

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 HCO_3^- al sangue + maggiore escrezione NH_4^+ ed acidi titolabili nelle urine.
- Alcalosi → aumentata escrezione HCO_3^- + mancata escrezione 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 H^+
- Riassorbimento totale HCO_3^-
- \uparrow escrezione NH_4^+ (formazione nuovo 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 H^+
- Riassorbimento totale di HCO_3^-
- \uparrow escrezione NH_4^+ (formazione nuovo HCO_3^-)

Eziologia dell'acidosi metabolica

Cause

Eccessiva
produzione o
ingestione di H⁺



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 H^+
- \downarrow riassorbimento e \uparrow escrezione HCO_3^-
- \downarrow escrezione 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 H^+
- \downarrow riassorbimento e \uparrow escrezione HCO_3^-

Eziologia dell'alcalosi metabolica

Cause

Perdita di H^+ →

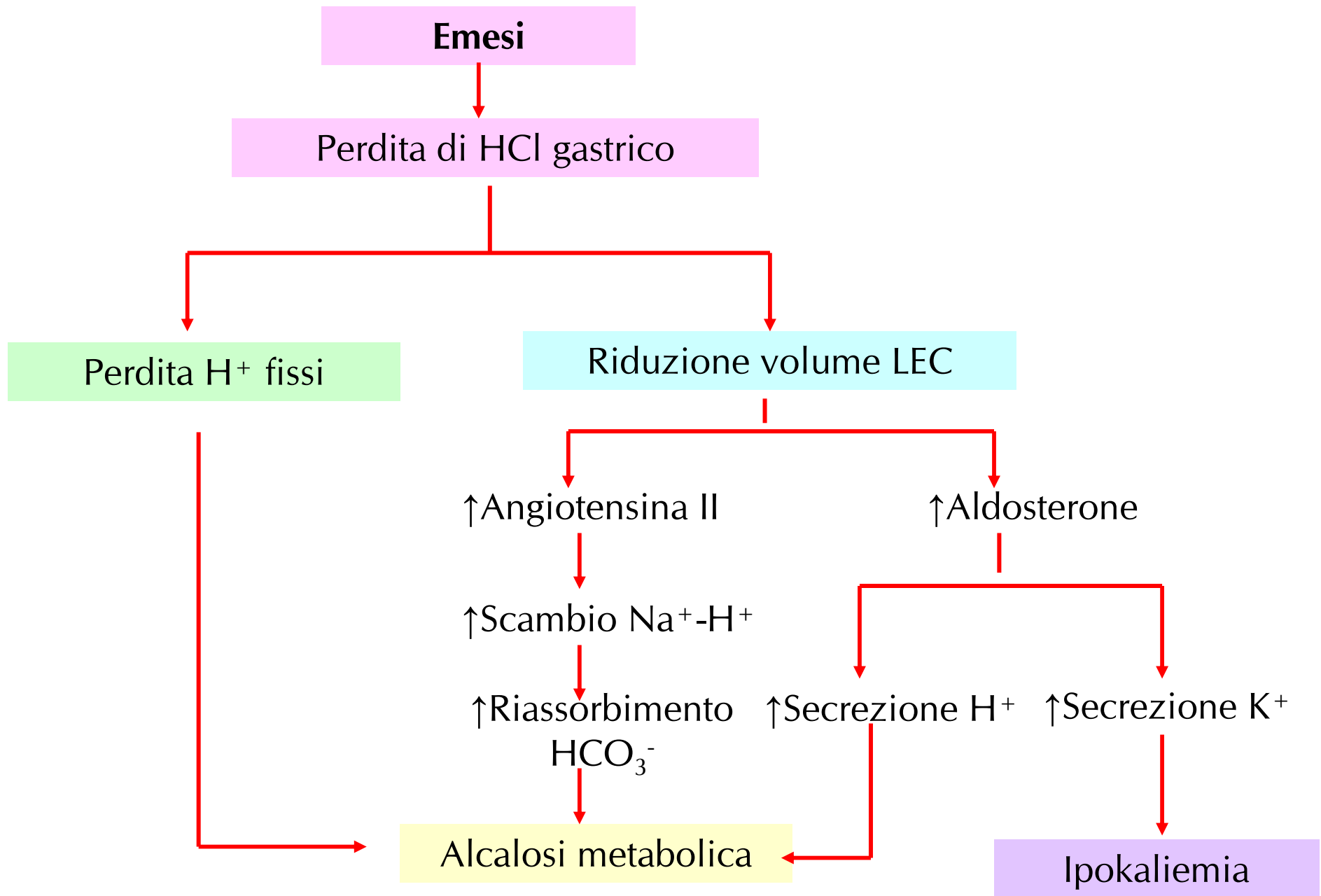
- Vomito (Perdita di H^+ gastrici, permanenza HCO_3^- nel sangue, sostenuta dalla riduzione del LEC, ipopotassiemia)
- Iperaldosteronismo (aumentata secrezione di H^+ dalle cellule intercalari, ipopotassiemia)

