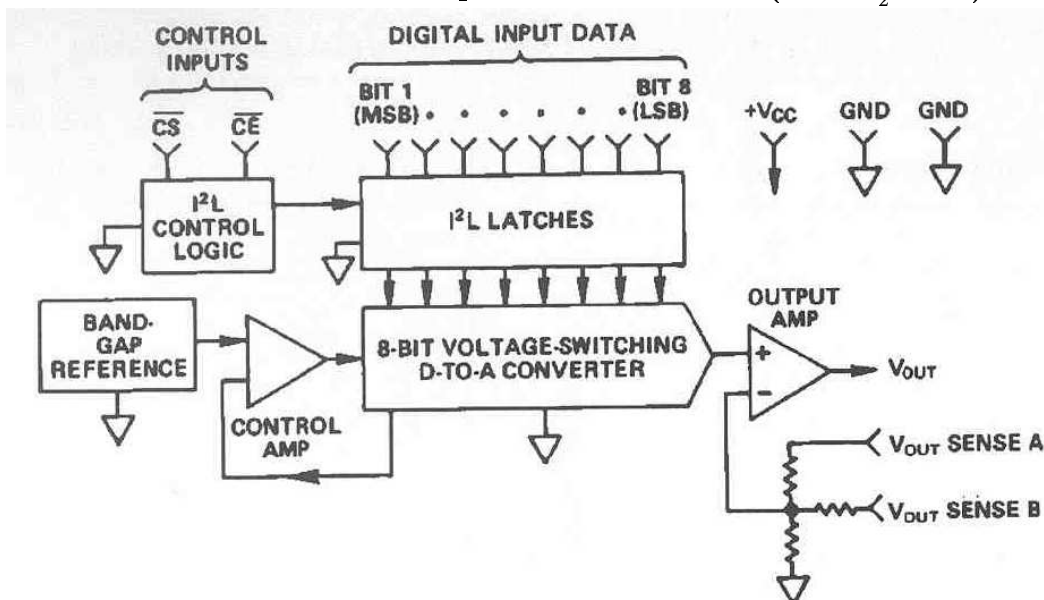
- Un terzo modello di DAC da considerare è quello a **somma di correnti**, con uscita in corrente; si tratta di costruire sorgenti di corrente a transistor in scala binaria, le quali vengono poi sommate all'uscita, nell'esempio vediamo un DAC a 4 bit:



questo DAC non ha bisogno di un amplificatore operazionale all'uscita, e risulta generalmente più veloce dei DAC con uscita in tensione, dato che le correnti in scala binaria sono sempre attive. La corrente massima in uscita è dell'ordine di 1 mA; questa corrente volendo può essere convertita in tensione, sia mediante una semplice resistenza (per escursione di tensione limitata), sia con un amplificatore operazionale nella configurazione a transresistenza.

- Se consideriamo al posto della tensione fissa di riferimento V_{REF} una tensione variabile otteniamo il cosiddetto **DAC moltiplicatore**: la tensione in uscita è il prodotto di un numero binario per una tensione analogica.
- Sono disponibili commercialmente DAC da 4 a 18 bit, con uscita in tensione o in corrente, e con tempo di assestamento (entro $\frac{1}{2}$ LSB) generalmente compreso tra 5 ns e 5 μ s; alcuni generano internamente V_{REF} , altri hanno bisogno di una tensione di riferimento esterna.

- Vediamo un esempio concreto di DAC, il modello AD557 (Analog Devices): si tratta di un DAC a 8 bit in tecnologia bipolare, con uscita in tensione da 0 a 2.55 V e tempo di assestamento (entro $\frac{1}{2}$ LSB) di 800 ns.



- Il DAC AD557 comprende diversi blocchi funzionali:

1. il **convertitore D/A** vero e proprio è realizzato con 8 sorgenti di corrente commutabili su una rete R-2R di resistenze a film sottile SiCr, e fornisce un'uscita da 0 a 400 mV;
2. l'**amplificatore di uscita** è del tipo non invertente, con il guadagno calibrato in produzione per fornire esattamente $V_{out,max} = 2.55 \text{ V}$ (inserendo una resistenza esterna in serie su $V_{OUT SENSE}$ è possibile aumentare il valore di $V_{out,max}$);
3. il **riferimento di tensione** interno è del tipo *bandgap* a 1.2 V;
4. il blocco di **interfaccia** comprende 8 registri (*latch*) e due ingressi di controllo \overline{CE} e \overline{CS} che facilitano il dialogo con un microprocessore a 8 o 16 bit; vanno rispettati in ogni caso i tempi indicati nel diagramma temporale in figura; per far funzionare il DAC direttamente (senza microprocessore) basta mantenere $\overline{CE} = \overline{CE} = 0$.

