

Alterazioni dell'equilibrio acido-base

In base all'equazione di Henderson-Hasselbalch

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

➤ Si ha **acidosi** quando il rapporto $\text{HCO}_3^- / \text{CO}_2$ diminuisce, causando una diminuzione del pH.

Se il rapporto diminuisce per perdita di HCO_3^- l'acidosi è definita **metabolica (non-respiratoria)**, se per aumento di CO_2 l'acidosi è definita **respiratoria**

➤ Si ha **alcalosi** quando il rapporto $\text{HCO}_3^- / \text{CO}_2$ aumenta, causando un aumento del pH.

Se il rapporto aumenta per aumento di HCO_3^- l'alcalosi è definita **metabolica (non-respiratoria)**, se per diminuzioni di CO_2 l'alcalosi è definita **respiratoria**

I compensi sono:

Respiratori:

- Iperventilazione, nell'acidosi metabolica
- Ipoventilazione, nell'alcalosi metabolica

Renali:

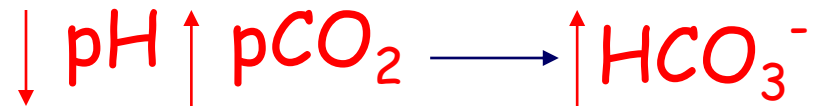
- Aggiunta netta di HCO_3^- al sangue e maggiore escrezione di NH_4^+ e acidi titolabili nelle urine, nell'acidosi respiratoria e metabolica
- Aumentata escrezione di HCO_3^- e mancata escrezione di NH_4^+ e acidi titolabili, nell'alcalosi respiratoria e metabolica

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

$[\text{HCO}_3^-]$ aumenta di 1 mEq/l per ogni 10 mmHg di incremento della pCO_2

Fase cronica

Compensazione renale:

- Maggiore secrezione H^+
- Riassorbimento totale HCO_3^-
- Maggiore escrezione di NH_4^+ (formazione nuovo HCO_3^-)

$[\text{HCO}_3^-]$ aumenta di 3.5 mEq/l per ogni 10 mmHg di incremento della pCO_2

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



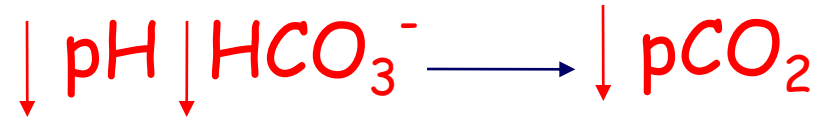
Cifoscoliosi
Fibrosi polmonare
Pneumotorace

Disordini degli scambi
gassosi



Polmonite
Edema polmonare

Acidosi metabolica:



Compenso respiratorio:

- Iperventilazione (pCO_2 si riduce di 1.2 mmHg per 1 mEq/l di riduzione della $[\text{HCO}_3^-]$, risposta limitata dalla conseguente diminuzione di pCO_2 che inibisce la ventilazione)

Compenso renale:

- Maggiore secrezione di H^+
- Riassorbimento totale di HCO_3^-
- Maggiore escrezione di 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^+



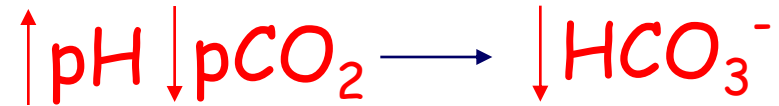
- Insufficienza renale cronica
- Acidosi renale tubulare di tipo I
 - Acidosi renale di tipo 4 (ipoaldosteronismo, l'iperpotassiemia inibisce la sintesi di NH_3)

Perdita di HCO_3^-



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

Alcalosi respiratoria:



Fase acuta:

- Tamponamento intracellulare

$[\text{HCO}_3^-]$ si riduce di 2 mEq/l per ogni 10 mmHg di riduzione della pCO_2

Fase cronica

Compenso renale:

- Minore secrezione H^+
- Minore riassorbimento e maggiore escrezione di HCO_3^-
- Minore escrezione di NH_4^+

$[\text{HCO}_3^-]$ si riduce di 5 mEq/l per ogni 10 mmHg di riduzione della pCO_2

Eziologia dell'alcalosi respiratoria

Cause

Stimolazione centro respiratorio



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

Carenza di ossigeno



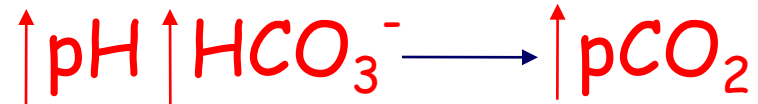
- Altitudini elevate
- polmonite, embolia polmonare
- Anemia grave

Ventilazione meccanica



Iperventilazione

Alcalosi metabolica:



Compenso respiratorio:

- Ipoventilazione (pCO_2 aumenta di 0.7 mmHg per 1 mEq/l di aumento della $[\text{HCO}_3^-]$)

Compenso renale:

- Minore secrezione di H^+
- Minor riassorbimento e maggiore escrezione di 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

Emesi

Perdita di HCl gastrico

Perdita di H⁺ fissi

Riduzione volume del LEC

↑ Angiotensina II

↑ Aldosterone

↑ Scambio Na⁺-H⁺

↑ Riassorbimento
HCO₃⁻

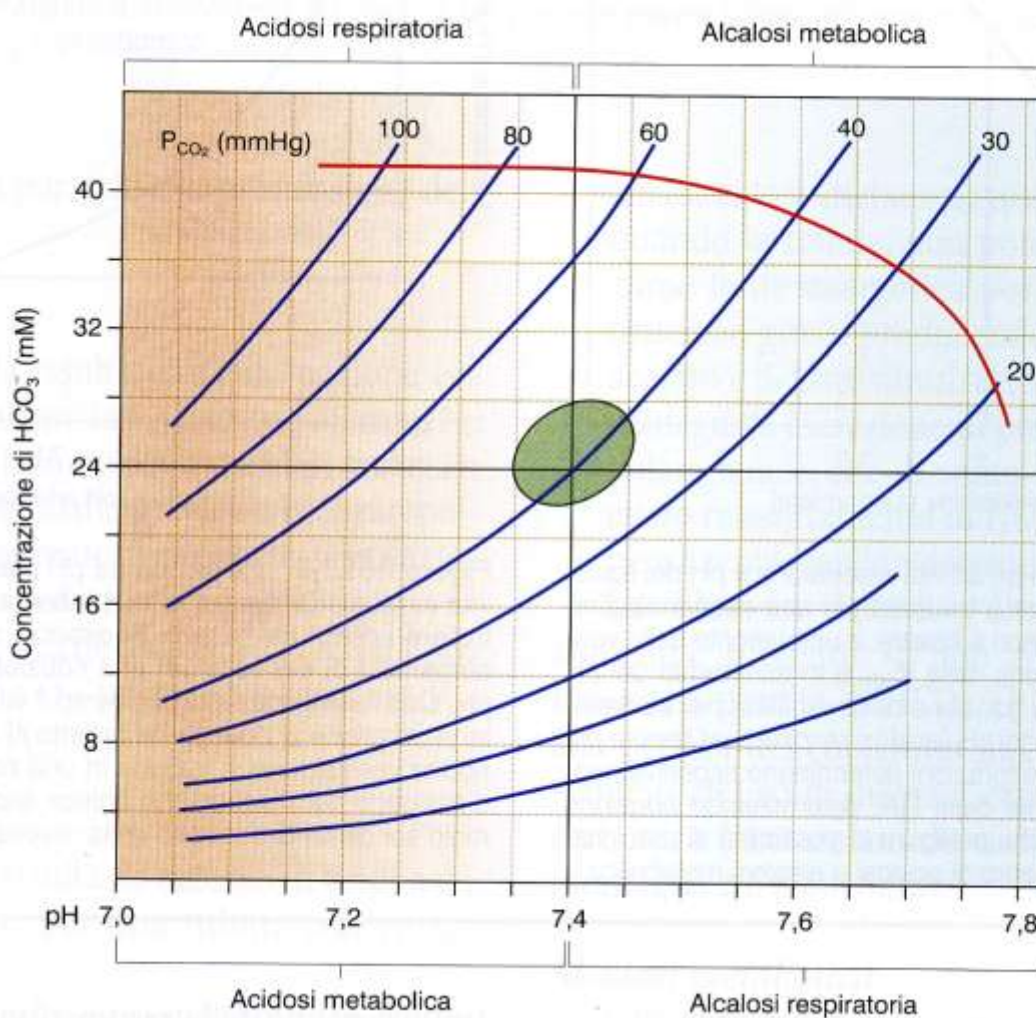
↑ Secrezione H⁺ ↑ Secrezione K⁺

Alcalosi metabolica

Ipotassiemia

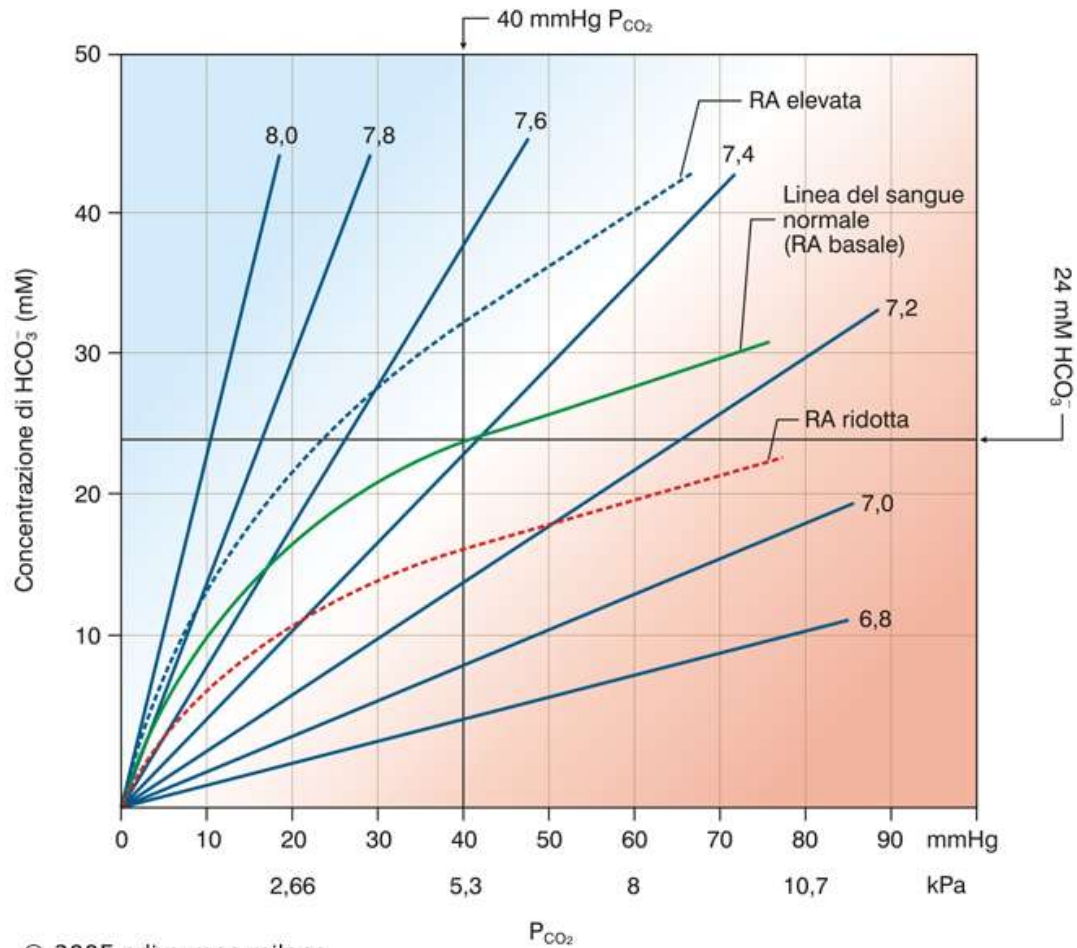
Nomogramma acido-base

