

Strumentazione ad alta sensibilità

Motivazioni:

- Misurare tensioni di piccola entità (inferiori ai microvolt), su sorgenti a elevata impedenza;
- Misurare correnti di piccola entità (inferiori ai picoampère);
- Misurare resistenze di elevato valore (oltre il Gigaohm);
- ...

... perché i multimetri sono inadatti

- Elettrometro
- Nanovoltmetro
- Picoamperometro

Elettrometro

Misura:

- tensioni
- correnti
- resistenze
- quantità di carica.

Basato su A.O. con

- elevatissima resistenza d'ingresso;
- bassissima correnti di polarizzazione/offset

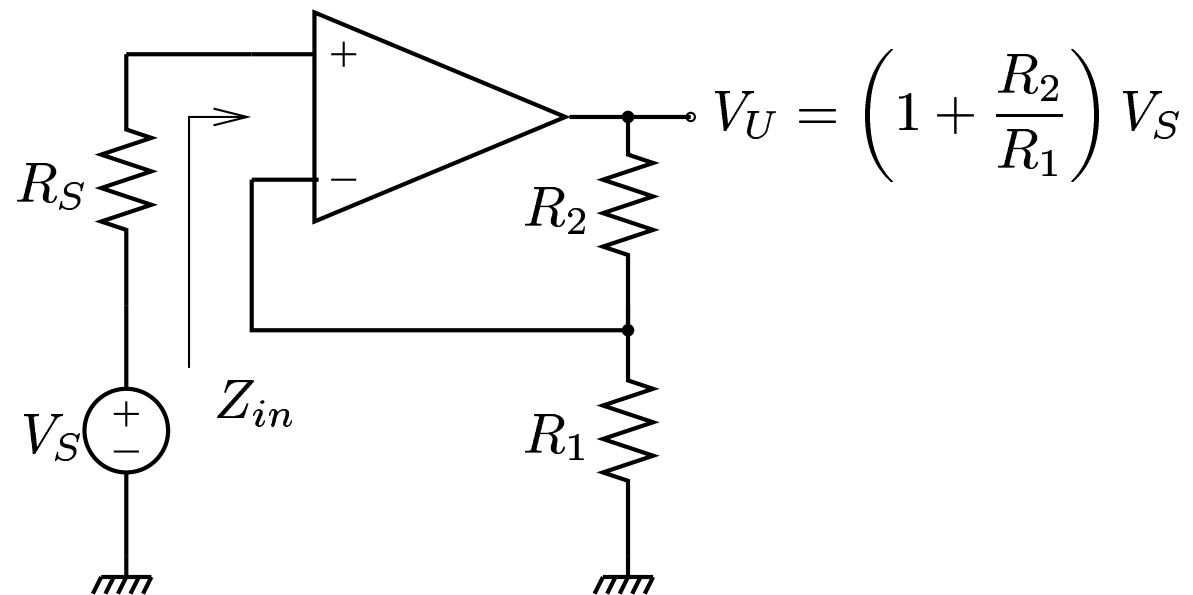
in modo da ottenere

- basso effetto caricante (misura di tensioni su sorgenti a elevata esistenza) e di elevate resistenze;
- bassa tensione di *burden* (misura di correnti).

Elettrometro

Stadio di ingresso (voltmetro)

- senza attenuatore
- con amplificatore a reazione negativa di tensione serie



- eventualmente $R_2 = 0$;
- Z_{in} fino alle centinaia di teraohm (R_S fino al teraohm).

Elettrometro

Effetti dei generatori di polarizzazione/offset

$$V_{U,tot} = - \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) R_S I_{O,1} + R_2 I_{O,2} + \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) V_{IO} + \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) V_S$$