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)

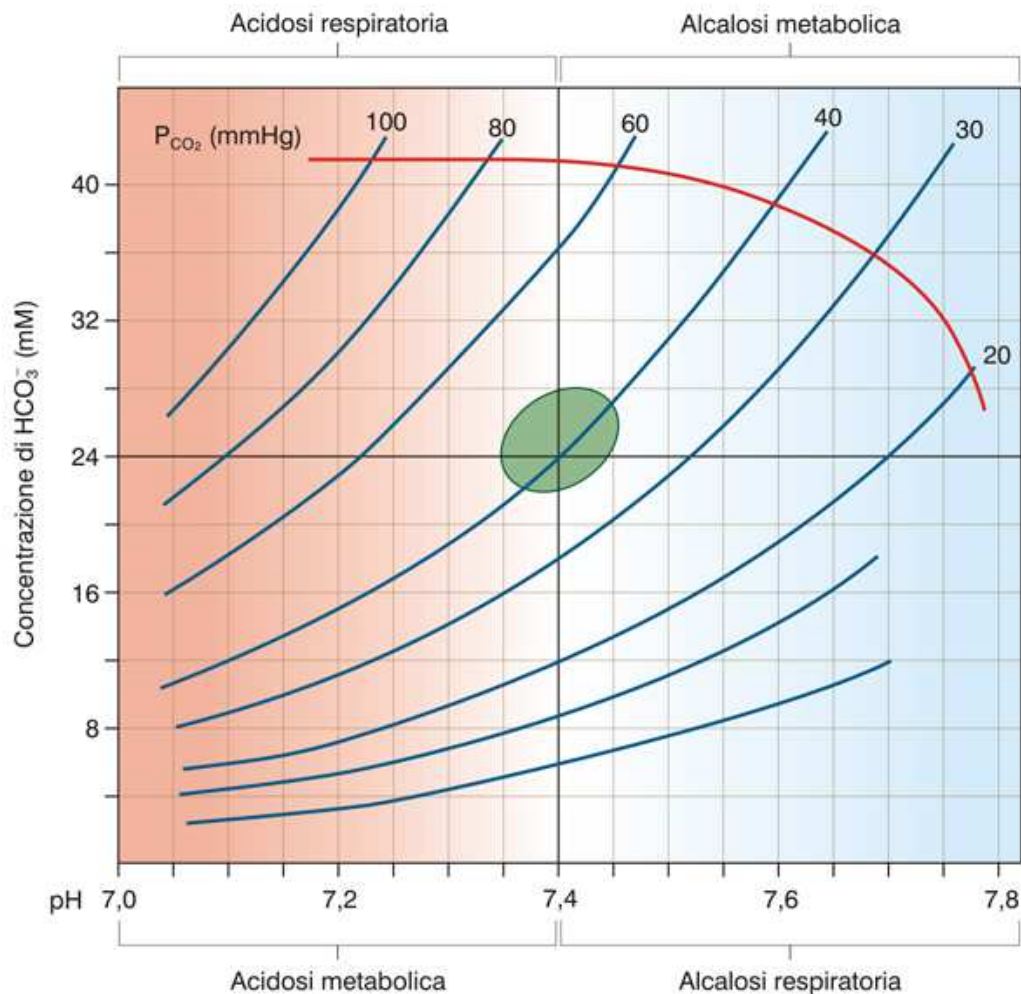
Ingestione o somministrazione eccessiva di HCO_3^- →

