

# Alterazioni equilibrio acido-base

In base all'equazione di Henderson-Hasselbalch

$$\text{pH} = \text{pK} + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]}$$

➤ **Acidosi:** ↓rapporto  $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_2 \rightarrow \downarrow\text{pH}$ .

Se diminuzione dipende da:

↓ $\text{HCO}_3^- \rightarrow$  **acidosi metabolica (non-respiratoria)**

↑ $\text{CO}_2 \rightarrow$  **acidosi respiratoria**

➤ **Alcalosi:** ↑rapporto  $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_2 \rightarrow \uparrow\text{pH}$ .

Se aumento dipende da:

↑ $\text{HCO}_3^- \rightarrow$  **alcalosi metabolica (non-respiratoria)**

↓ $\text{CO}_2 \rightarrow$  **alcalosi respiratoria**

I compensi sono:

Respiratori (solo nelle alterazioni metaboliche):

- acidosi → iperventilazione
- alcalosi → ipoventilazione

Renali (nelle alterazioni respiratorie e metaboliche):

- Acidosi → aggiunta netta  $\text{HCO}_3^-$  al sangue + maggiore escrezione  $\text{NH}_4^+$  ed acidi titolabili nelle urine.
- Alcalosi → aumentata escrezione  $\text{HCO}_3^-$  + mancata escrezione  $\text{NH}_4^+$  ed acidi titolabili nelle urine.

## Basi tampone totali (Riserva alcalina):

Somma di tutti gli anioni (essenzialmente proteinati e bicarbonati) con effetto tampone

- La concentrazione totale delle basi tampone è un buon indice per il riconoscimento delle alterazioni dell'equilibrio acido-base
- Maggiore concentrazione delle basi tampone, rispetto al normale, viene indicato come BE positivo, minore concentrazione come BE negativo

## Acidosi respiratoria:



### Fase acuta:

- Tamponamento intracellulare

$$\uparrow [\text{HCO}_3^-] = 1 \text{ mM/l per } \uparrow \text{pCO}_2 = 10 \text{ mmHg}$$

### Fase cronica

#### Compenso renale:

- $\uparrow$  secrezione  $\text{H}^+$
- Riassorbimento totale  $\text{HCO}_3^-$
- $\uparrow$  escrezione  $\text{NH}_4^+$  (formazione nuovo  $\text{HCO}_3^-$ )

$$\uparrow [\text{HCO}_3^-] = 3.5 \text{ mM/l per } \uparrow \text{pCO}_2 = 10 \text{ mmHg}$$

## Eziologia dell'acidosi respiratoria

Cause		
Inibizione centro respiratorio	→	Oppiacei, barbiturici, anestetici Lesioni del sistema nervoso centrale Apnea protratta di origine centrale Terapia con ossigeno
Disordini neuromuscolari	→	Sindrome di Guillain-Barrè Poliomelite Sclerosi multipla Lesioni del midollo spinale Miastenia grave Patologie muscoli respiratori
Ostruzione vie aeree	→	Broncopneumopatia ostruttiva
Restrizione toraco-polmonare	→	Cifoscoliosi Fibrosi polmonare Pneumotorace
Disordini degli scambi gassosi	→	Polmonite Edema polmonare

## Acidosi metabolica:



## Compenso respiratorio:

- Iperventilazione ( $\downarrow \text{pCO}_2 = 1.2 \text{ mmHg}$  per  $\downarrow [\text{HCO}_3^-] = 1 \text{ mM/l}$ ), risposta limitata dalla conseguente inibizione della ventilazione.

## Compenso renale:

- $\uparrow$  secrezione  $\text{H}^+$
- Riassorbimento totale di  $\text{HCO}_3^-$
- $\uparrow$  escrezione  $\text{NH}_4^+$  (formazione nuovo  $\text{HCO}_3^-$ )

## Eziologia dell'acidosi metabolica

Cause

Eccessiva  
produzione o  
ingestione di H<sup>+</sup>



### **Chetoacidosi:**

- Diabete mellito
  - Alcolismo
- Denutrizione

### **Acidosi lattica:**

- Ipossiemia
  - Anemia
- Avvelenamento da CO
  - Esercizio intenso
- Sindrome da distress respiratorio dell'adulto

### **Ingestione farmaci o sostanze tossiche:**

- Metanolo (acido formico)
  - Etanolo
  - Salicilati
- Glicole etilenico
- Cloruro di ammonio

## Cause

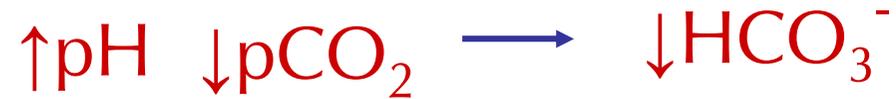
Incapacità di eliminare  $H^+$  →

- Insufficienza renale cronica
- Acidosi renale tubulare di tipo I
  - Acidosi renale di tipo 4 (ipoaldosteronismo, l'iperpotassiemia inibisce la sintesi di  $NH_3$ )

Perdita di  $HCO_3^-$  →

- Diarrea
- Acidosi renale di tipo 2 (insufficiente riassorbimento renale di  $HCO_3^-$ )

## Alcalosi respiratoria:



Fase acuta:

- Tamponamento intracellulare

$$\downarrow[\text{HCO}_3^-] = 2 \text{ mM/l per } \downarrow\text{pCO}_2 = 10 \text{ mmHg}$$

Fase cronica

Compenso renale:

- $\downarrow$  secrezione  $\text{H}^+$
- $\downarrow$  riassorbimento e  $\uparrow$  escrezione  $\text{HCO}_3^-$
- $\downarrow$  escrezione  $\text{NH}_4^+$

$$\downarrow[\text{HCO}_3^-] = 5 \text{ mM/l per } \downarrow\text{pCO}_2 = 10 \text{ mmHg}$$

## Eziologia dell'alcalosi respiratoria

### Cause

Stimolazione centro  
respiratorio



- Iperventilazione psiconevrotica
- Setticemia da Gram negativi
  - Intossicazione da salicilato
- Disordini neurologici (tumori, ictus)

Carenza di ossigeno



- Altitudini elevate
- polmonite, embolia polmonare
- Anemia grave

Ventilazione meccanica



Iperventilazione

## Alcalosi metabolica:



### Compenso respiratorio:

Ipoventilazione ( $\uparrow\text{pCO}_2 = 0.7 \text{ mmHg}$  per  $\uparrow[\text{HCO}_3^-] = 1 \text{ mM/l}$ )

### Compenso renale:

- $\downarrow$  secrezione  $\text{H}^+$
- $\downarrow$  riassorbimento e  $\uparrow$  escrezione  $\text{HCO}_3^-$

## Eziologia dell'alcalosi metabolica

### Cause

Perdita di  $H^+$  →

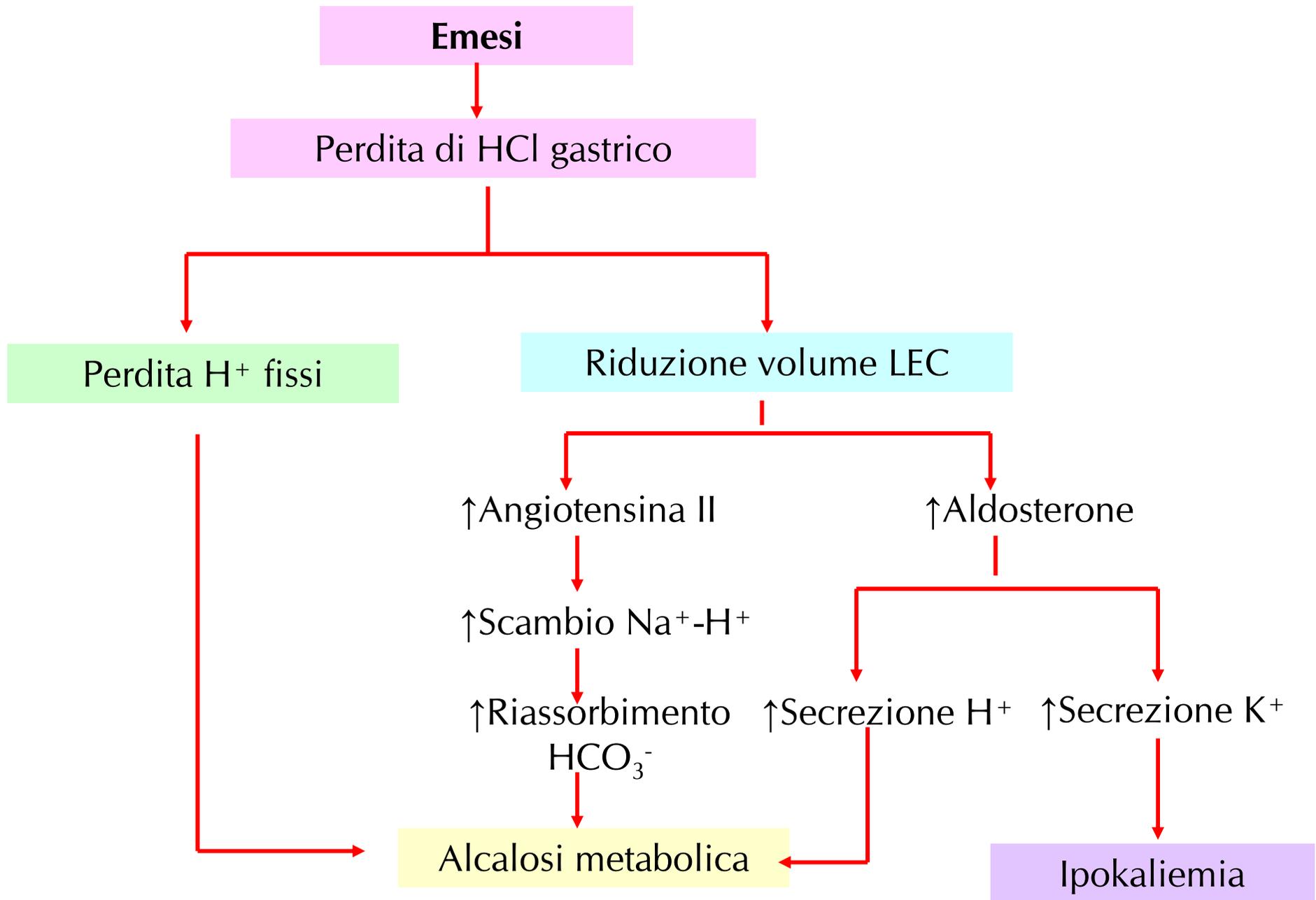
- Vomito (Perdita di  $H^+$  gastrici, permanenza  $HCO_3^-$  nel sangue, sostenuta dalla riduzione del LEC, ipopotassiemia)
- Iperaldosteronismo (aumentata secrezione di  $H^+$  dalle cellule intercalari, ipopotassiemia)