Vi sono riportati i valori di pH del sangue arterioso, di $[\text{HCO}_3^-]_p$ e della $p\text{CO}_2$ che si intersecano, secondo l'equazione di Henderson-Hasselbalch.



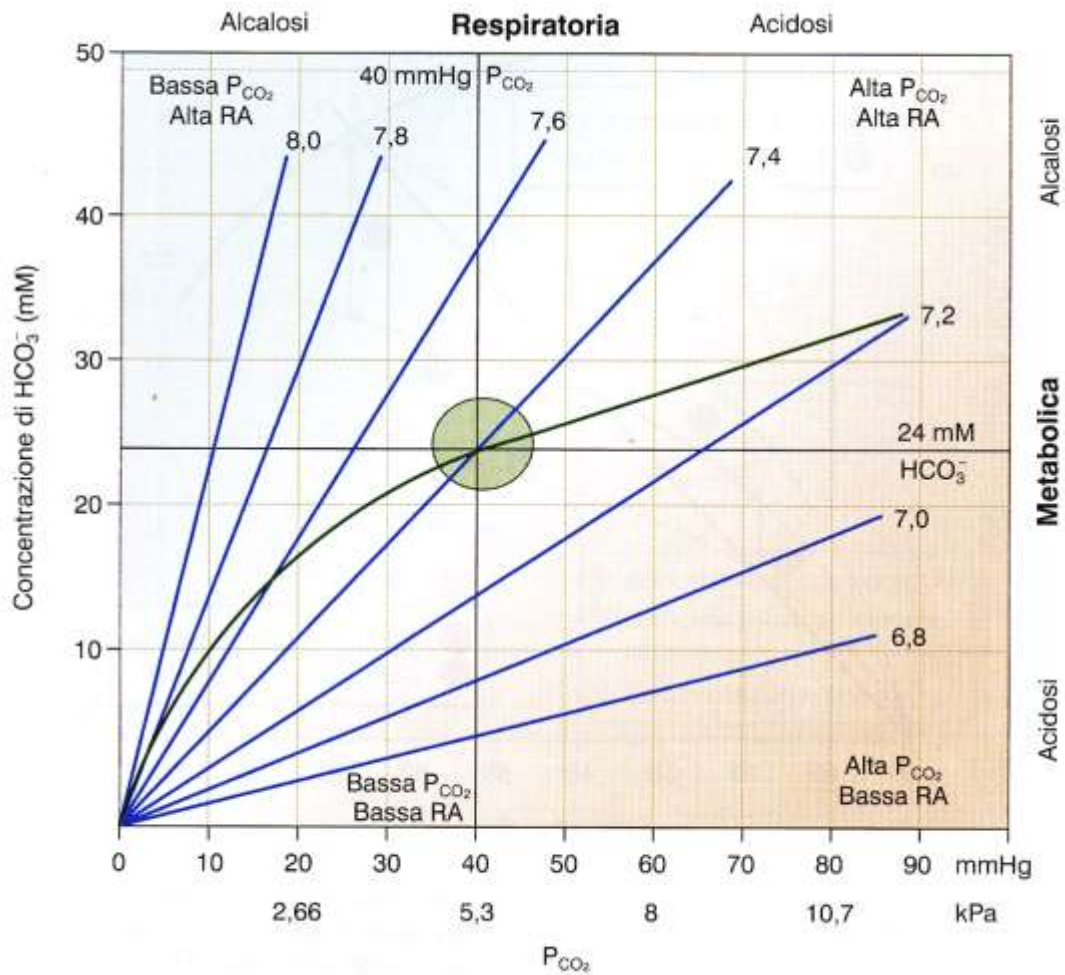
Relazione tra $[HCO_3^-]$ plasmatica e pH per diversi valori di pCO_2 . La zona verde indica gli ambiti fisiologicamente accettabili di pCO_2 (35-50 mmHg) e di $[HCO_3^-]_p$ (22-28 mM). Fuori da tale regione si delimitano 4 quadranti:

- Sinistra **acidosi**, Destra **alcalosi**, Alto **natura respiratoria**, Basso **non-respiratoria**

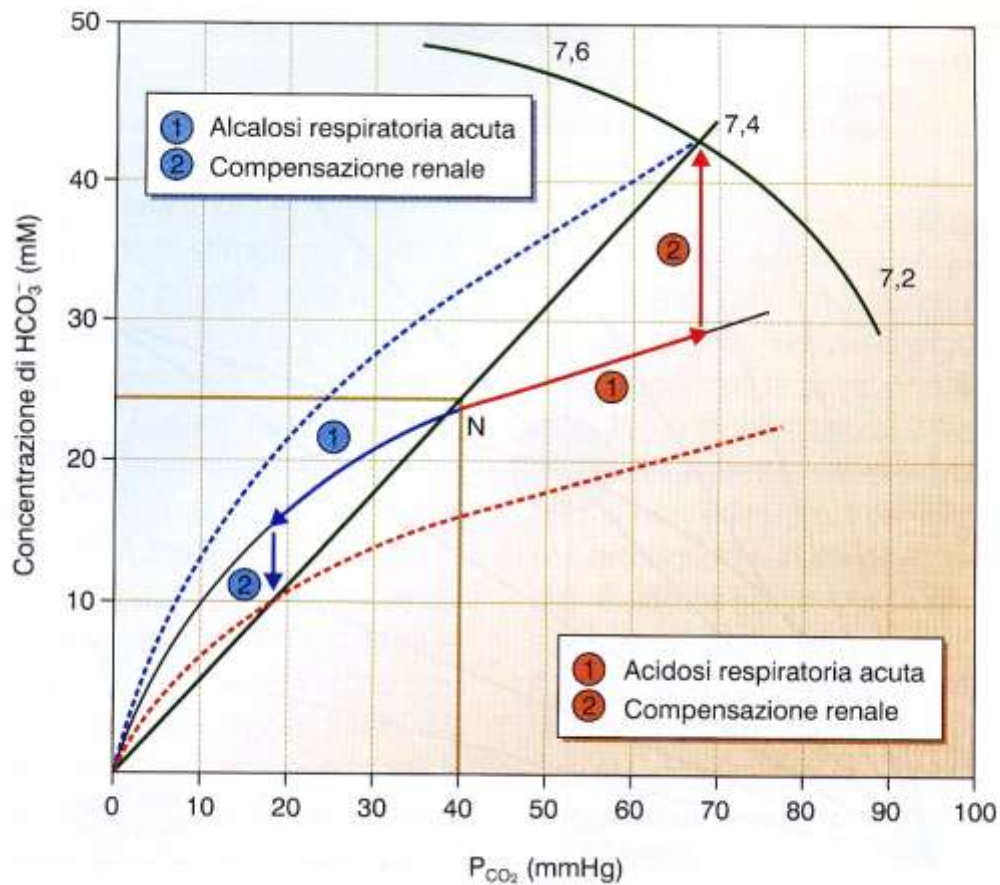


© 2005 edi.ermes milano

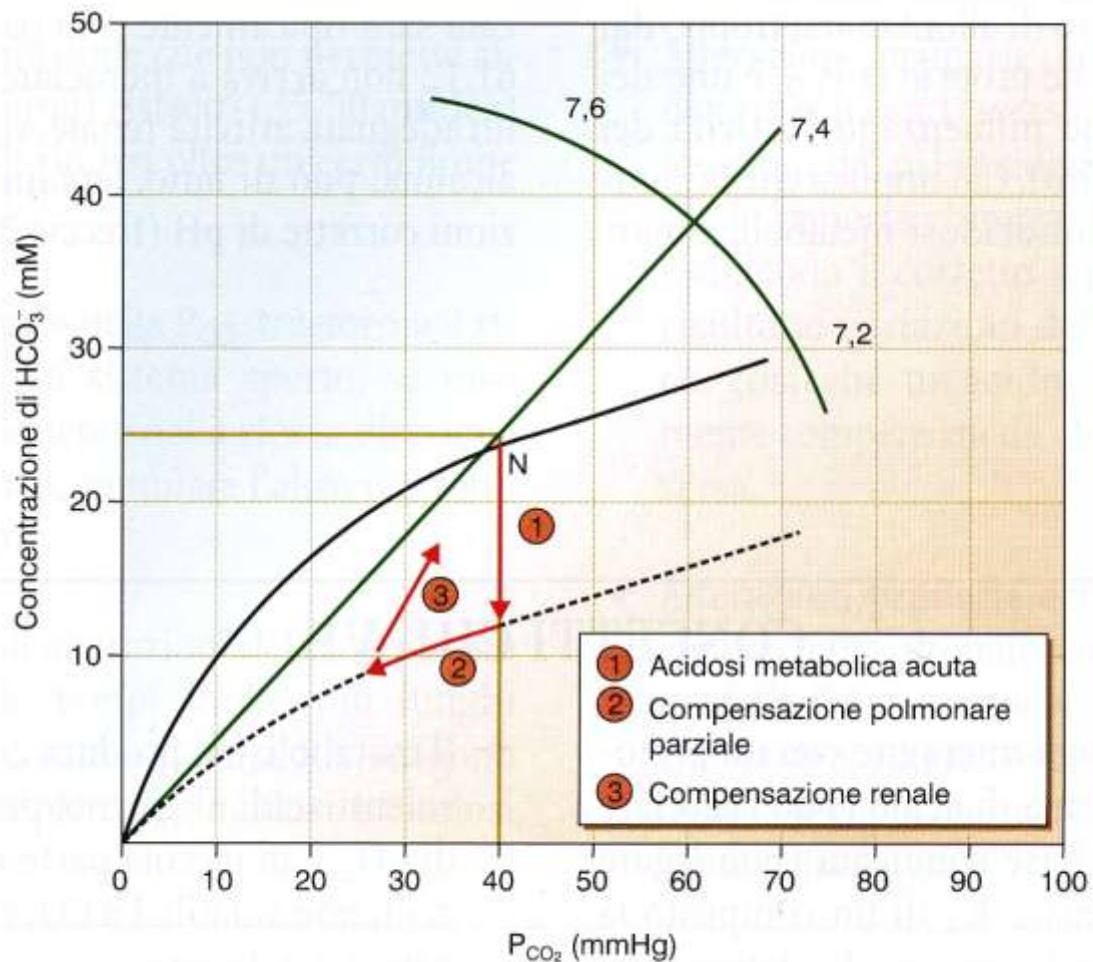
Relazione tra $[\text{HCO}_3^-]_p$ e pCO_2 . Ad ogni pH corrisponde un rapporto fisso tra i due valori (linee rette per ogni pH). Il comportamento passivo del plasma dipende dal suo contenuto di HCO_3^- (riserva alcalina RA). Per il valore normale (24 mM) alterazioni della pCO_2 spostano il sistema lungo la "linea del sangue normale" (verde). Alterazioni della RA cambiano il comportamento passivo 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⁻]_p e la linea verde la linea del sangue normale. Le regioni sopra e sotto la linea di [HCO₃⁻] normale, indicano rispettivamente **alcalosi e acidosi metabolica**. Le regioni a sinistra e a destra del valore di pCO₂ normale, indicano rispettivamente **alcalosi e acidosi respiratoria**.

