

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, per diminuzione del rapporto $\text{HCO}_3^- / \text{CO}_2$ il pH diminuisce. L'acidosi può essere:

Metabolica (non-respiratoria), se c'è riduzione di HCO_3^-

Respiratoria se c'è aumento di CO_2

➤ Si ha **alcalosi** quando, per aumento del rapporto $\text{HCO}_3^- / \text{CO}_2$, il pH aumenta. L'alcalosi può essere:

Metabolica (non-respiratoria), se c'è aumento di HCO_3^-

Respiratoria, se c'è diminuzione di CO_2

I compensi sono:

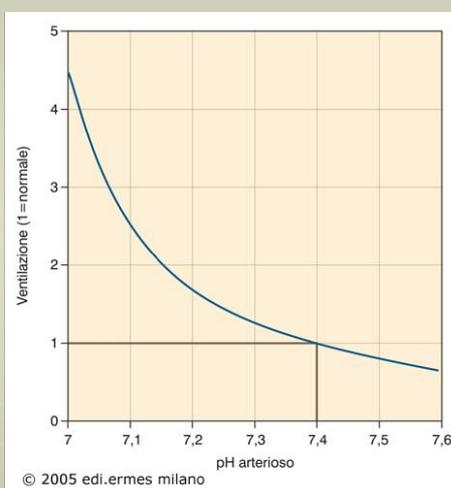
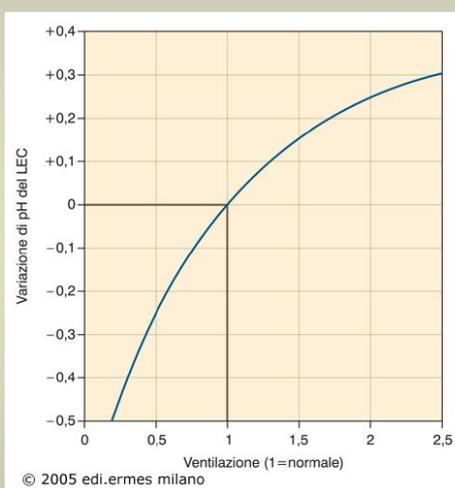
Respiratori:

- Iperventilazione, nell'acidosi metabolica
- Ipoverilazione, 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

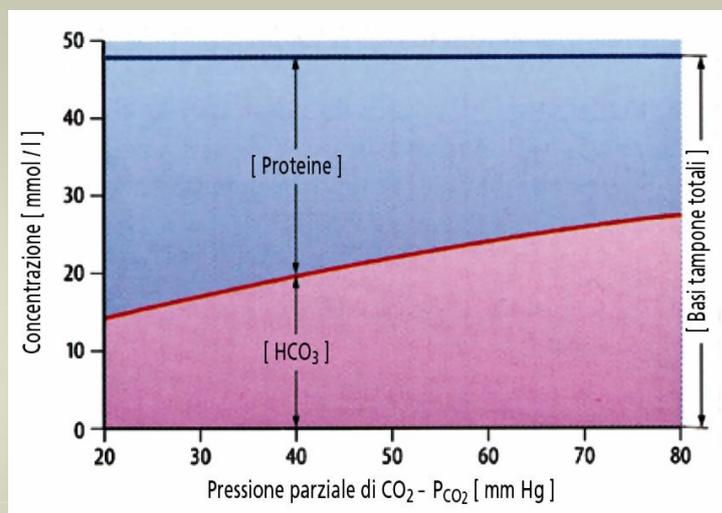
Relazioni ventilazione/pH



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



Dipendenza della concentrazione di proteinati e di bicarbonato dalla pCO₂. La somma delle concentrazioni delle due basi tampone è costante e vale 48 mmol/l in condizioni normali.