Alcalosi da riduzione del LEC →

- Diuretici che agiscono sull'ansa di Henle e diuretici tiazidici (aumentato riassorbimento di  $HCO_3^-$  per aumento di angiotensina II)

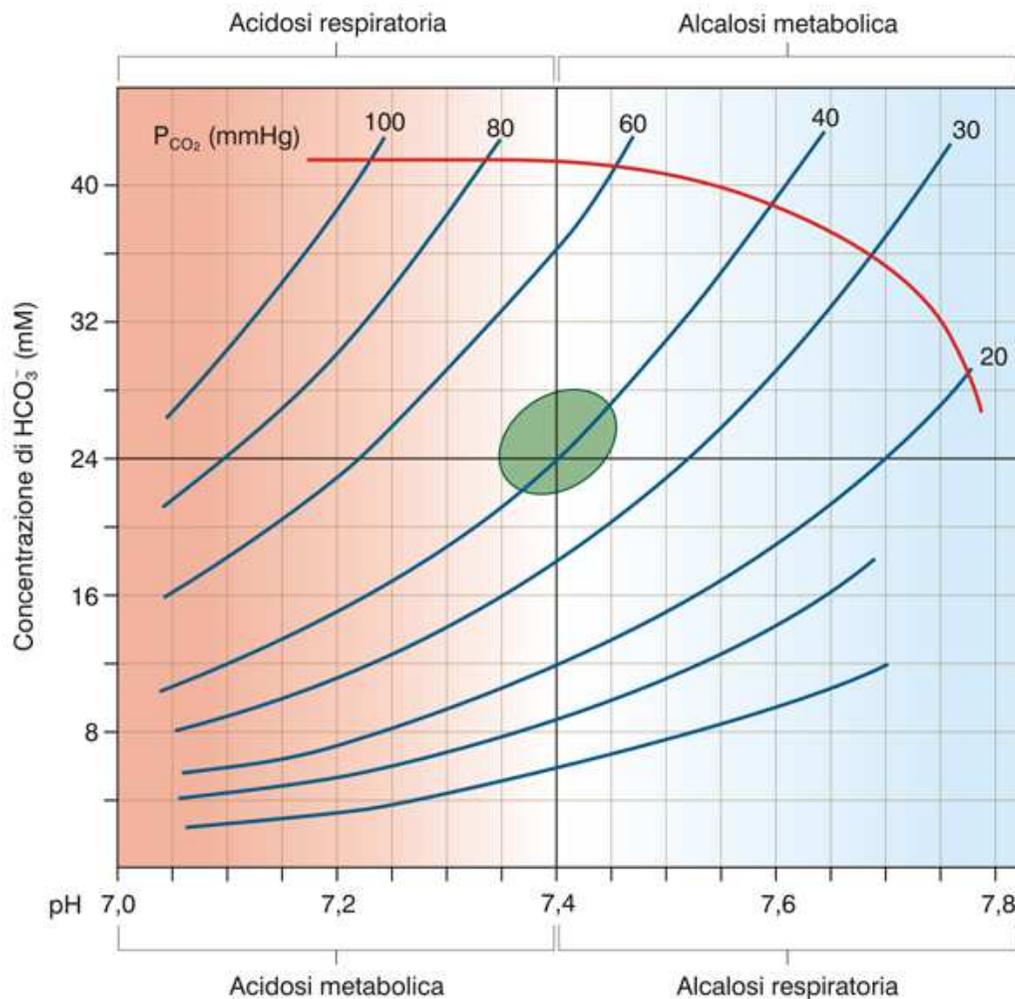
Ingestione o somministrazione eccessiva di  $HCO_3^-$  →

- Ingestione di antiacidi
- $HCO_3^-$  endovenoso



## Nomogramma acido-base

Vi sono riportati i valori di **pH** (sangue arterioso), **[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>]** e **pCO<sub>2</sub>** che si intersecano, secondo l'equazione di Henderson-Hasselbalch.

