

# Esercitazione

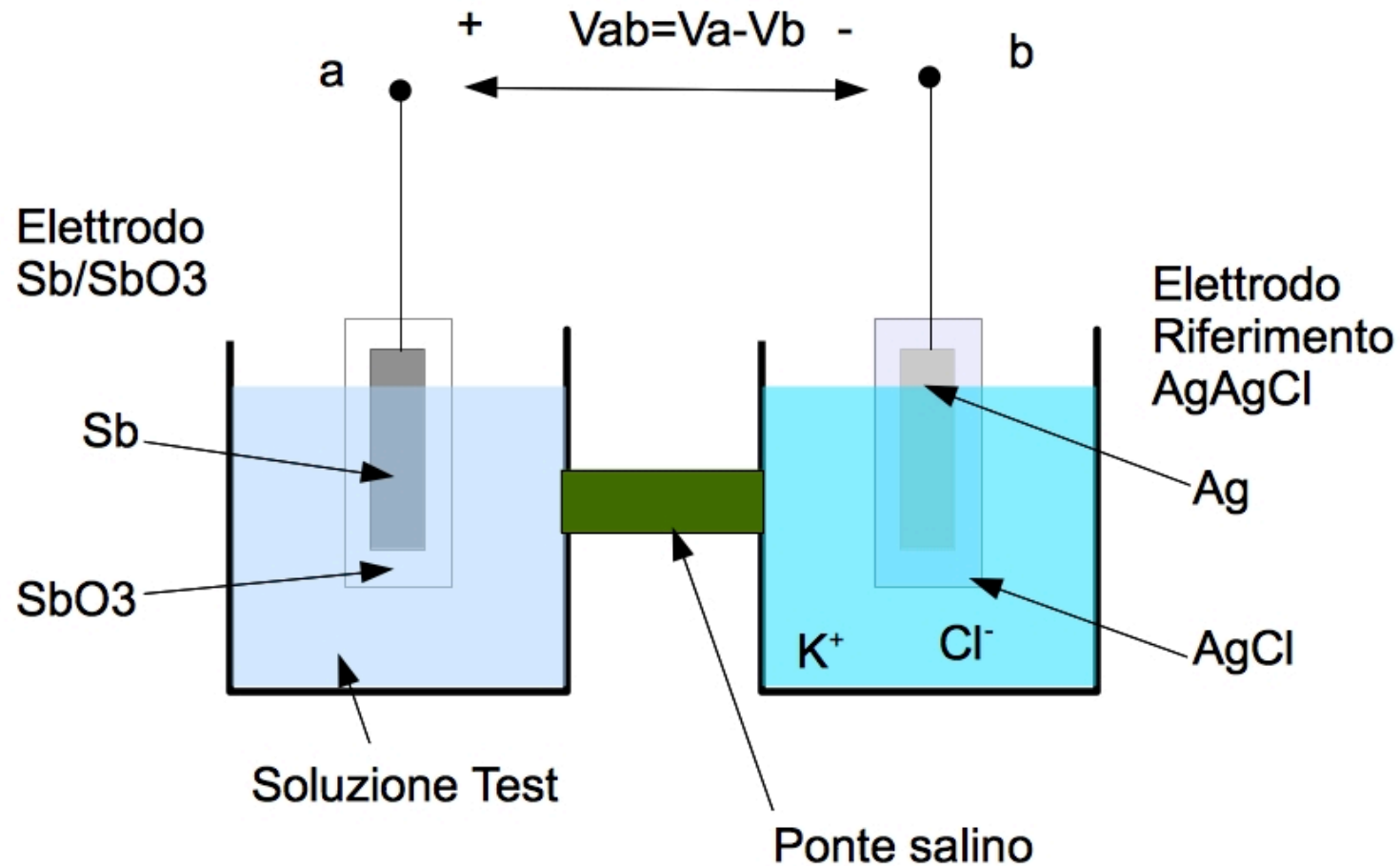
## Sensori Chimici 1

Progettare uno strumento lineare per la misura di pH tramite elettrodo antimonio. Progettare il sistema in modo tale che l'uscita sia  $V_o = k \cdot \text{pH}$ .  
Con  $k=2$ .