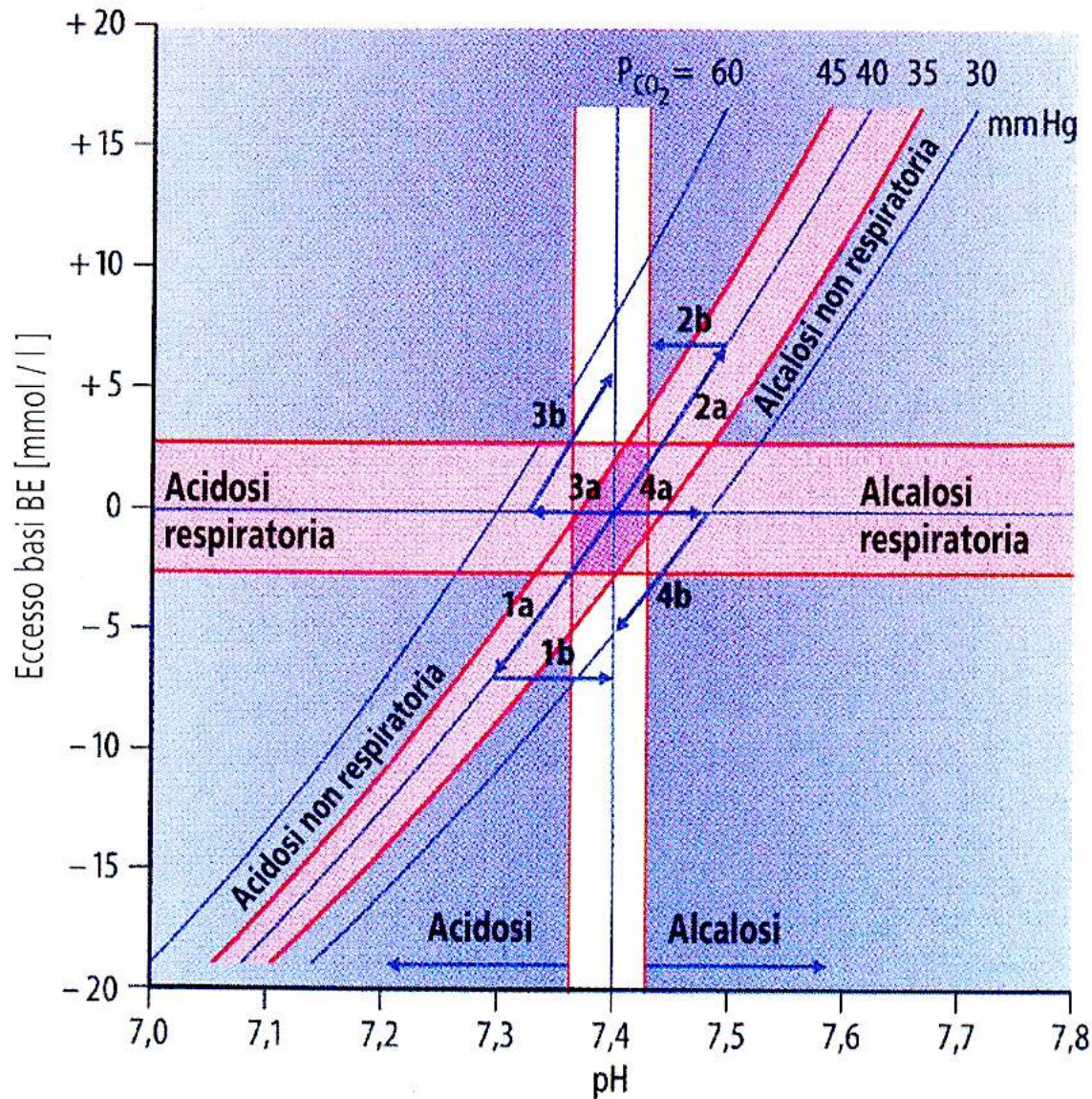


Con $[\text{HCO}_3^-]_p$ normali, le alterazioni dell'attività respiratoria determinano variazioni di pCO_2 e la risposta passiva del sangue come tampone chimico è rappresentata da spostamenti lungo la linea del sangue normale (freccie 1, blu e rossa). Il rapido riequilibrio dell'attività respiratoria e della pCO_2 , permette il ritorno alle condizioni normali lungo lo stesso percorso. Se persiste la riduzione di pCO_2 (alcalosi respiratoria), il sistema ripristina il pH grazie al consumo di HCO_3^- (freccia 2 blu), che sposta il sistema su una curva del sangue corrispondente a ridotta RA (acidosi metabolica). Se persiste un aumento di pCO_2 (acidosi respiratoria), si produce HCO_3^- (freccia rossa 2) con spostamento su una curva del sangue corrispondente a maggiore RA (alcalosi metabolica).



Acidosi metabolica

In conseguenza 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 $p\text{CO}_2$, e ristabilire il pH), si traduce in uno spostamento lungo questa nuova linea (alcalosi respiratoria, freccia 2), ma non permette un compenso completo, perché la $p\text{CO}_2$ non può scendere sotto un certo limite. Solo il compenso renale potrà ristabilire la RA (freccia 3).



