



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PAVIA**  
**Facoltà di Medicina e Chirurgia**

*Corso di laurea in  
Tecnica di radiologia medica, per immagini e radioterapia*

*Misure elettriche ed elettroniche*

# SENSORI

# SENSORI: GENERALITÀ

- **scopo della strumentazione *diagnostica*:**  
*ottenere informazioni sullo stato fisiologico del paziente, mediante la **misura di parametri fisici** correlati alle funzioni di determinati organi/apparati*
  
- ***esempi di parametri fisici misurati dai sensori:***
  - *differenze di potenziale elettrico*
  - *temperature*
  - *concentrazioni chimiche*
  - *forze e pressioni*
  - ...
  
- ***“definizione” di sensore:***  
*componente fisico che altera le proprie caratteristiche e fornisce un segnale **elettrico** che varia in relazione al parametro fisico da rilevare*

# SENSORI: GENERALITÀ

## ■ criteri di scelta del sensore:

- *campo di variazione del parametro*
- *rapidità di variazione del parametro*
- *condizioni ambientali*
- *condizioni operative*

.....

## ■ ogni parametro fisico necessita di un sensore *specifico*, da scegliere in base a:

- *principio di funzionamento*
- *intervallo di misura*
- *precisione della misura*
- *presenza di disturbi (rumore)*
- *ingombro*
- *costo*
- *possibilità di sterilizzazione*
- *compatibilità con le strutture biologiche*
- *necessità e modalità di alimentazione*
- *caratteristiche dell'amplificatore a cui vengono collegati*

# SENSORI: GENERALITÀ

## ■ *elenco dei principali sensori biomedicali:*

- *elettrodi*
- *sensori di temperatura*
- *sensori chimici*
  - *elettrodi di riferimento*
  - *elettrodo  $pO_2$*
  - *elettrodi a membrana*
  - *misura del pH*
  - *misura di  $pCO_2$*
- *sensori ottici*
- *sensori meccanici*
  - *sensore di forza*
  - *sensore di pressione*
  - *sensore di accelerazione*
  - *sensori di suono*