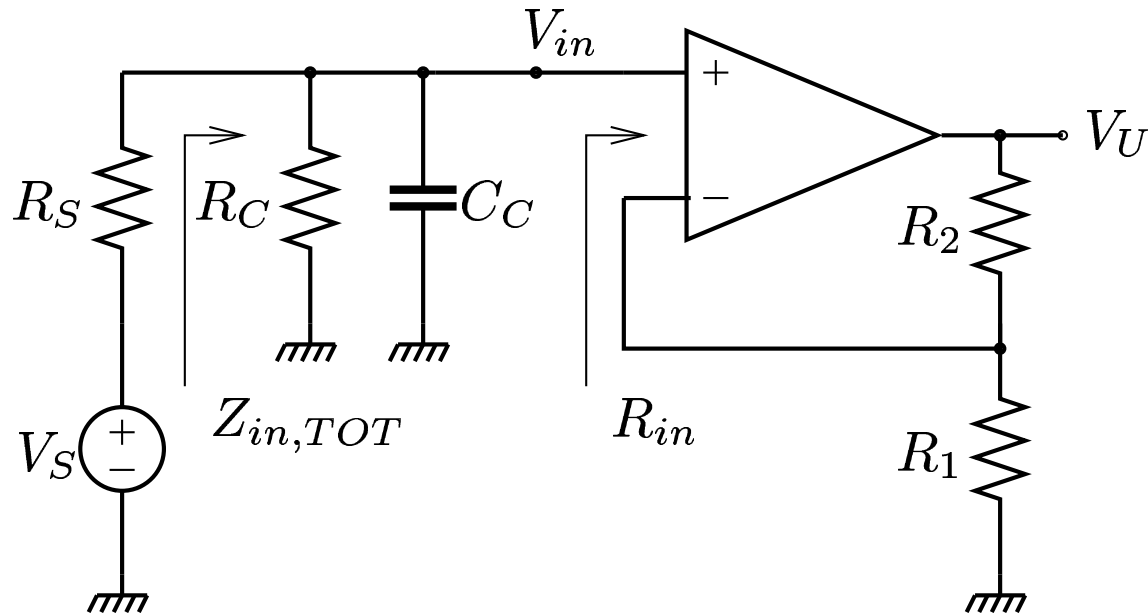
- se R_S è grande ($> R_2$), il primo termine è quello prevalente
- occorre che le correnti di polarizzazione siano basse
- $R_S I_{O,1} \ll V_S$

$$R_S < 10^{12} \Omega, \quad I_{O,1} < 1 \text{ fA},$$

$$\rightarrow \varepsilon \simeq 1\% \quad \text{con} \quad V_S \simeq 100 \text{ mV}.$$

Elettrometro

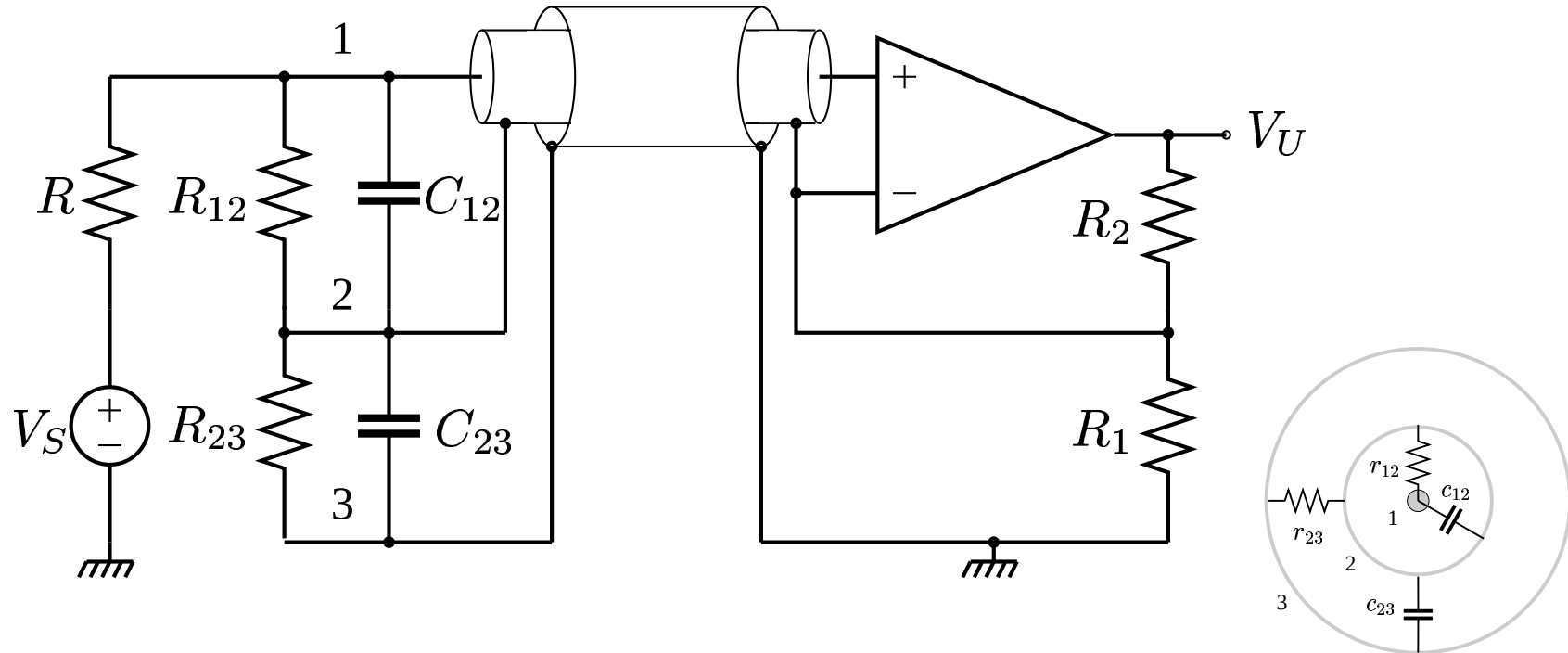
Effetti del cavo di collegamento della sorgente