Acidosi respiratoria:



Fase acuta:

- Tamponamento intracellulare

[HCO₃⁻] aumenta di 1 mEq/l per ogni 10 mmHg di incremento della pCO₂

Fase cronica

Compenso renale:

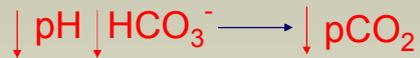
- Maggiore secrezione H⁺
- Riassorbimento totale HCO₃⁻
- Maggiore escrezione di NH₄⁺ (formazione nuovo HCO₃⁻)

[HCO₃⁻] aumenta di 3.5 mEq/l per ogni 10 mmHg di incremento della pCO₂

Eziologia dell'acidosi respiratoria

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

**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

Incapacità di eliminare H⁺	<p>Insufficienza renale cronica</p> <p>Acidosi renale tubulare di tipo I</p> <p>Acidosi renale di tipo 4 (ipoaldosteronismo, l'iperpotassiemia inibisce la sintesi di NH₃)</p>
Perdita di HCO₃⁻	<p>Diarrea</p> <p>Acidosi renale di tipo 2 (insufficiente riassorbimento renale di HCO₃⁻)</p>

Alcalosi respiratoria:	
↑pH ↓pCO₂ → ↓HCO₃⁻	
Fase acuta:	
<ul style="list-style-type: none"> • Tamponamento intracellulare 	
<p>[HCO₃⁻] si riduce di 2 mEq/l per ogni 10 mmHg di riduzione della pCO₂</p>	
Fase cronica	
Compenso renale:	
<ul style="list-style-type: none"> • Minore secrezione H⁺ • Minore riassorbimento e maggiore escrezione di HCO₃⁻ • Minore escrezione di NH₄⁺ 	
<p>[HCO₃⁻] si riduce di 5 mEq/l per ogni 10 mmHg di riduzione della pCO₂</p>	

Eziologia dell'alcalosi respiratoria

Stimolazione del centro respiratorio

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

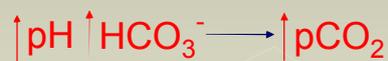
Carenza di ossigeno

Alitudini 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

Perdita di H⁺

Vomito (Perdita di H⁺ gastrici, permanenza HCO₃⁻ nel sangue, sostenuta dalla riduzione del LEC, ipopotassiemia)

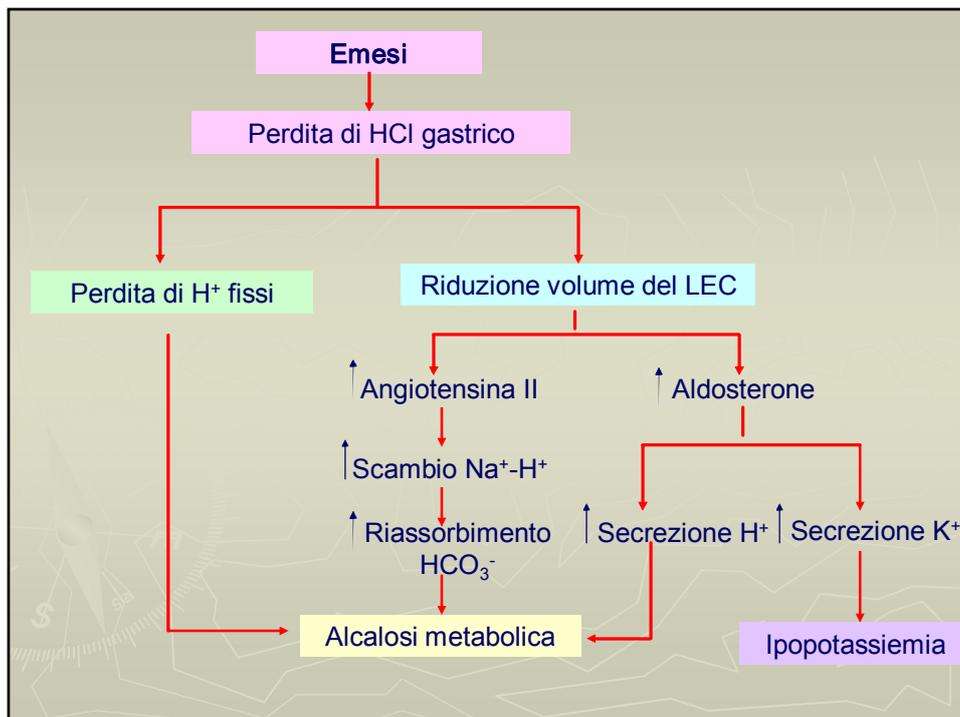
Iperaldosteronismo (aumentata secrezione di H⁺ dalle cellule intercalari, ipopotassiemia)