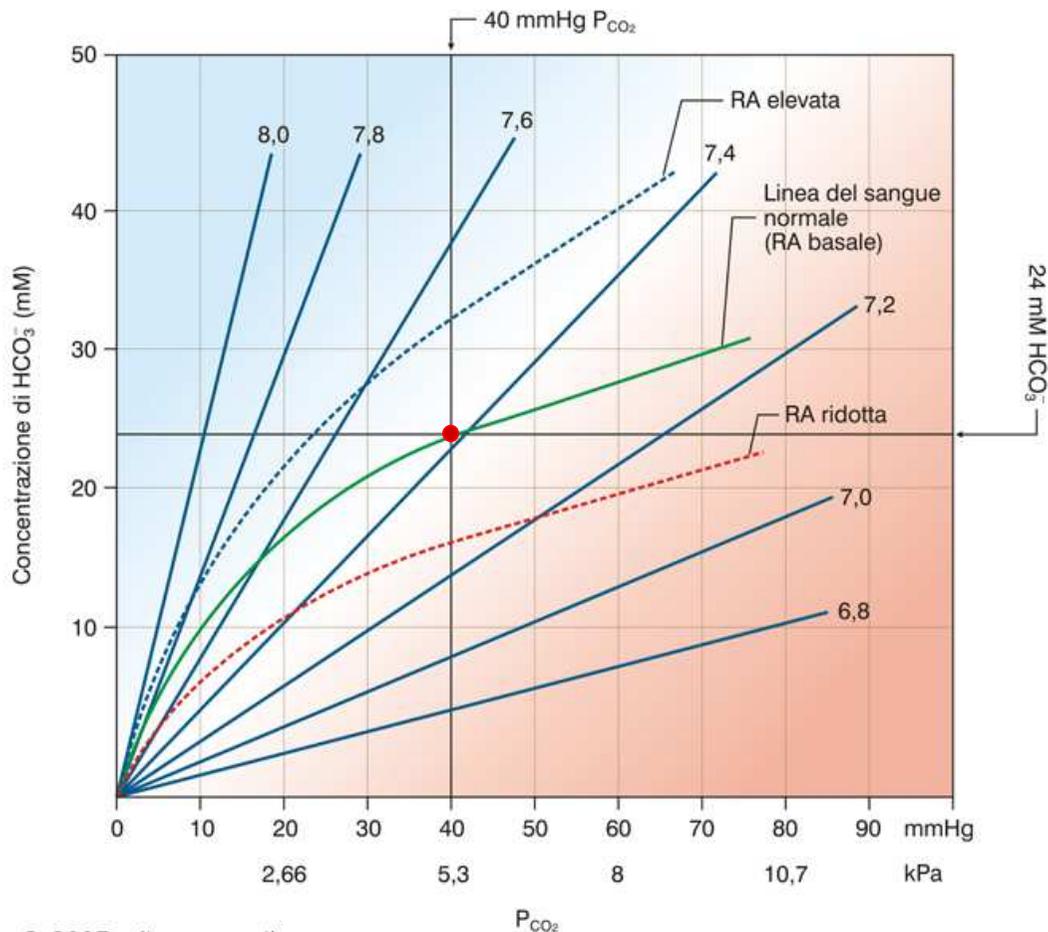


© 2005 edi.ermes milano

Relazione tra  $[\text{HCO}_3^-]$  plasmatica e pH per diversi valori di  $\text{pCO}_2$

La zona verde indica gli ambiti fisiologicamente accettabili di  $\text{pCO}_2$  (35-50 mmHg) e  $[\text{HCO}_3^-]$  (22-28 mM). Fuori da tale regione, si delimitano 4 quadranti:

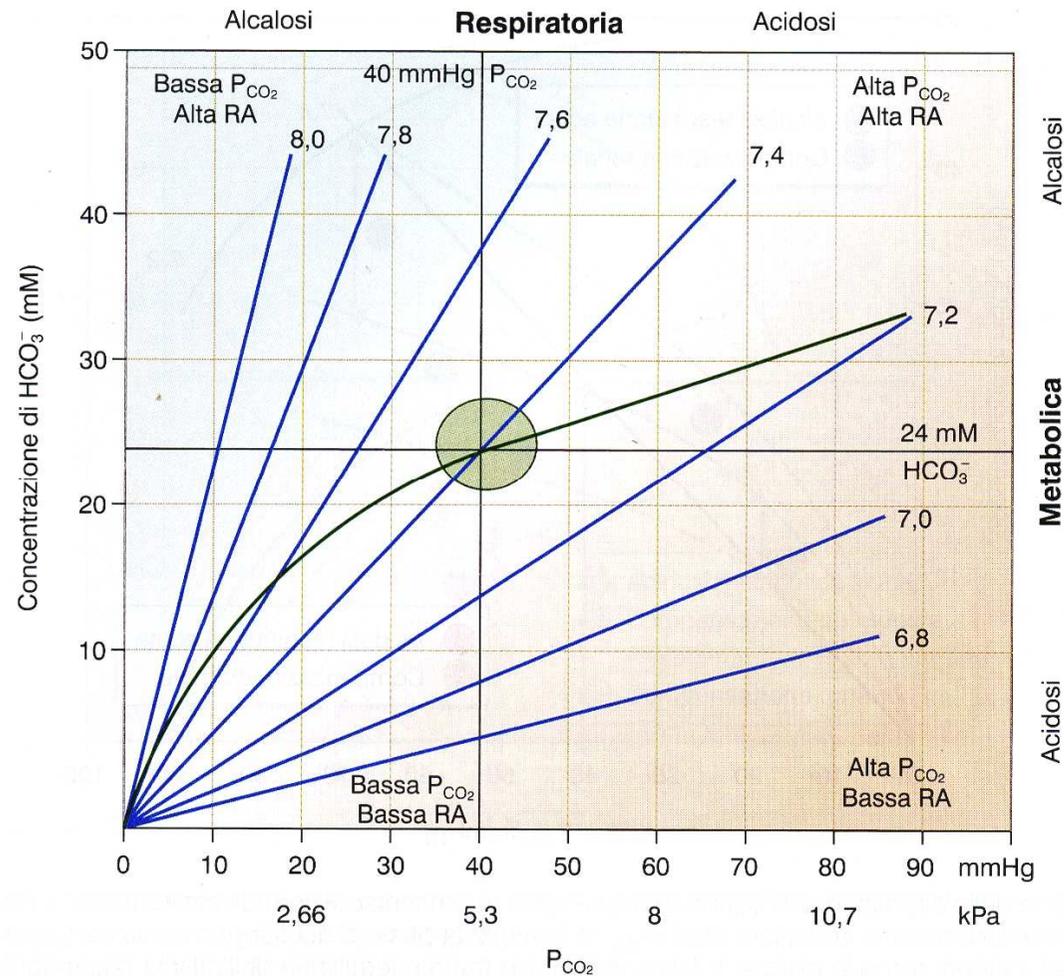
- Sinistra **acidosi**, Destra **alcalosi**
- Alto sinistra **natura respiratoria**, Basso sinistra **non-respiratoria (metabolica)**
- Alto destra **natura non-respiratoria (metabolica)**, Basso destra **respiratoria**