- R_C abbassa la resistenza d'ingresso;
- R_C introduce un'attenuazione;
- C_C produce un transitorio: $\tau = C_C(R_C \parallel R_S \parallel R_{in})$
- la misura richiede il tempo necessario all'estinzione del transitorio.
- $C_C \simeq 50 \text{ pF}$, $R_V \simeq 1 \text{ T}\Omega$, $\rightarrow \tau \simeq 50 \text{ s!}$

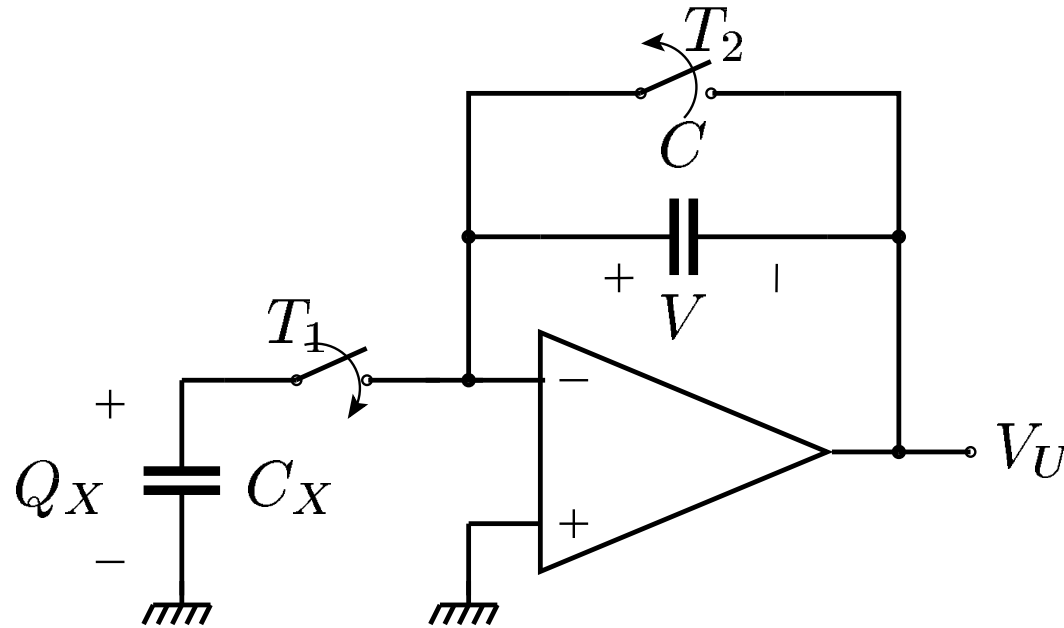
Elettrometro

Cavo triassiale



Coulombmetro

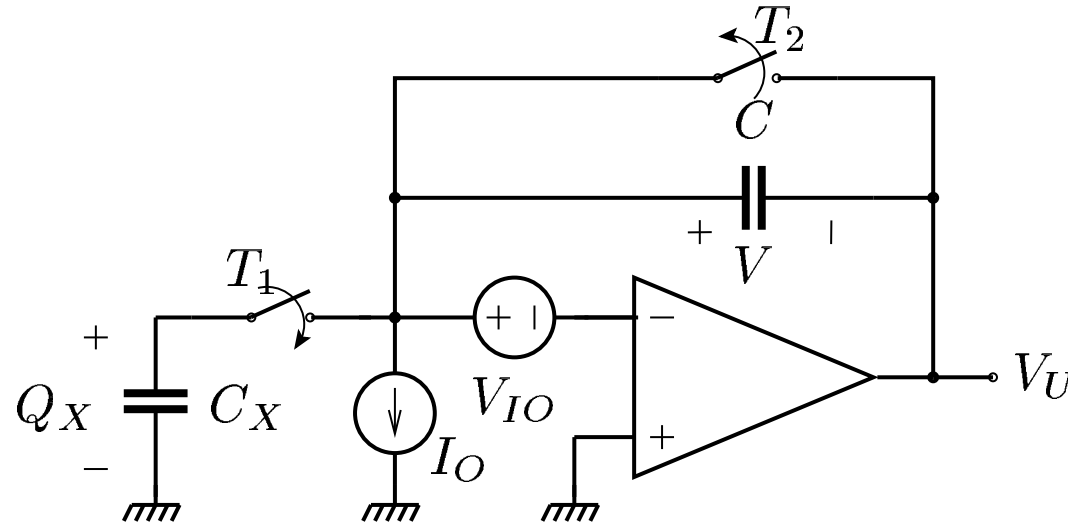