Il diagramma riporta come parametro le curve di p_{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
 1b: Compenso respiratorio (iperventilazione, $\downarrow p_{CO_2}$). Si parla di acidosi non respiratoria completamente o parzialmente compensata se il pH torna o no al valore normale

2a: Alcalosi primaria non respiratoria
 2b: Compenso respiratorio (ipoventilazione $\uparrow p_{CO_2}$) sempre incompleta

3a: Acidosi respiratoria primaria
 3b: compenso renale

4a: Alcalosi respiratoria primaria
 4b: Compenso renale

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
- $p\text{CO}_2$ permette di distinguere un'alterazione primaria di tipo respiratorio
- Eccesso delle basi (BE) (ambito normale da -2.5 a +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

Acidosi ← < 7.4 pH > 7.4 → Alcalosi

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

Metabolica

Respiratoria

Compenso
respiratorio

Compenso
renale

$\text{pCO}_2 < 40 \text{ mmHg}$

$\text{HCO}_3^- > 24 \text{ mEq/l}$

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

Metabolica

Respiratoria

Compenso
respiratorio

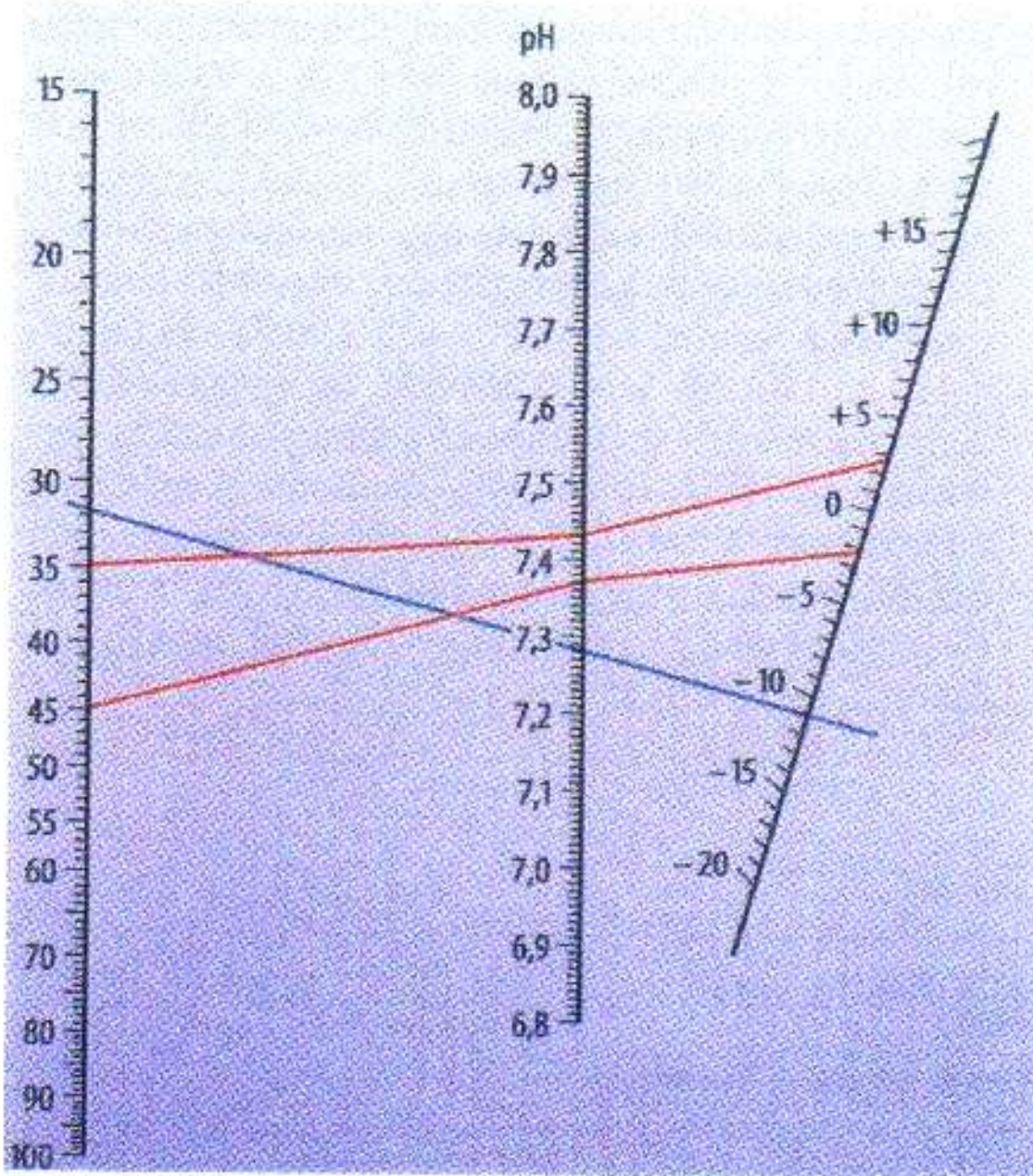
Compenso
renale

$\text{pCO}_2 > 40 \text{ mmHg}$

$\text{HCO}_3^- < 24 \text{ mEq/l}$

P_{CO_2} [mmol / l]

Eccesso basi [mmol / l]



Si può stabilire la condizione acido-base misurando la pCO_2 e utilizzando il **Nomogramma** per la determinazione del **BE** dai valori di pCO_2 e di pH misurati.

La retta che unisce i valori di pCO_2 e di pH misurati, taglia la scala a destra in corrispondenza del valore di BE cercato.