- Ingestione di antiacidi
- HCO_3^- endovenoso



Nomogramma acido-base

Vi sono riportati i valori di **pH** (sangue arterioso), **[HCO₃⁻]** e **pCO₂** che si intersecano, secondo l'equazione di Henderson-Hasselbalch.

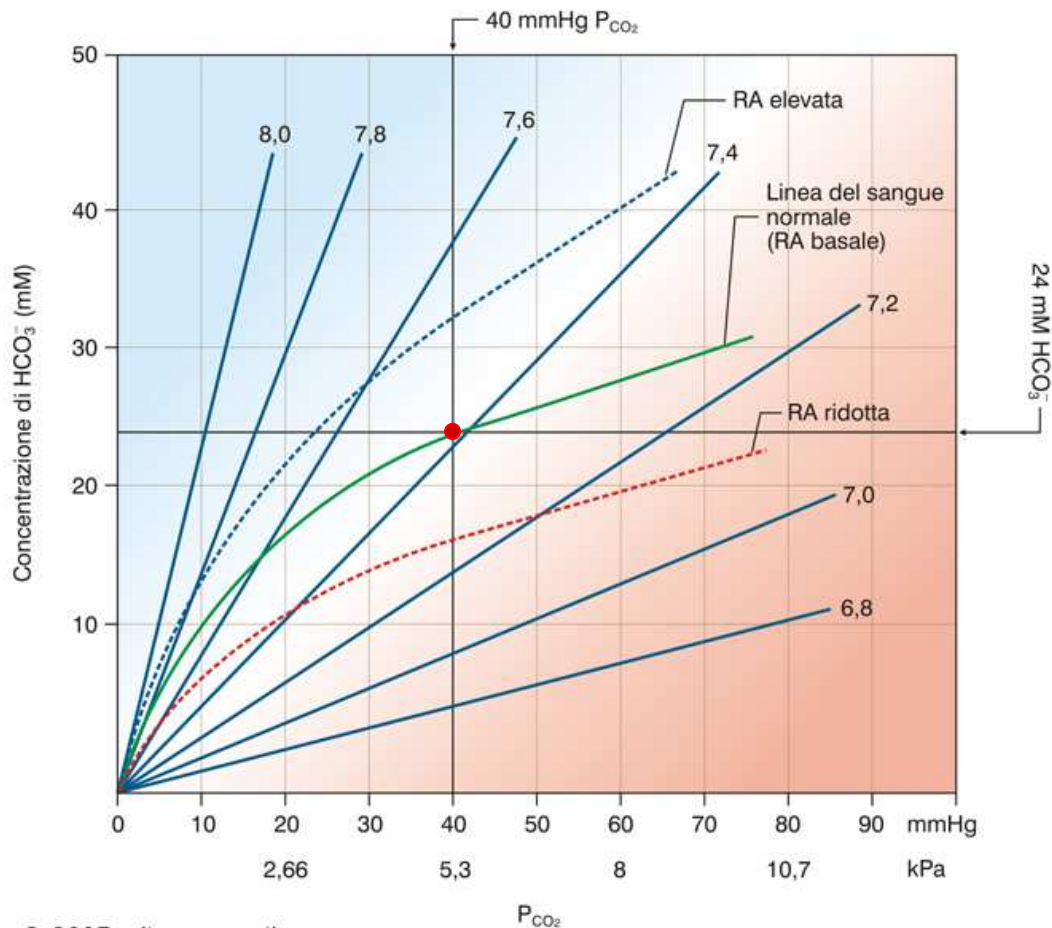


© 2005 edi.ermes milano

Relazione tra $[\text{HCO}_3^-]$ plasmatica e pH per diversi valori di pCO_2

La zona verde indica gli ambiti fisiologicamente accettabili di pCO_2 (35-50 mmHg) e $[\text{HCO}_3^-]$ (22-28 mM). Fuori da tale regione, si delimitano 4 quadranti:

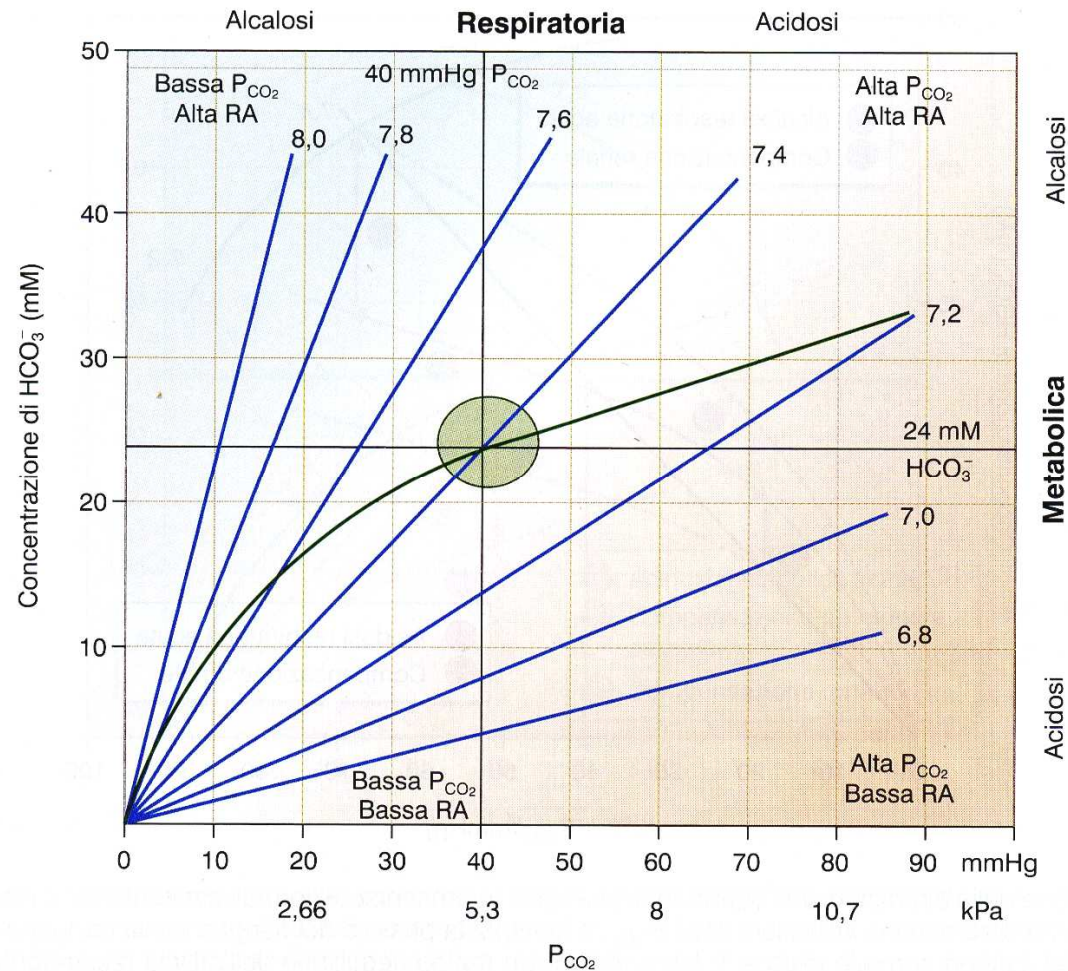
- Sinistra **acidosi**, Destra **alcalosi**
- Alto sinistra **natura respiratoria**, Basso sinistra **non-respiratoria (metabolica)**
- Alto destra **natura non-respiratoria (metabolica)**, Basso destra **respiratoria**