Strumento per la misura della carica elettrica (su un condensatore)



- T_1 aperto, T_2 chiuso;
- T_2 aperto, T_1 chiuso;
- $V_U = -V = -\frac{Q_X}{C}$

Coulombmetro

Effetti dei generatori di polarizzazione/offset



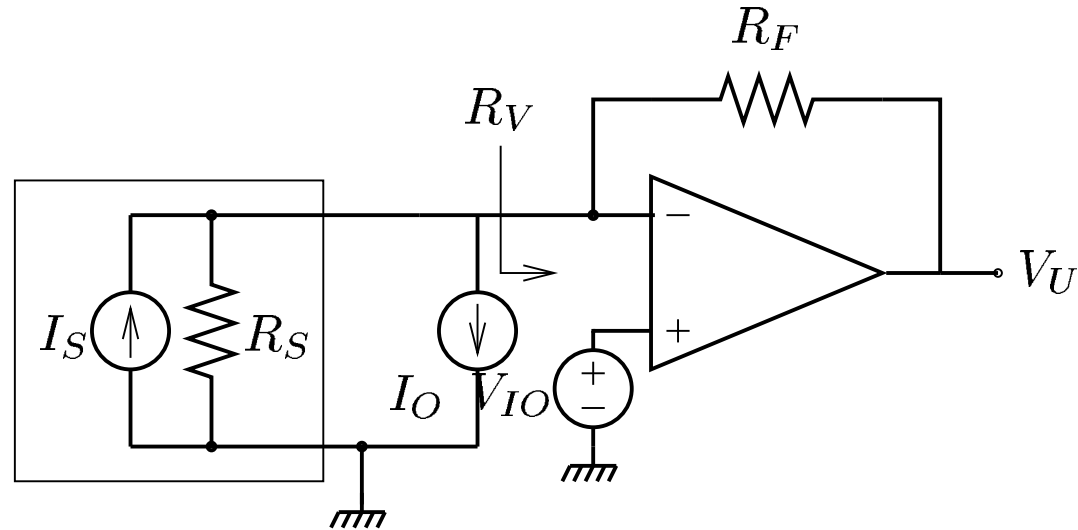
$$v_u(t)_{\text{OFFSET}} = \left(1 + \frac{C_X}{C}\right) V_{IO} + \frac{I_O}{C}t = V_{IO} + \frac{C_X}{C}V_{IO} + \frac{I_O}{C}t$$

1. teoricamente misurabile;
2. errore sistematico (non eliminabile, né quantificabile)
3. impone lettura di V_U in tempi rapidi.