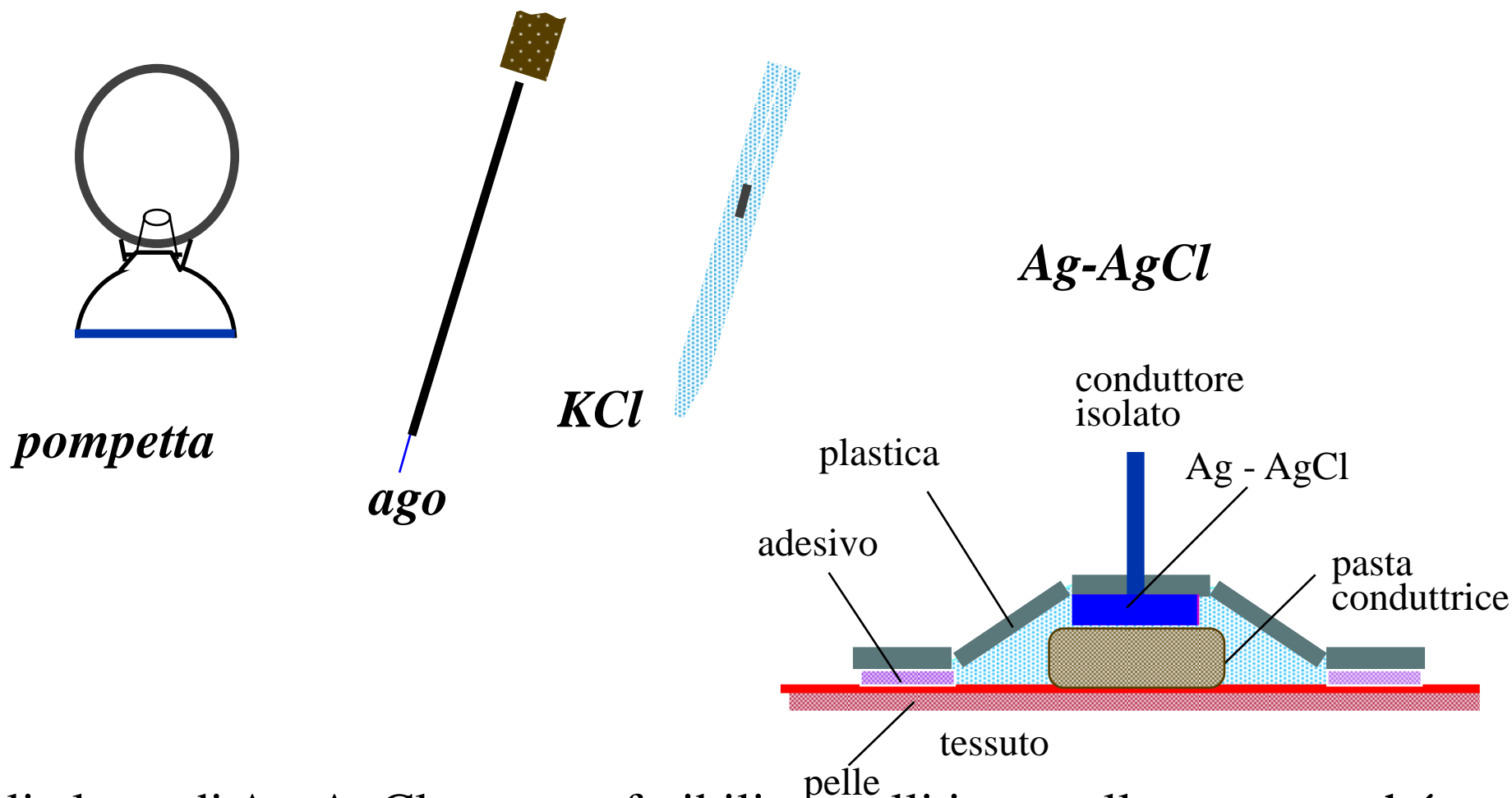
# ELETTRODI

- *gli elettrodi sono elementi di materiale conduttore (metallo o soluzione elettrolitica)*
- *gli elettrodi acquisiscono **direttamente** i parametri fisici da misurare (che sono potenziali elettrici locali), quindi non necessitano di “trasduzione” (cioè conversione del parametro fisico in un segnale elettrico)*
- *problema: gli elettrodi generano differenze di potenziale dovute a:*
  - *diffusione ionica (“potenziali di diffusione”)*
  - *caratteristiche intrinseche dei materiali (“potenziali di giunzione”)*
- *le ampiezze tipiche dei potenziali di diffusione e giunzione sono ~ 100 mV, mentre le ampiezze dei segnali biologici prelevati sono **1  $\mu$ V ÷ 10 mV***  
*-> queste ultime devono essere **amplificate***

↑  
elettroencefalogramma

# ELETTRODI

*Esempi di elettrodi utilizzati nella pratica clinica*

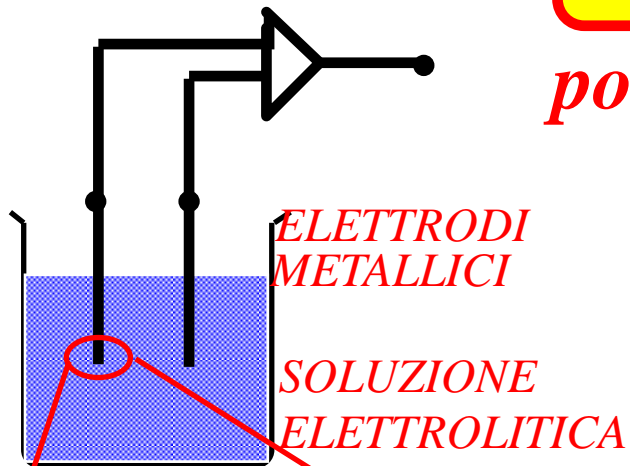


gli elettrodi Ag-AgCl sono preferibili a quelli in metallo puro, perché questi ultimi presentano il problema della *polarizzazione* (=creazione di *d.d.p.* tra elettrodo e soluzione) →