Linee rosse indicano i valori corrispondenti ad un normale stato acido-base

Linea blu: pCO_2 32 mmHg e pH 7.28 BE -11 mmol/l
diagnosi: acidosi non-respiratoria parzialmente compensata

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 $\text{pCO}_2 < 40 \text{ mmHg}$

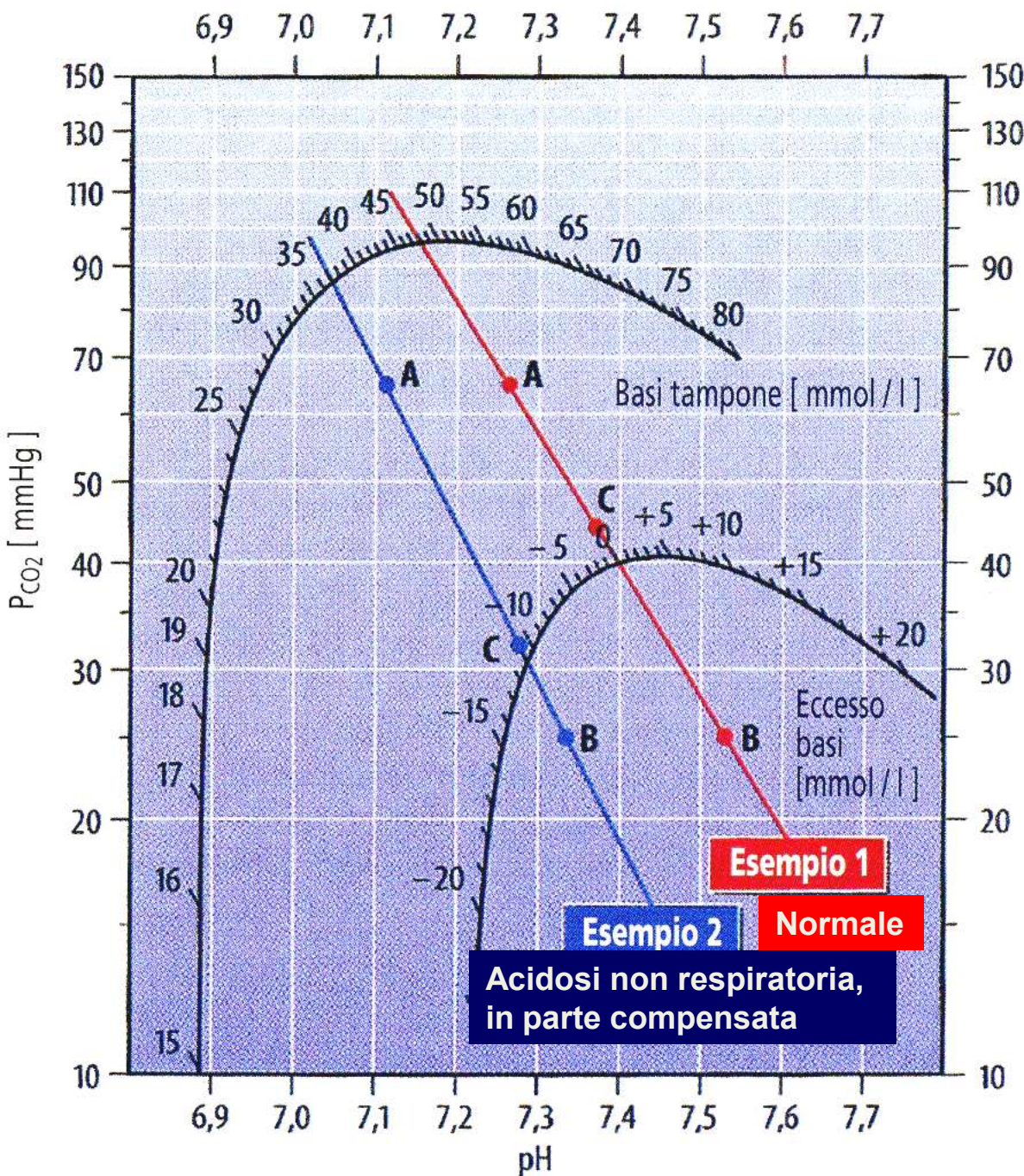
Diagnosi: Acidosi metabolica semplice, con appropriata risposta compensatoria respiratoria in atto

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

Acidosi metabolica e respiratoria perché:

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

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



Il metodo di Astrup permette di determinare la $p\text{CO}_2$ e lo stato acido-base del sangue.

Si valutano, in due campioni del sangue in esame, i valori di pH ottenuti dopo equilibrio con miscele gassose a $p\text{CO}_2$ note.

Le due coppie di valori pH- $p\text{CO}_2$ (A e B) vengono riportate sul diagramma.

Sulla retta AB si indica il valore di $p\text{CO}_2$ (C), corrispondente al pH reale del sangue in esame.

L'inserzione della retta con le opportune scale del diagramma permette inoltre di conoscere la concentrazione totale delle basi tampone e il BE