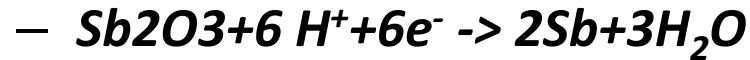
Per misurare il pH possiamo utilizzare la semicella ad Antimonio/Ossido di Antimonio e un elettrodo di riferimento. Ipotizziamo di usare un elettrodo Ag/AgCl per il riferimento.

Il sistema completo è rappresentato in figura.

L'elettrodo di riferimento è in condizioni standard ovvero concentrazione di  $\text{Cl}^-$  pari a 1M.



In base alla reazione che si sviluppa nella semicella con elettrodo Sb:



Si ottiene la seguente legge di Nernst:

$$E = E_{(\text{Sb}^{3+}/\text{Sb}^0)_0} + \frac{RT}{6F} \ln \left( [\text{H}^+]^6 \right) = E_{(\text{Sb}^{3+}/\text{Sb}^0)_0} + 2.303 \frac{RT}{6F} \log \left( [\text{H}^+]^6 \right) = E_{(\text{Sb}^{3+}/\text{Sb}^0)_0} + 2.303 \frac{RT}{F} \log \left( [\text{H}^+] \right)$$

Da cui:

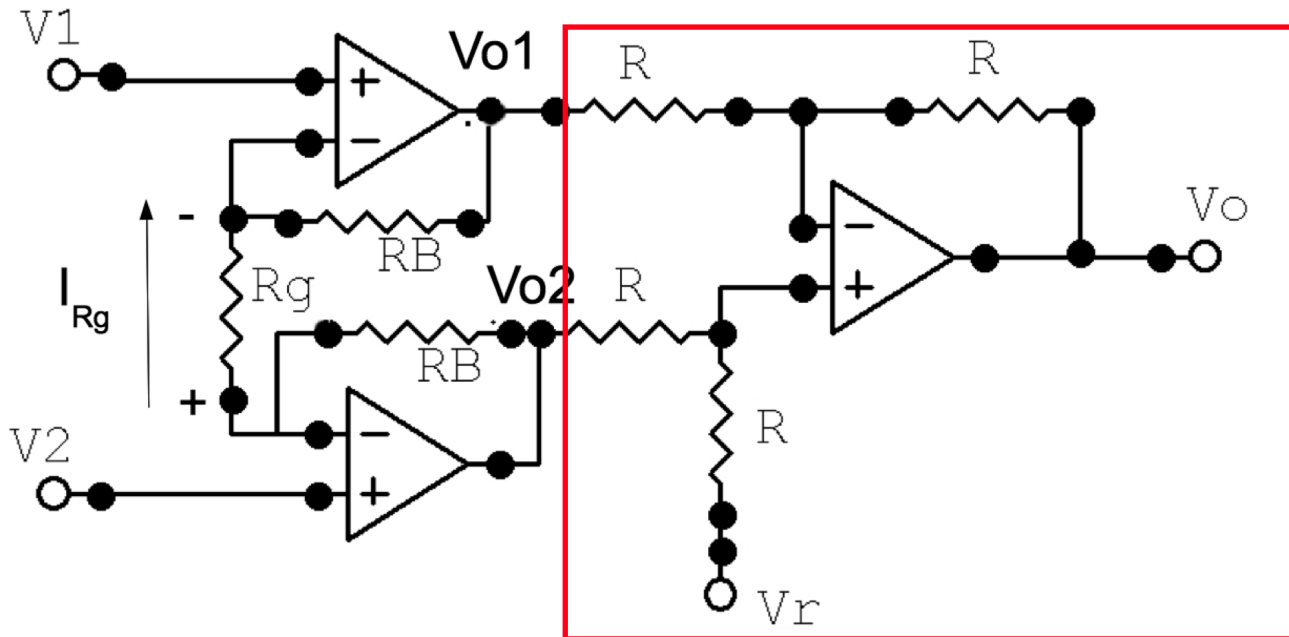
$$E = E_{(\text{Sb}^{3+}/\text{Sb}^0)_0} - 2.303 \frac{RT}{F} \text{pH}$$