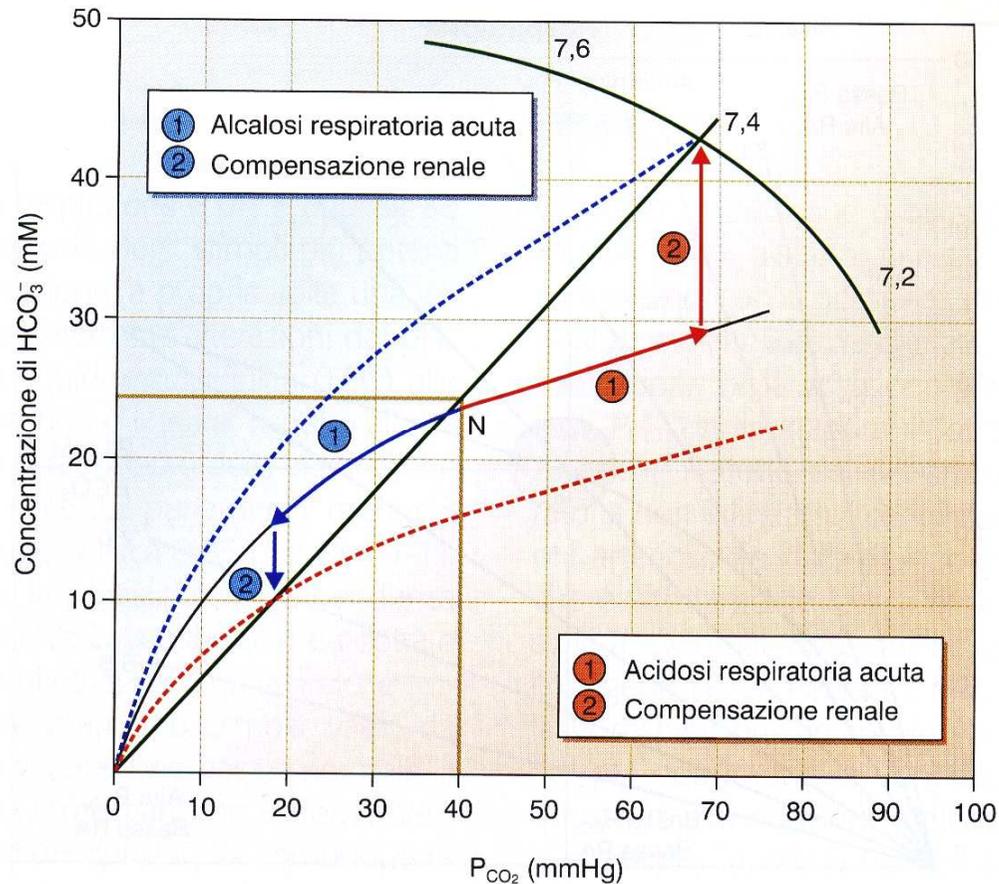
Relazione tra  $[\text{HCO}_3^-]$  plasmatica e  $\text{pCO}_2$  per diversi valori di pH