Alcalosi da riduzione del LEC

Diuretici che agiscono sull'ansa di Henle e diuretici tiazidici (aumentato riassorbimento di HCO₃⁻ per aumento di angiotensina II)

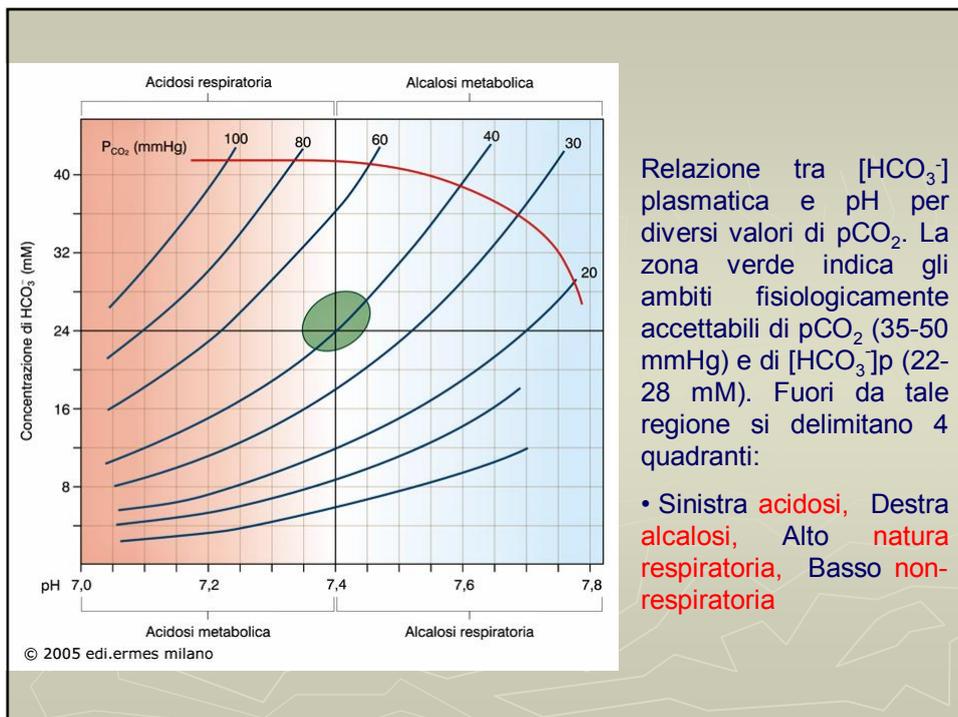
Ingestione o somministrazione eccessiva di HCO₃⁻

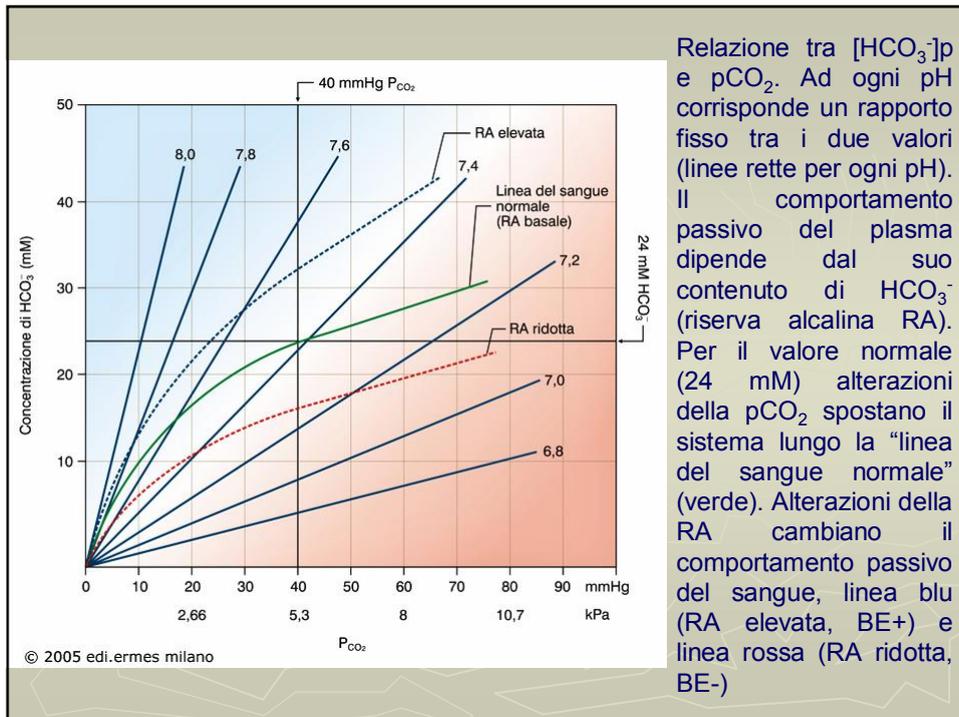
Ingestione di antiacidi
HCO₃⁻ endovenoso