Picoamperometro

Strumento per la misura di piccole correnti

Convertitore corrente-tensione:



$$V_{U,tot} = -I_S \frac{R_S}{R_S + R_V} R_F + V_{IO} \left(1 + \frac{R_F}{R_S} \right) + I_O R_F$$

- $I_O \ll I_S$
- errore dovuto a V_{IO} cresce con R_F
- errore dovuto a V_{IO} diminuisce all'aumentare di R_S

Picoamperometri

Nella pratica ...

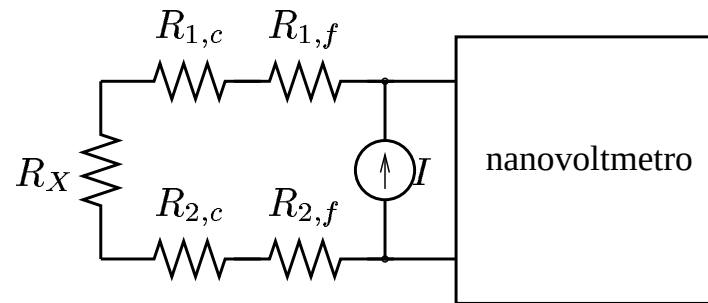
- Rimozione dell'*offset* (misura e sottrazione)
- Generatore di tensione interno
possibilità di polarizzare il campione sotto misura (caratt. I - V)
- Impiegato per la misura di resistenze elevate.

Misura di piccole resistenze

- No tensione impressa: $V_U = E \left((1 +) \frac{R}{R_X} \right)$

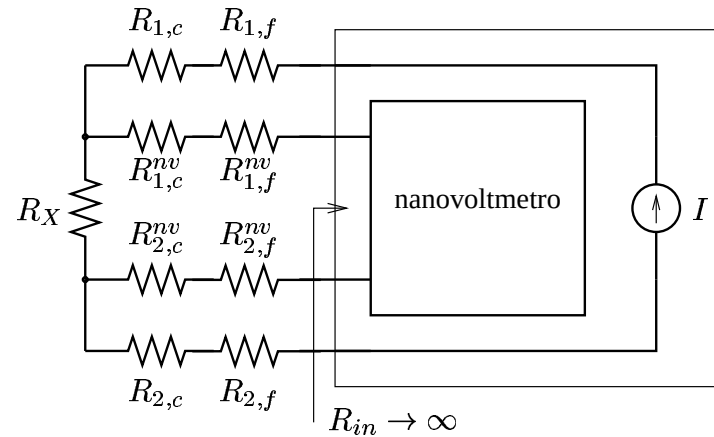
R_X piccola $\Leftrightarrow V_U$ grande!

- variante del metodo a corrente impressa
schema di principio:

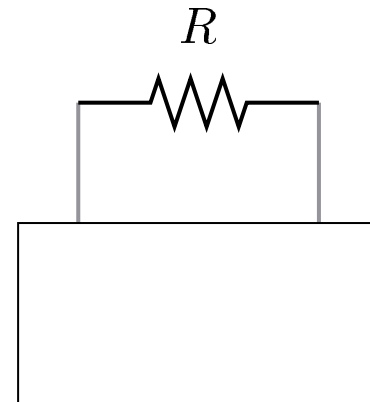
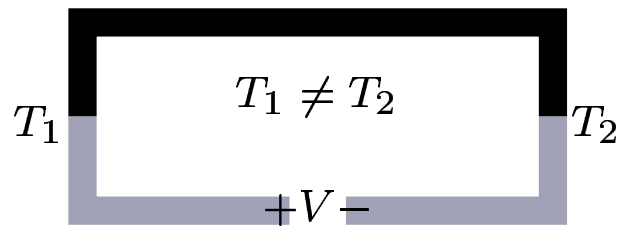


- nascono problemi con le resistenze dei collegamenti (e di contatto)