© 2005 edi.ermes milano

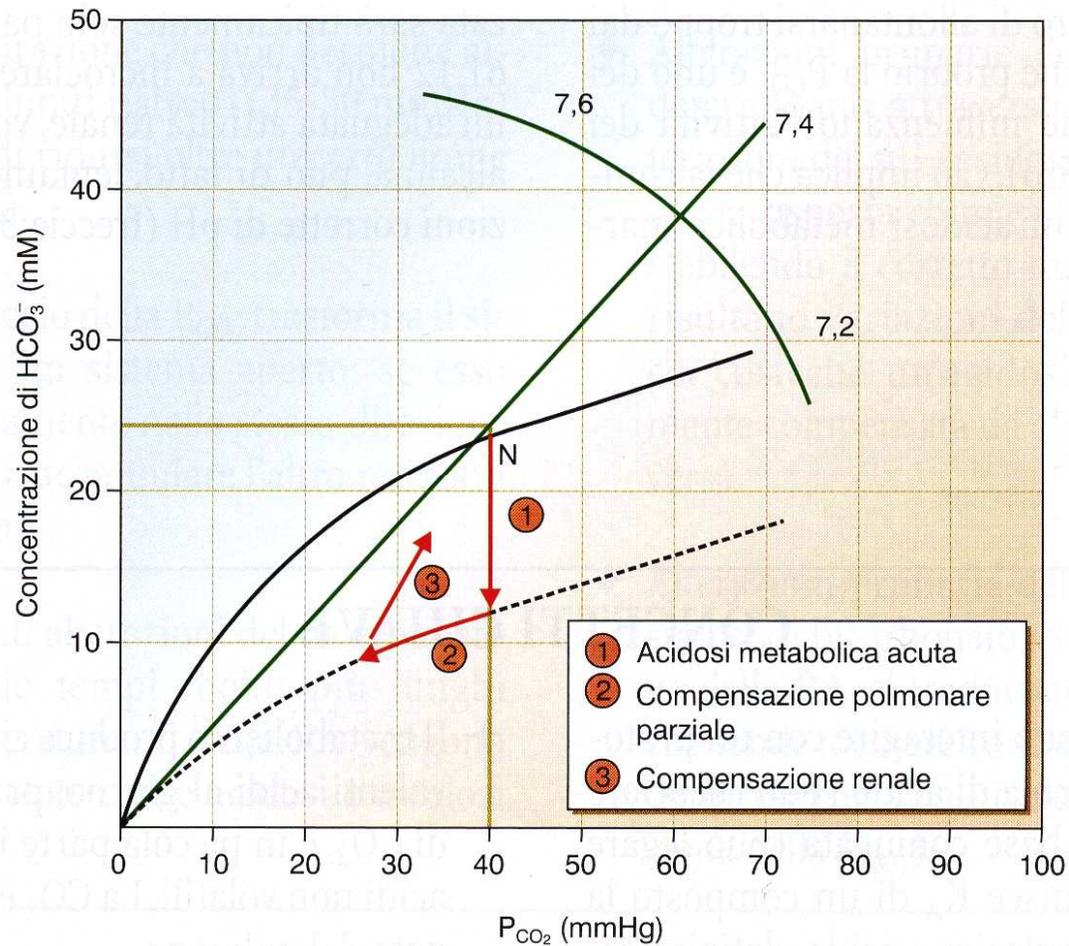
Ad ogni pH (linee rette) corrisponde un rapporto fisso tra  $[\text{HCO}_3^-]$  e  $\text{pCO}_2$ . Le variazioni di pH nel sangue (**linea del sangue**) dipendono principalmente dal suo contenuto di  $\text{HCO}_3^-$  (riserva alcalina RA). Con una RA normale ( $\text{HCO}_3^- = 24 \text{ mM}$ ) alterazioni della  $\text{pCO}_2$  (che non variano la RA) spostano il sistema lungo la **“linea del sangue normale” (verde)**. Modificazioni della RA cambiano le proprietà tampone del sangue, linea blu (RA elevata, BE+) e linea rossa (RA ridotta, BE-)



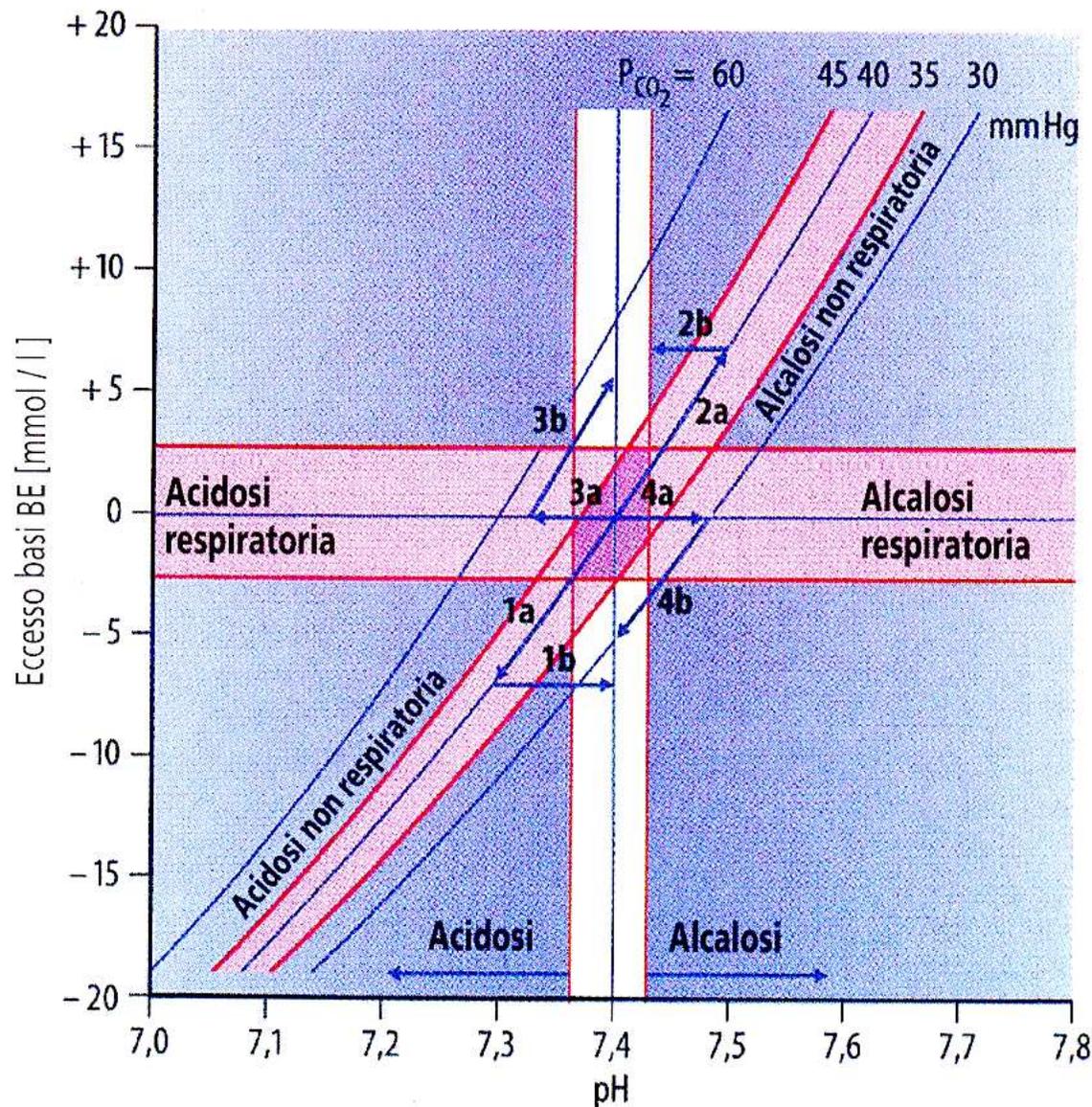
La zona verde indica gli ambiti fisiologicamente accettabili di pCO<sub>2</sub> e [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] e la linea verde la **linea del sangue normale**. Le regioni sopra e sotto la linea di [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>], indicano rispettivamente **alcalosi ed acidosi metabolica**. Le regioni a sinistra e a destra del valore di pCO<sub>2</sub> normale, indicano rispettivamente **alcalosi e acidosi respiratoria**.