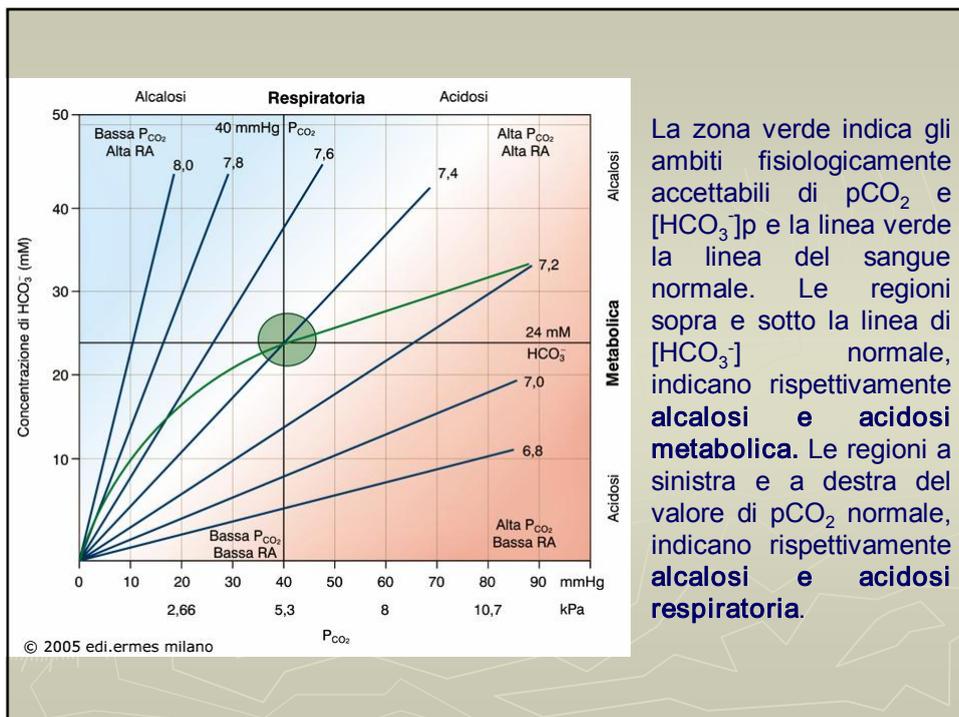
Nomogramma acido-base

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.