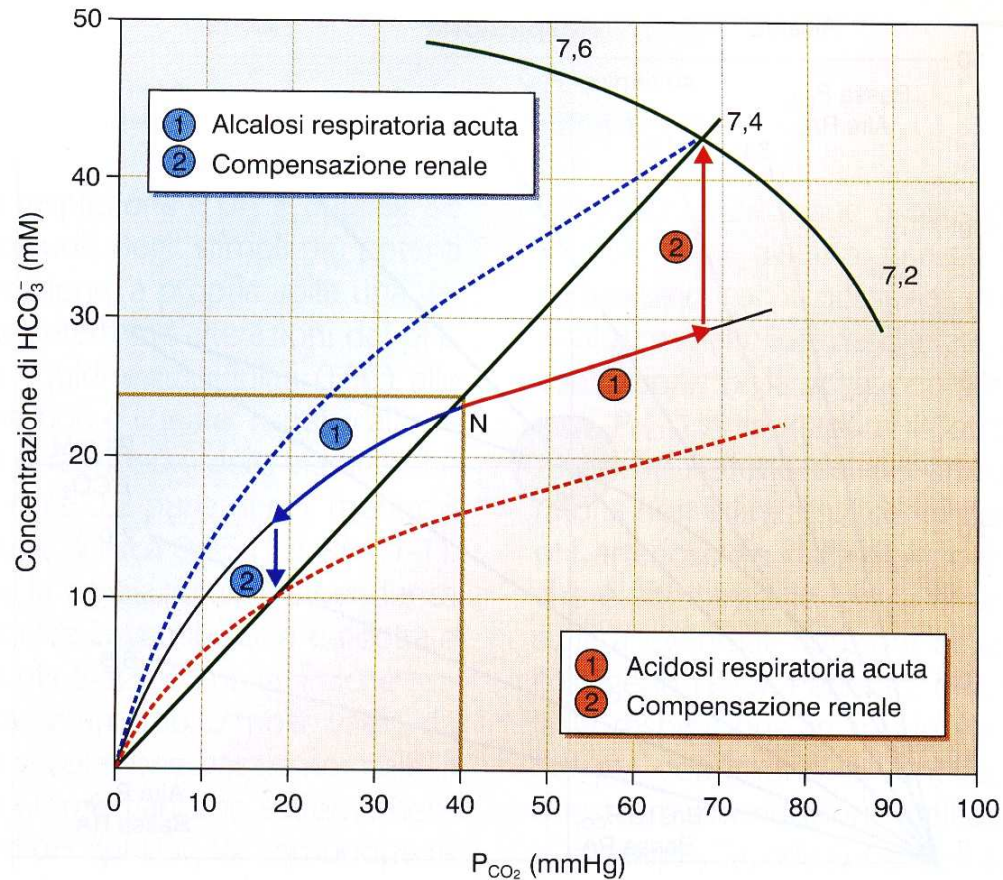
Relazione tra $[\text{HCO}_3^-]$ plasmatica e pCO_2 per diversi valori di pH

