



**Figura 14.14:** Filtro passa-basso di ordine 2 ottenuto sostituendo l'induttanza con un giratore di Antoniou. L'utilizzo delle induttanze è sconsigliato nella pratica, a causa del costo e dell'ingombro elevato. L'utilizzo di questo circuito permette di ottenere la stessa risposta di un filtro RLC utilizzando solamente componenti di tipo R e C oltre ad i componenti attivi.

Qui l'induttanza è sostituita dalla parte di circuito delineata dal rettangolo. L'amplificatore non invertente posto in alto a sinistra, è necessario per prelevare il segnale in uscita senza alterare il funzionamento del circuito. Tale amplificatore ha un guadagno in tensione dato da:  $1 + R_7/R_6$ .

In modo analogo è possibile realizzare filtri passa-banda, passa alto, notch etc.

## 14.7 Filtri di Butterworth

Nelle sezioni precedenti abbiamo incontrato filtri caratterizzati da funzioni di trasferimento con un singolo polo (filtri del primo ordine) e con un polo doppio (filtri del secondo ordine). In generale, il numero dei poli nella funzione di trasferimento determina la rapidità dei fronti di discesa (o di salita, nel caso dei filtri passa-alto o passa-banda) del filtro.

Una classe importante di filtri è quella di Butterworth. Questi sono caratterizzati da funzioni di trasferimento il cui modulo quadro, per un filtro passa-basso di ordine  $n$ , è dato da:

$$|G_n(\omega)|^2 = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{2n}\right]}$$

cioè:

$$|G_n(\omega)| = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{2n}\right]^{1/2}}$$

Andamenti tipici sono mostrati in figura 14.15, per valori dell'ordine  $n$  variabile tra 1 e 10. Notiamo che tutte le curve hanno la medesima attenuazione di 3 dB per  $\omega = \omega_0$ . Quando si riporta il guadagno in funzione di  $\omega/\omega_0$  si dice che si studia il suo andamento in funzione della frequenza normalizzata.