Con  $[\text{HCO}_3^-]$  normale (RA normale), la risposta passiva del sangue, come tampone chimico, alle alterazioni di  $\text{pCO}_2$  è rappresentata da spostamenti lungo la linea del sangue normale (**freccia 1, blu, alcalosi e rossa, acidosi**). Se persiste la riduzione di  $\text{pCO}_2$  (**alcalosi respiratoria**), il sistema ripristina il pH, grazie all'eliminazione renale di  $\text{HCO}_3^-$  (**freccia 2 blu**), che sposta il sistema su una curva del sangue corrispondente a ridotta RA. Se persiste l'aumento di  $\text{pCO}_2$  (**acidosi respiratoria**), la produzione di  $\text{HCO}_3^-$  aumenta (**freccia rossa 2**) con spostamento su una curva del sangue corrispondente a maggiore RA.



In caso di perdita di  $\text{HCO}_3^-$  si ha una riduzione della RA, il sistema si sposta su una curva a ridotta RA (**acidosi metabolica, freccia 1**). Il meccanismo di compenso respiratorio, (**iperventilazione per ridurre la  $\text{pCO}_2$ , e ristabilire il pH**), si traduce in uno spostamento lungo questa nuova linea (**freccia 2**), ma non permette un compenso completo. Solo il compenso renale potrà ristabilire la RA (**freccia 3**). Si parla di acidosi metabolica completamente o parzialmente compensata se il pH torna o no al valore normale.



Il diagramma riporta come parametro le curve di  $p\text{CO}_2$  costante. I punti a sinistra e a destra della banda bianca indicano uno stato di acidosi e di alcalosi

**1a:** Acidosi primaria non respiratoria ( $p\text{CO}_2$  40 mmHg,  $\downarrow$ basi,  $[\text{HCO}_3^-]$ ).

**1b:** Compenso respiratorio (iperventilazione,  $\downarrow p\text{CO}_2$ ). Si parla di acidosi non respiratoria completamente o parzialmente compensata se il pH torna o no al valore normale.