© 2005 edi.ermes milano

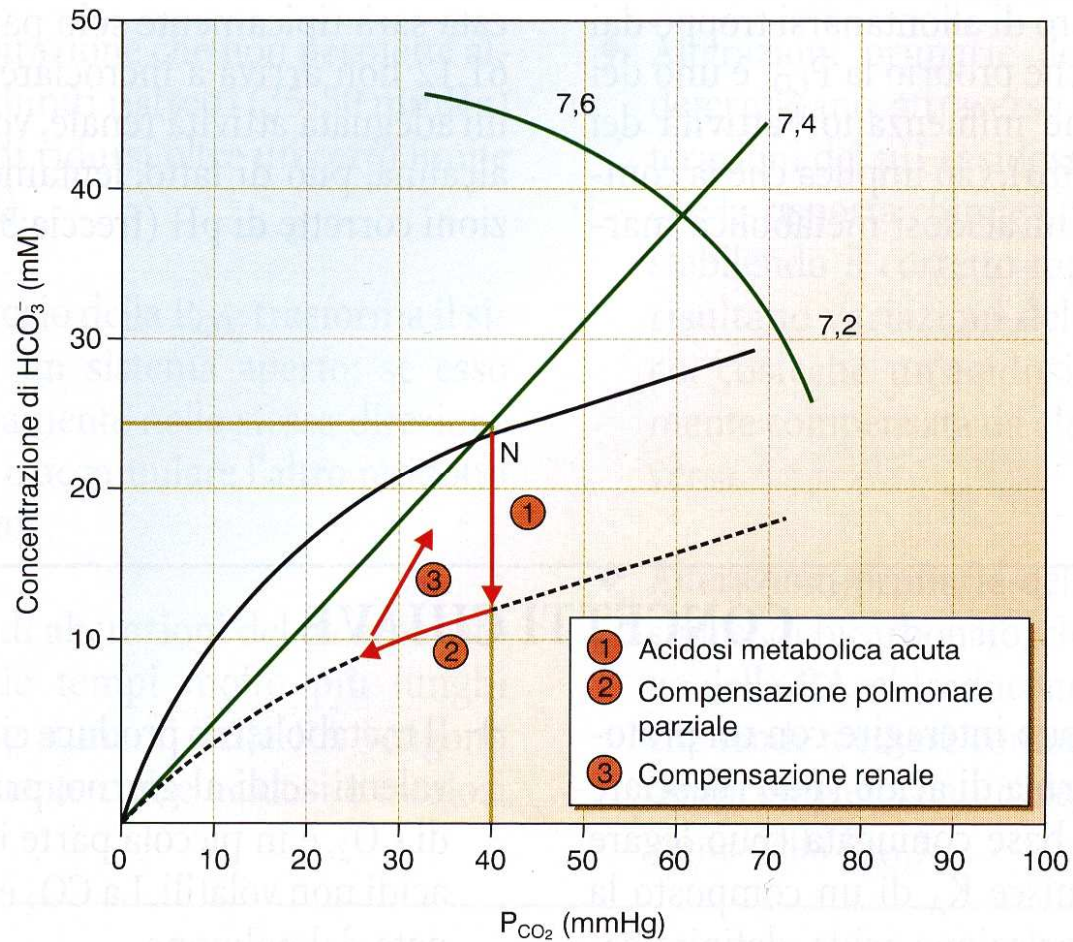
Ad ogni pH (linee rette) corrisponde un rapporto fisso tra $[\text{HCO}_3^-]$ e pCO_2 . Le variazioni di pH nel sangue (**linea del sangue**) dipendono principalmente dal suo contenuto di HCO_3^- (riserva alcalina RA). Con una RA normale ($\text{HCO}_3^- = 24 \text{ mM}$) alterazioni della pCO_2 (che 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-)