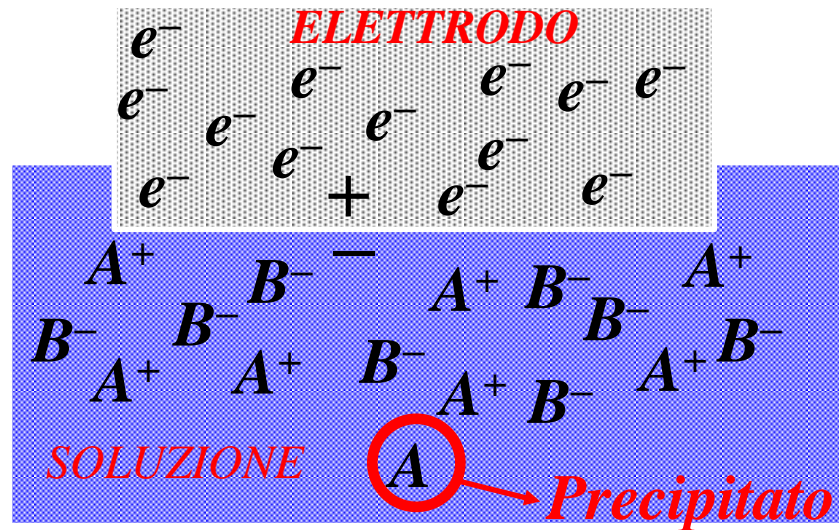
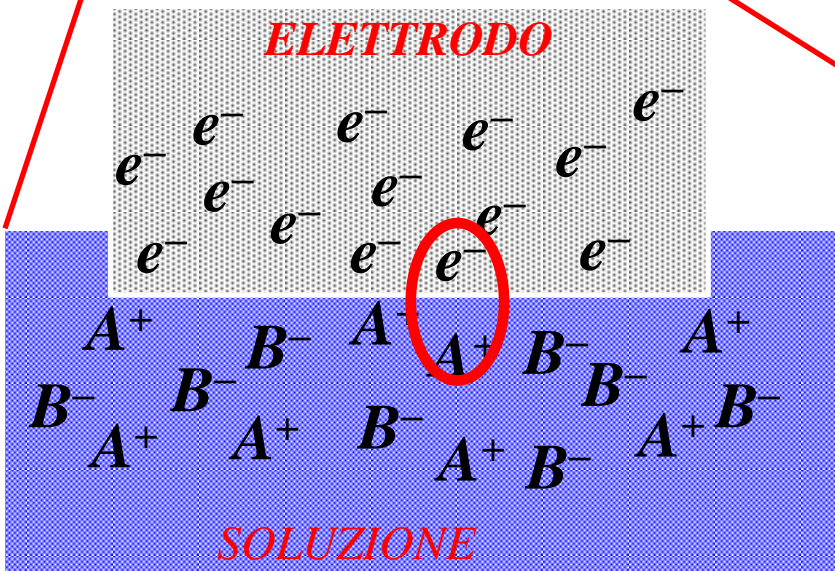
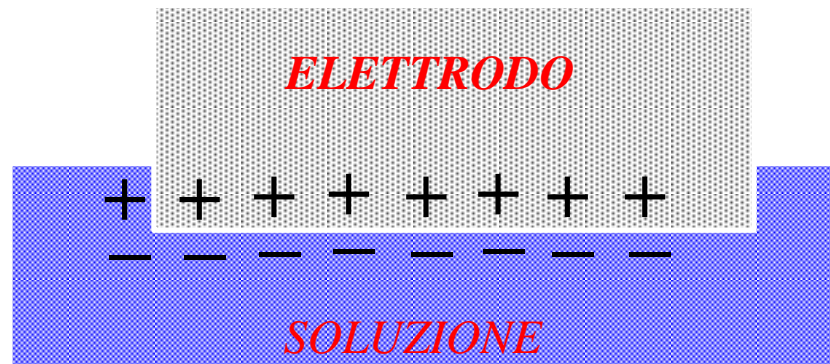
# ELETTRODI

*polarizzazione:*

AMPLIFICATORE



d.d.p.