- Si noti che essendo  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  e Sb solidi, la loro concentrazione non compare nella equazione, così come non compare quella dell'acqua, essendo in sostanza assunta invariante.
- Nota:  $R=8.31 \text{ [J K}^{-1} \text{ mol]}$ ,  $F=96485.3415 \text{ [C mol]}$  ( $R/F = 8.6127 \cdot 10^{-5} \text{ [J K}^{-1} \text{ C}^{-1}] = 8.6127 \cdot 10^{-5} \text{ [V K}^{-1}]$ ).
- **(RT)/F** vale circa **0.0256 V** a  $25\text{C}^\circ$  ovvero  $298 \text{ K}$

Se consideriamo il percorso da **a** a **b** possiamo scrivere il seguente potenziale

$$V_{ab} = E^0 - 2.303(RT/F)\text{pH} - E^1$$

Dove  $E^0$  è il potenziale standard della cella di misura e  $E^1$  quello dell'elettrodo di riferimento. A questo punto dobbiamo progettare un circuito di lettura che rispetti le specifiche desiderate. Consideriamo il seguente circuito nel quale gli amplificatori sono ideali e vale il cortocircuito virtuale (i terminali - degli operazionali hanno lo stesso potenziale di quelli +).



$$I_{Rg} = (V_2 - V_1) / Rg$$

$$V_{o1} = V_1 - (Rb/Rg)(V_2 - V_1)$$

$$V_{o2} = V_2 + (Rb/Rg)(V_2 - V_1)$$

Il secondo blocco del circuito (quello contrornato di rosso) è un amplificatore differenziale ideale. È possibile dimostrare che, applicando la sovrapposizione degli effetti, l'uscita dallo stadio sia:

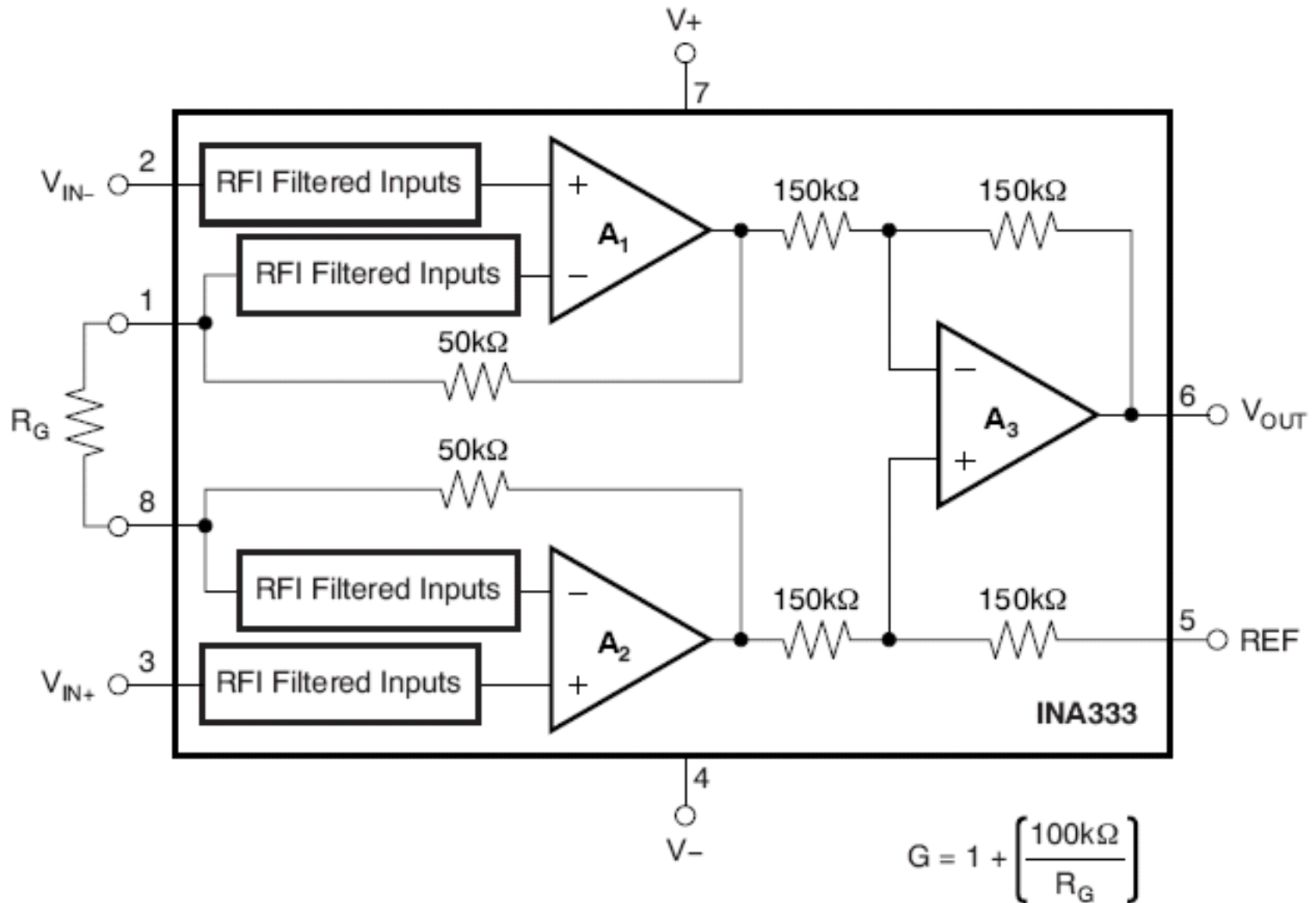
$$V_o = (V_{o2} - V_{o1}) + V_r$$

Sostituendo otteniamo:

$$V_o = (1 + 2Rb/Rg)(V_2 - V_1) + V_r$$

Effettivamente il circuito riportato non è altro che **un amplificatore da strumentazione** (nella slide successiva si riporta lo schema di un amplificatore da strumentazione commerciale) con amplificazione  $A = (1 + 2Rb/Rg)$

# Schema di un INA333



A questo punto bisogna collegare la cella al nostro amplificatore. In particolare per ottenere l'uscita desiderata dovremo:

- Collegare l'elettrodo  $\text{Sb/Sb}_2\text{O}_3$  all'ingresso invertente dell'amplificatore (il punto **a** sarà collegato all'ingresso V1)
- Collegare l'elettrodo  $\text{AgAgCl}$  all'ingresso non invertente dell'amplificatore (il punto **b** sarà collegato all'ingresso V2)

In questo modo l'uscita del nostro circuito sarà:

$$\begin{aligned} \mathbf{V_o} &= \mathbf{A(V_{ba})} + \mathbf{V_r} = -A_{vab} + V_r = -A(E_0 - 2.303(RT/F)\text{pH} - E_1) + V_r = \\ &= A * 2.303 * (RT/F)\text{pH} + A * (E_1 - E_0) + V_r \end{aligned}$$

Per ottenere il risultato voluto  $\mathbf{V_o = k * pH}$ , dobbiamo porre:

$$1) A * 2.303 * (RT)/F = 2$$

E una volta determinato A, dobbiamo imporre

$$2) A * (E^1 - E^0) + V_r = 0 \text{ in modo da ricavare } V_r = -A * (E^1 - E^0) \rightarrow V_r = A(E^0 - E^1)$$