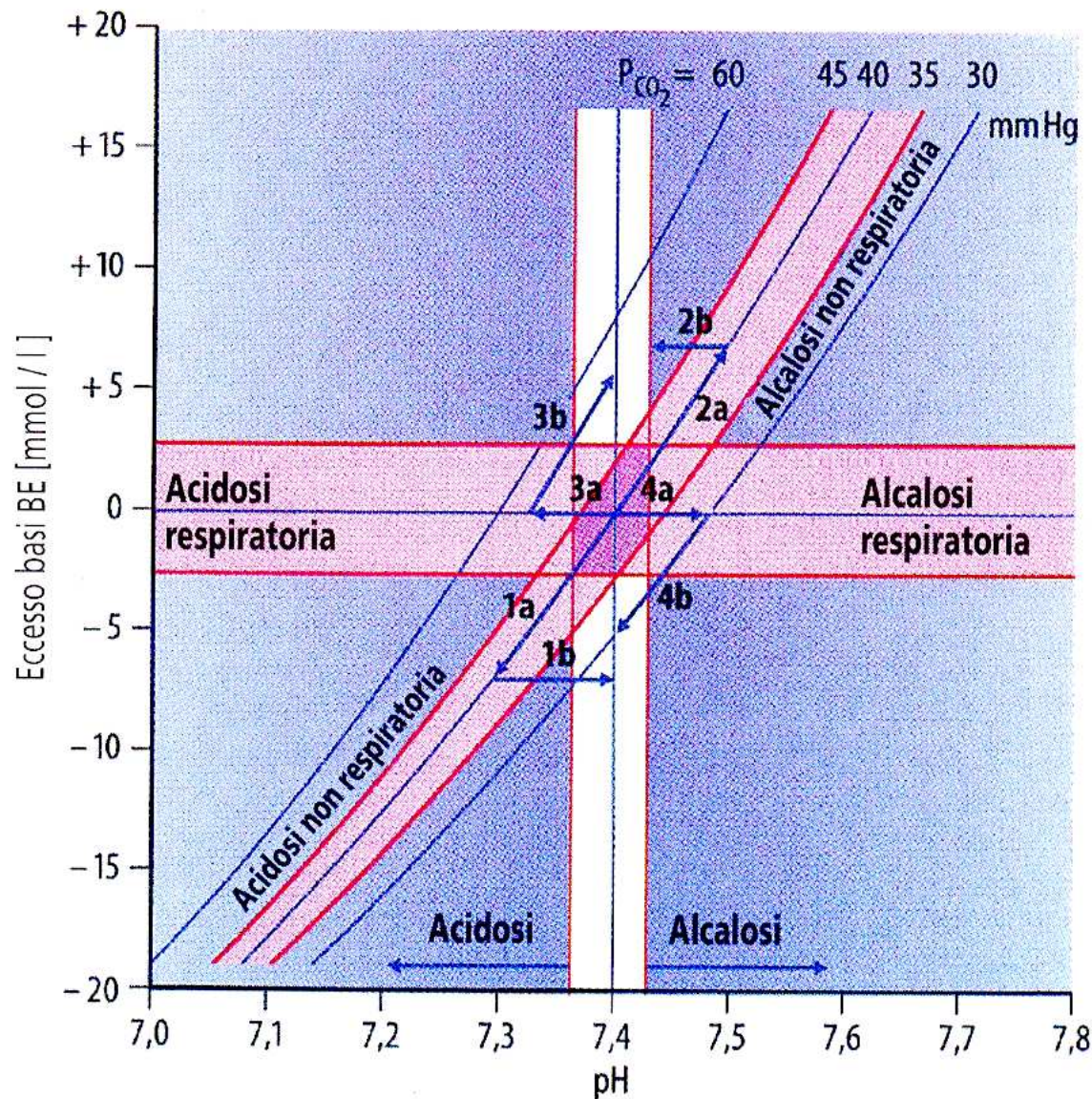
La zona verde indica gli ambiti fisiologicamente accettabili di pCO₂ e [HCO₃⁻] e la linea verde la **linea del sangue normale**. Le regioni sopra e sotto la linea di [HCO₃⁻], indicano rispettivamente **alcalosi ed acidosi metabolica**. Le regioni a sinistra e a destra del valore di pCO₂ normale, indicano rispettivamente **alcalosi e acidosi respiratoria**.



Con $[\text{HCO}_3^-]$ normale (RA normale), la risposta passiva del sangue, come tampone chimico, alle alterazioni di pCO_2 è rappresentata da spostamenti lungo la linea del sangue normale (**freccia 1, blu, alcalosi e rossa, acidosi**). Se persiste la riduzione di pCO_2 (**alcalosi respiratoria**), il sistema ripristina il pH, grazie all'eliminazione renale di HCO_3^- (**freccia 2 blu**), che sposta il sistema su una curva del sangue corrispondente a ridotta RA. Se persiste l'aumento di pCO_2 (**acidosi respiratoria**), la produzione di HCO_3^- aumenta (**freccia rossa 2**) con spostamento su una curva del sangue corrispondente a maggiore RA.