# ELETTRODI

■ *il problema della polarizzazione viene molto ridotto dagli elettrodi Ag-AgCl:*

*soluzione  $H_2O$ ,  $NaCl$  →  $H_2O$ , ioni  $Na^+$ , ioni  $Cl^-$*

*$Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl$  → formazione di uno strato  $AgCl$ , che “protegge” dalla polarizzazione)*

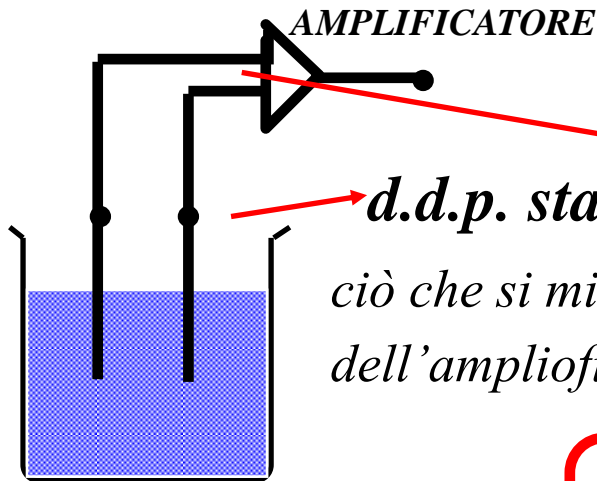
*vantaggi:* ↓

- *polarizzazione ridotta*
- *l'elettrodo si ossida poco*
- *si forma poco precipitato*

➔ *ecco perché gli elettrodi più usati sono di tipo Ag-AgCl*







*d.d.p. stadio ingresso amplificatore*

*ciò che si misura è la corrente che passa nella resistenza d'ingresso dell'amplificatore -> misura corretta se*

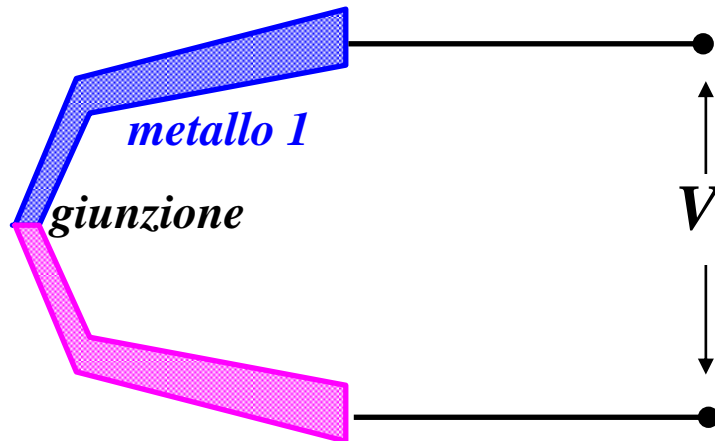
$$R_{\text{contatto elettrodo}} \ll R_{\text{ingresso amplificatore}}$$

■  $R_{\text{contatto}} \sim 1 \div 10 \text{ M}\Omega$  (per elettrodi KCl) o  $10 \div 100 \text{ k}\Omega$  (per elettrodi cutanei)

■ per ridurre  $R_{\text{contatto}}$  si usa la pasta condudente (=soluz. elettrolitica interposta tra elettrodo e cute)

# SENSORI DI TEMPERATURA

## Esempio: le termocoppie



$$V = K_{1-2} T_{\text{giunzione}}$$

*tra due metalli si genera una d.d.p. direttamente proporzionale alla temperatura assoluta (=in Kelvin) della giunzione*

■ *le dimensioni tipiche delle termocoppie sono: cm ÷ μm*

*vantaggi delle termocoppie: risposta rapida e lineare in ampi intervalli di temperatura*