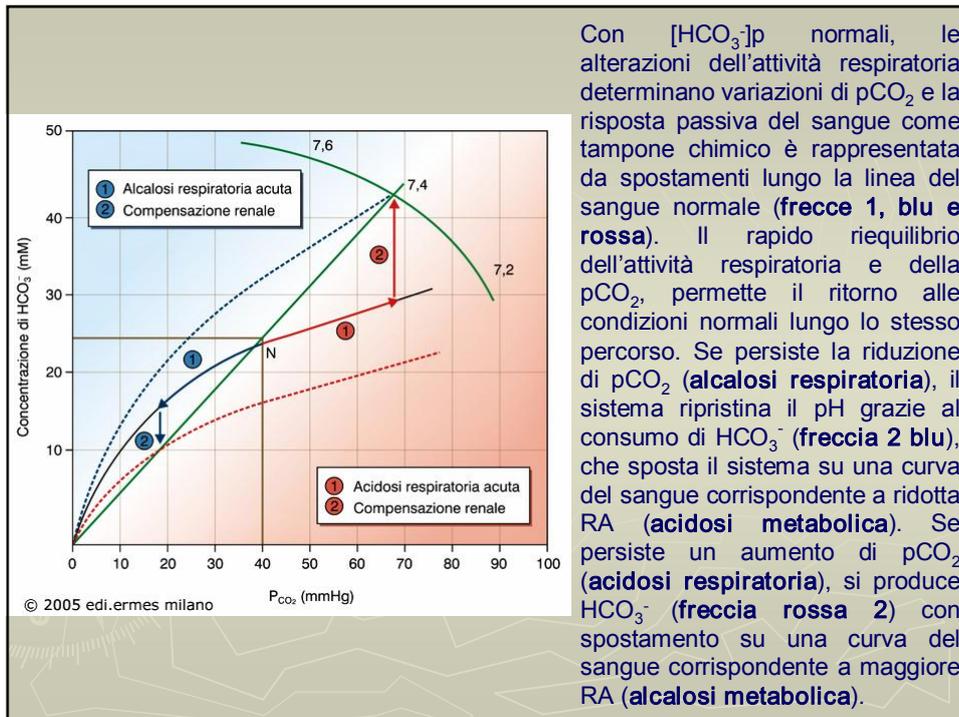




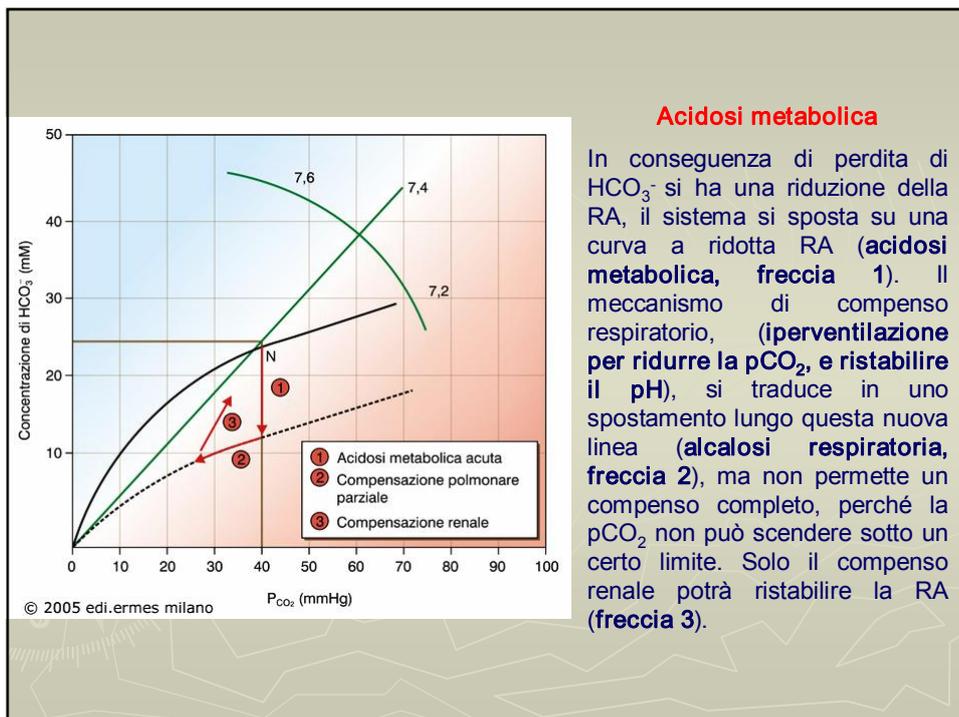
Relazione tra $[\text{HCO}_3^-]_p$ e pCO_2 . Ad ogni pH corrisponde un rapporto fisso tra i due valori (linee rette per ogni pH). Il comportamento passivo del plasma dipende dal suo contenuto di HCO_3^- (riserva alcalina RA). Per il valore normale (24 mM) alterazioni della pCO_2 spostano il sistema lungo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