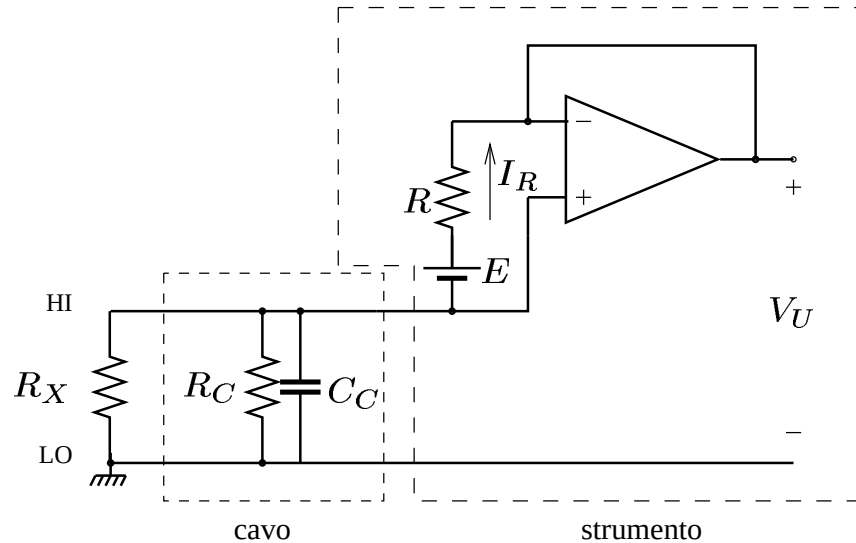
Misura di piccole resistenze (2)



- tensioni di termocoppia (effetto Seebeck)

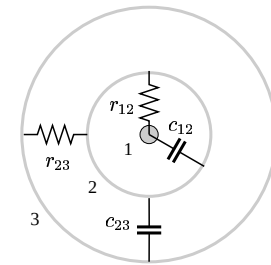
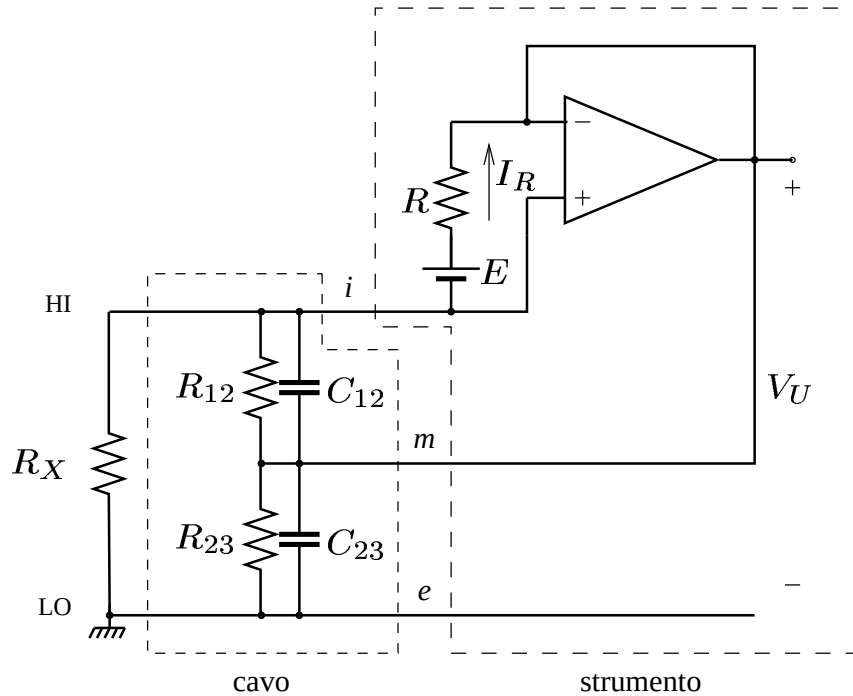


Misura di grandi resistenze



- R_C : resistenza di isolamento del cavo;
- C_C : capacità del cavo;
- τ "grande"!
- parte di I_R scorre in R_C !
- $R_C \simeq R_X$!

Misura di grandi resistenze (2)



- R_{12} e C_{12} sottoposte a d.d.p. nulla (C.V.)
- R_{23} e C_{23} pilotate da generatore $\simeq$ ideale di tensione