# SENSORI CHIMICI

1

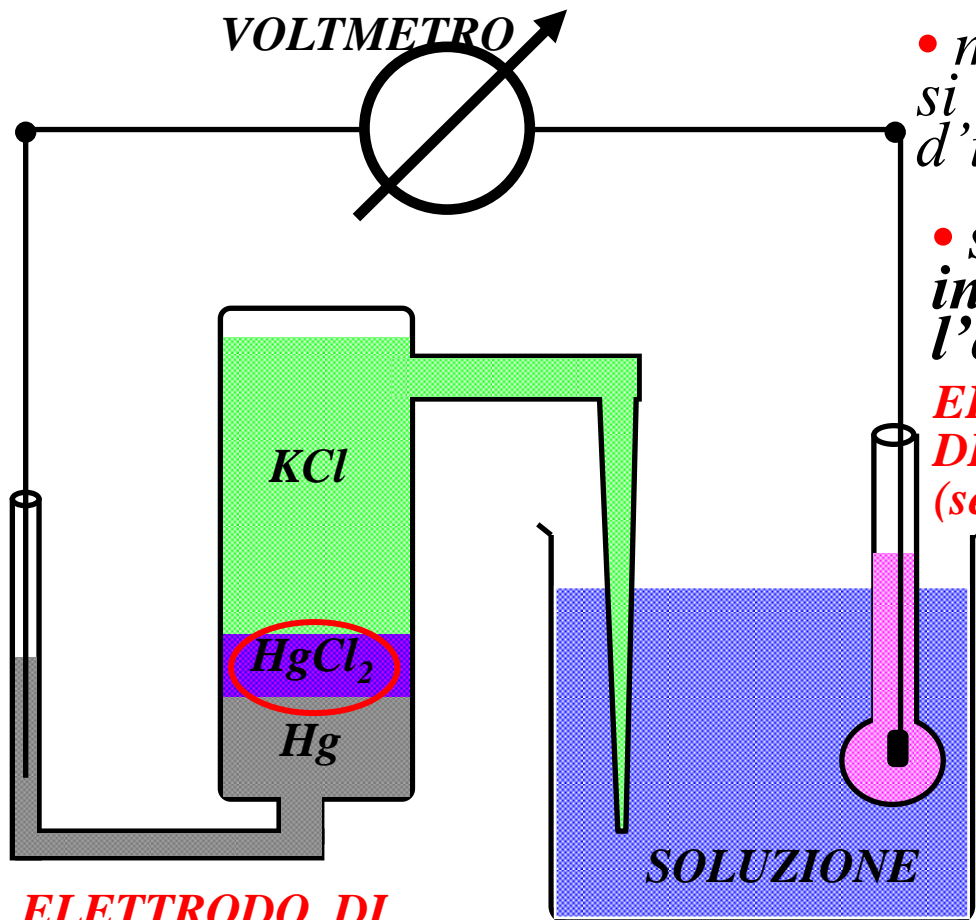
Si dividono in due categorie:

- **Quelli che permettono misure su sangue e altri **liquidi** biologici, ad es.:**
  - misure di  $O_2$  e  $CO_2$  nel sangue
  - misure di pH (cioè di concentrazione di  $H^+$ ) nelle soluzioni
- *Quelli che analizzano la composizione chimica di **gas**, ad es.:*
  - *misura di  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$  nell'aria inspirata ed espirata*

# SENSORI CHIMICI

2

**1) elettrodi di riferimento** (per misurare la pressione parziale di un gas in una soluzione; come riferimento spesso si usa il "calomelano" ( $\text{HgCl}_2$ , oppure  $\text{Ag-AgCl}$ ))



- misurando con il voltmetro la d.d.p., si risale alla pressione del gas d'interesse

- svantaggio: ingombro  $\Rightarrow$  invece del calomelano si puo' usare l'elettrodo  $\text{Ag-AgCl}$