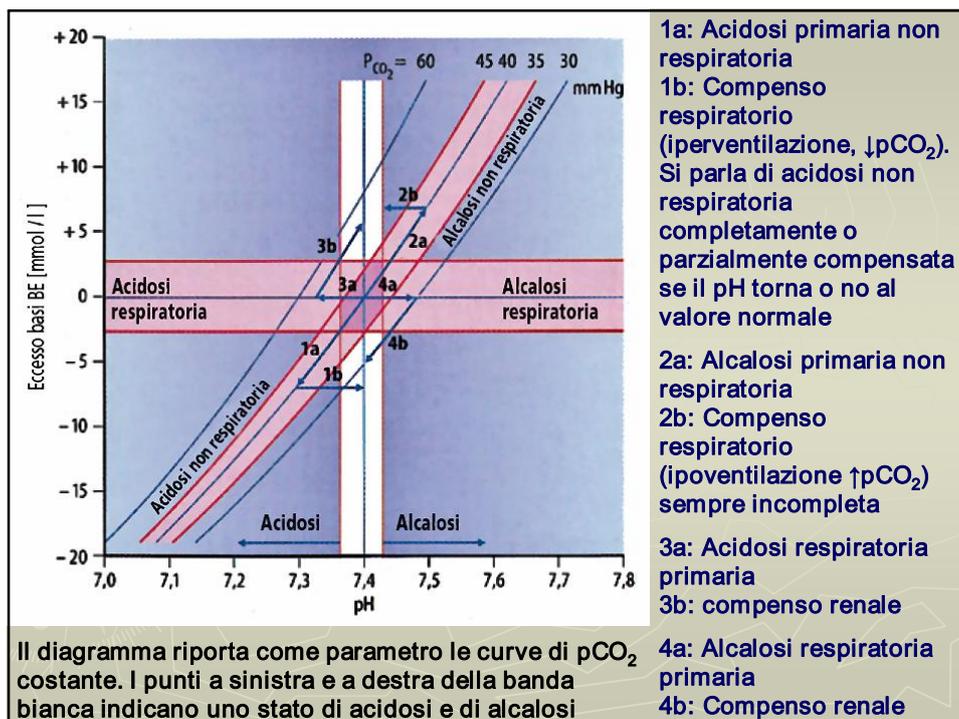


Con [HCO₃]^p normali, le alterazioni dell'attività respiratoria determinano variazioni di pCO₂ e la risposta passiva del sangue come tampone chimico è rappresentata da spostamenti lungo la linea del sangue normale (freccie 1, blu e rossa). Il rapido riequilibrio dell'attività respiratoria e della pCO₂, permette il ritorno alle condizioni normali lungo lo stesso percorso. Se persiste la riduzione di pCO₂ (alcalosi respiratoria), il sistema ripristina il pH grazie al consumo di HCO₃⁻ (freccia 2 blu), che sposta il sistema su una curva del sangue corrispondente a ridotta RA (acidosi metabolica). Se persiste un aumento di pCO₂ (acidosi respiratoria), si produce HCO₃⁻ (freccia rossa 2) con spostamento su una curva del sangue corrispondente a maggiore RA (alcalosi metabolica).