In caso di perdita di 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 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 ($\downarrow p\text{CO}_2$)

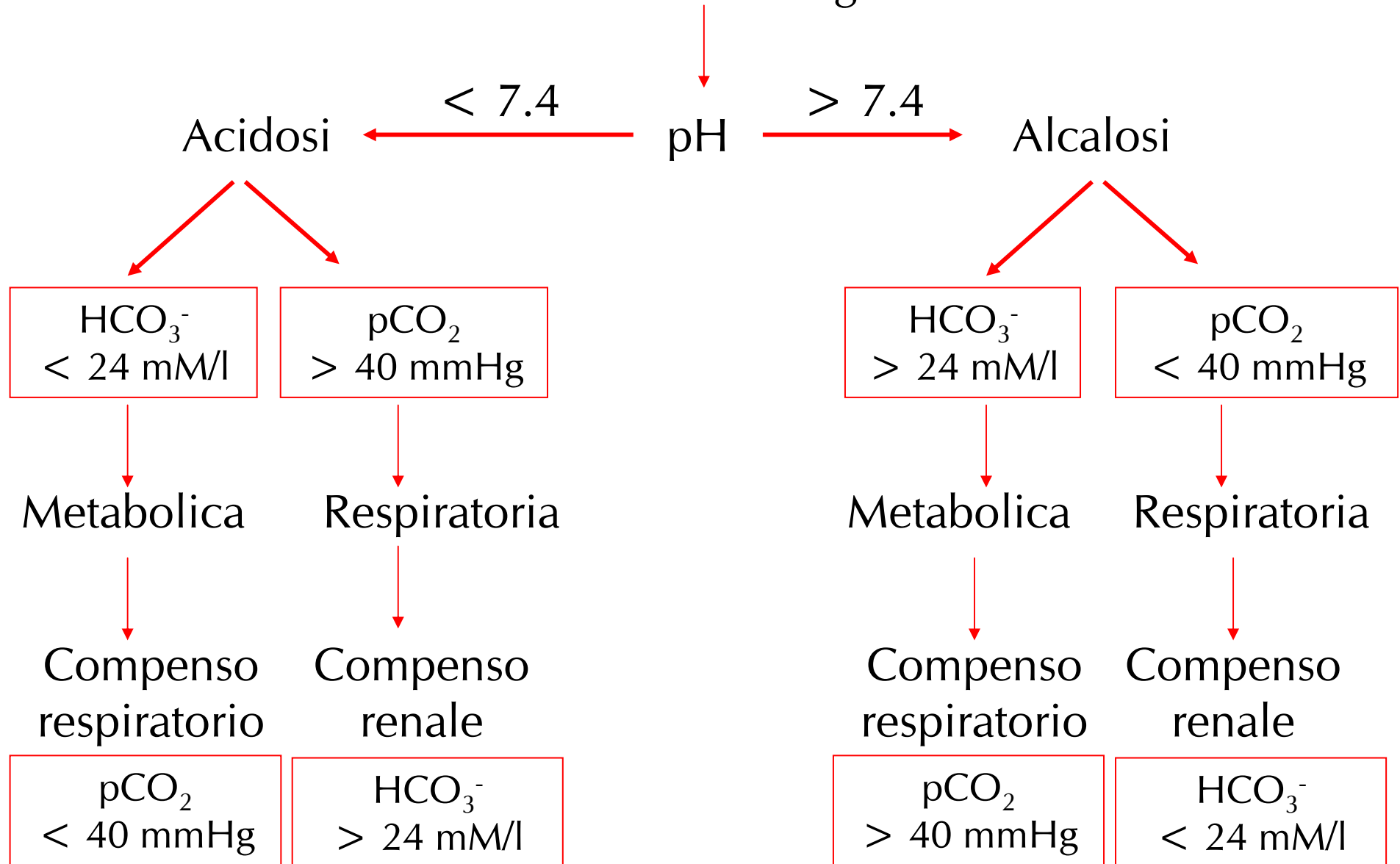
4b: Compenso renale (\downarrow basi $[\text{HCO}_3^-]$)

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
- **pCO₂** 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, pCO_2 = 55 mmHg

Acidosi metabolica e respiratoria perché:

- pH < 7.4
- $[\text{HCO}_3^-]$ < 24mEq/l
- pCO_2 > 40 mmHg

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