**2a:** Alcalosi primaria non respiratoria ( $p\text{CO}_2$  40 mmHg,  $\uparrow$ basi  $[\text{HCO}_3^-]$ ).

**2b:** Compenso respiratorio (ipoventilazione  $\uparrow p\text{CO}_2$ ) sempre incompleta

**3a:** Acidosi respiratoria primaria ( $\uparrow p\text{CO}_2$ )

**3b:** compenso renale ( $\uparrow$ basi,  $[\text{HCO}_3^-]$ )

**4a:** Alcalosi respiratoria primaria ( $\downarrow p\text{CO}_2$ )

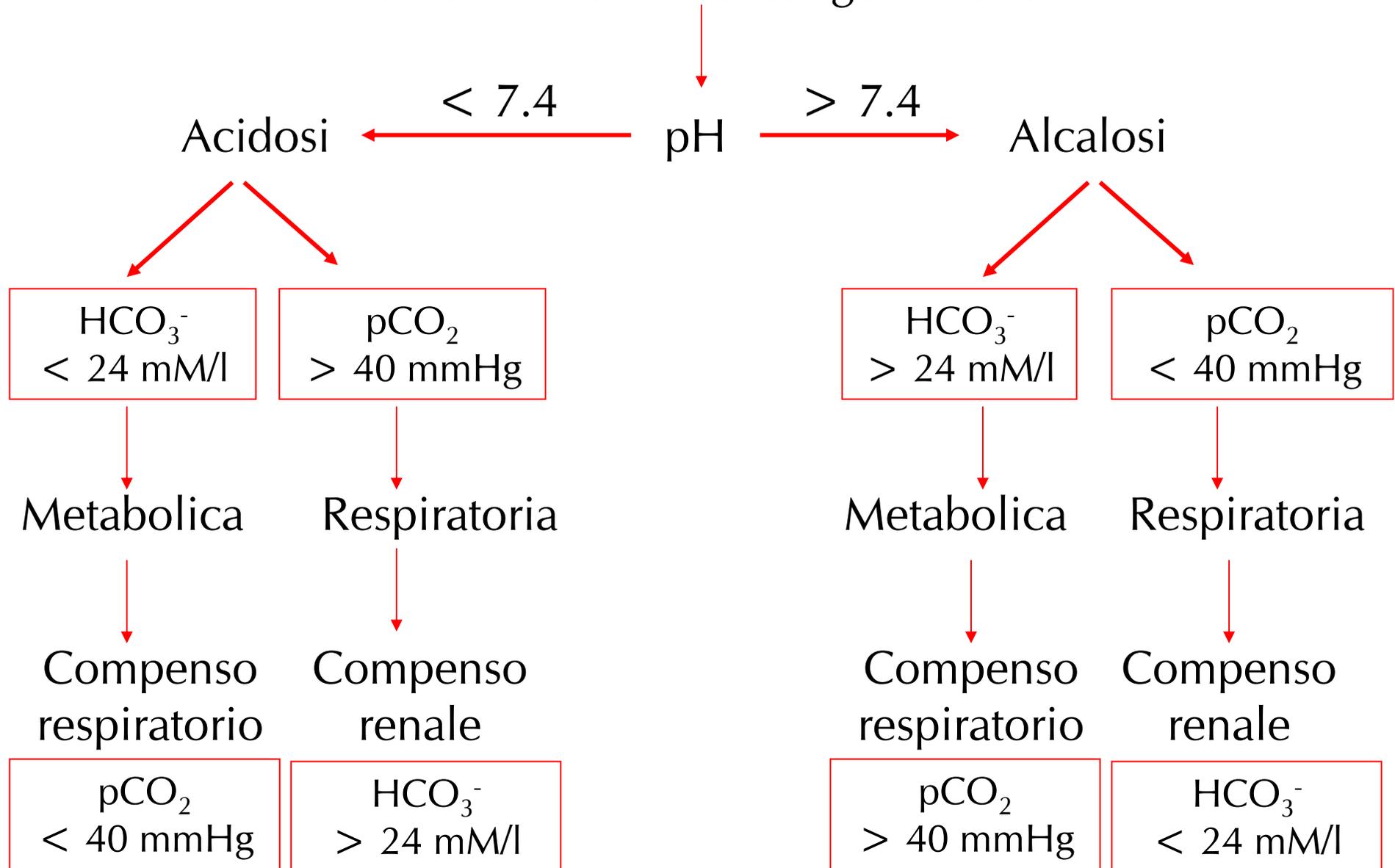
**4b:** Compenso renale ( $\downarrow$ basi  $[\text{HCO}_3^-]$ )

## Criteri diagnostici:

Misurare su campioni di sangue arterioso le grandezze che permettono la distinzione fra **alcalosi-acidosi**, come fra **forme respiratorie e non-respiratorie**:

- **pH**, indica se è presente uno squilibrio acido-base
- **pCO<sub>2</sub>** permette di distinguere un'alterazione primaria di tipo respiratorio
- **Eccesso delle basi (BE)** (ambito normale -2.5 - +2.5 mmol/l), permette di riconoscere se si è in presenza di un'alterazione primaria di tipo respiratorio o non respiratorio

Analisi dei disturbi acido-base semplici  
Parametri misurati nel sangue arterioso



Sangue arterioso:  $\text{pH} = 7.35$ ,  $[\text{HCO}_3^-] = 16 \text{ mEq/l}$ ,  $\text{pCO}_2 = 30 \text{ mmHg}$

Acidosi metabolica perché:

- $\text{pH} < 7.4$
- $[\text{HCO}_3^-] < 24 \text{ mEq/l}$
- $\text{pCO}_2 < 40 \text{ mmHg}$

Analisi risposta compensatoria: Acidosi metabolica compensata perché  $\text{pCO}_2 < 40 \text{ mmHg}$

Diagnosi: Acidosi metabolica semplice, con appropriata risposta compensatoria respiratoria in atto

Sangue arterioso: pH = 6.96,  $[\text{HCO}_3^-]$  = 12 mEq/l,  $\text{pCO}_2$  = 55 mmHg

Acidosi metabolica e respiratoria perché:

- pH < 7.4
- $[\text{HCO}_3^-]$  < 24mEq/l
- $\text{pCO}_2$  > 40 mmHg

Diagnosi: Alterazione mista, potrebbe essere presente in paziente con patologia respiratoria cronica (enfisema) e con una forma gastrointestinale acuta (diarrea)