**ELETTRODO DI MISURA**  
(sensibile alla presenza del gas)

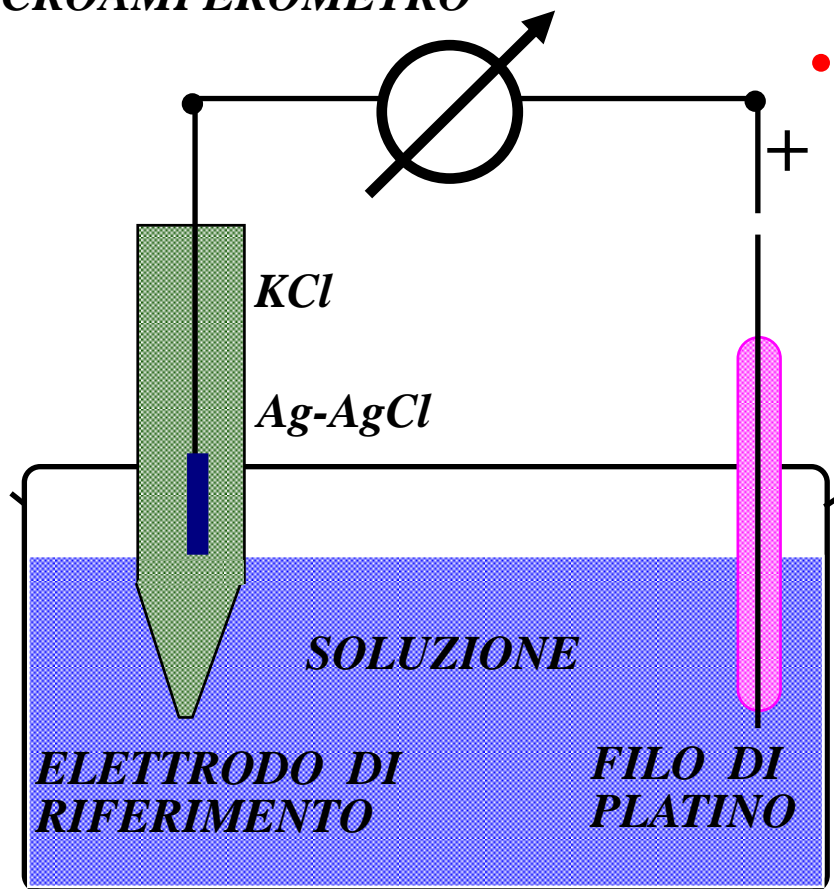
**ELETTRODO DI RIFERIMENTO**  
(insensibile alla presenza del gas)

# SENSORI CHIMICI

4

## 2) elettrodo $pO_2$ (per misurare $O_2$ in soluzione o in una miscela di gas)

MICROAMPEROMETRO



- *L'ossigeno in soluzione, urtando l'elettrodo Pt libera elettroni, i quali danno luogo a una corrente*

- *$pO_2$  è proporzionale alla corrente nel Pt*

*misurando la corrente  $i$ , si risale alla pressione dell'ossigeno ( $i \sim 1 \mu A$ )*

### 3) Misura di pH

- **Definizione:**  $\text{pH} = \log(1/[\text{H}^+]) = -\log[\text{H}^+]$   
(per l'acqua  $\text{pH}=7$ ; se  $\text{pH}<7$  la soluzione è acida, se  $\text{pH}>7$  è basica o alcalina)
- **Metodo:** la misura si effettua con un elettrodo a membrana di vetro permeabile *selettivamente* agli ioni  $\text{H}^+$ , sfruttando il fatto che la diffusione *selettiva* di ioni attraverso una membrana che separa due soluzioni a diverse concentrazioni  $C_1$  e  $C_2$  determina una d.d.p. del tipo:  $V = KRT \ln(C_1/C_2)$ , dove  $K$  e  $R$  sono costanti, e  $T$  è la temperatura assoluta
- l'elettrodo è dato da una sfera di vetro contenente una soluz. a conc. nota di  $\text{H}^+$ , associato a un elettrodo Ag-AgCl. In soluzione è posto un elettrodo di riferimento al calomelano o Ag-AgCl
- La d.d.p. misurata tra i due elettrodi è proporzionale alla pressione parziale di  $\text{H}^+$  in soluzione → misurando tale d.d.p. si risale alla quantità di  $\text{H}^+$ , e quindi al pH

## 4) Misura di pCO<sub>2</sub>

- Metodo: si sfrutta la reazione  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$   
⇒ la liberazione di H<sup>+</sup> fa aumentare il pH, dipendentemente dalla  
quantita' di CO<sub>2</sub> presente  
⇒ misurando la variazione di pH si risale a CO<sub>2</sub>

*In particolare l'elettrodo di misura ha una membrana di gomma permeabile a CO<sub>2</sub>, che entra nella soluzione in cui sono immersi un elettrodo per la misura di pH con il suo riferimento; nella soluzione avviene la reazione di cui sopra*