Acidosi metabolica

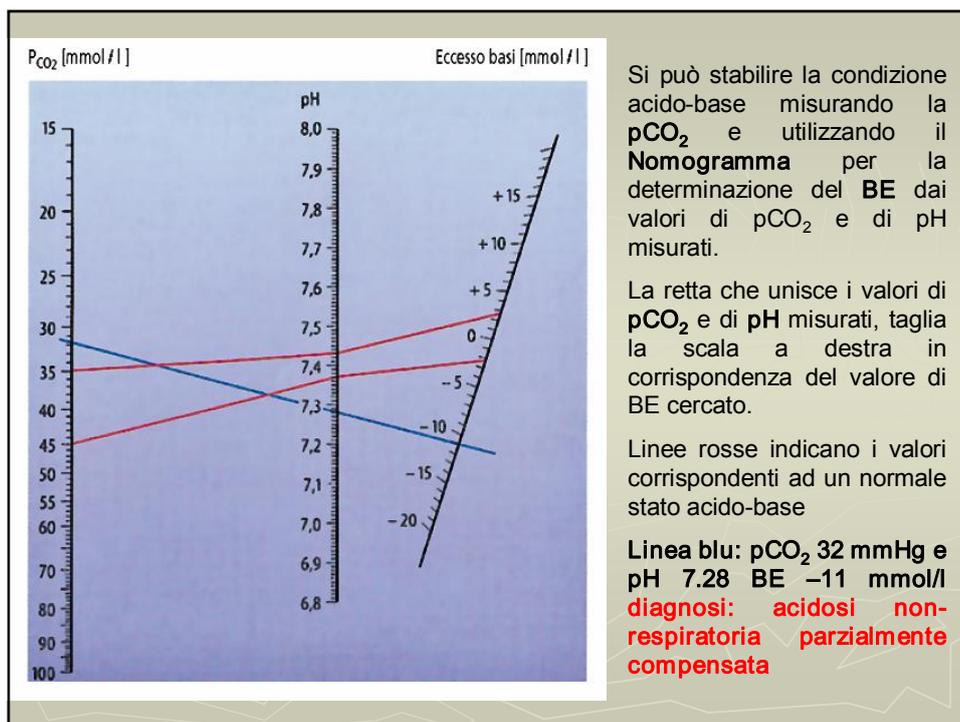
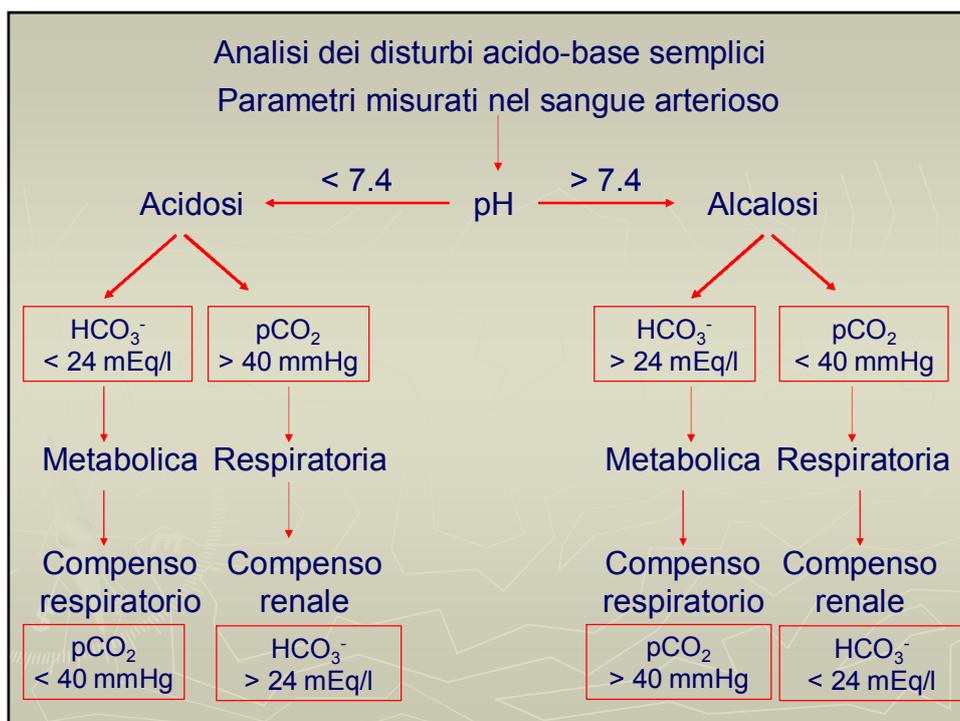
In conseguenza di perdita di HCO₃⁻ si ha una riduzione della RA, il sistema si sposta su una curva a ridotta RA (acidosi metabolica, freccia 1). Il meccanismo di compenso respiratorio, (iperventilazione per ridurre la pCO₂, e ristabilire il pH), si traduce in uno spostamento lungo questa nuova linea (alcalosi respiratoria, freccia 2), ma non permette un compenso completo, perché la pCO₂ non può scendere sotto un certo limite. Solo il compenso renale potrà ristabilire la RA (freccia 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_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



Sangue arterioso: pH = 7.35, $[\text{HCO}_3^-]$ = 16 mEq/l,
pCO₂ = 30 mmHg

Acidosi metabolica perché:

- pH < 7.4
- $[\text{HCO}_3^-]$ < 24mEq/l
- pCO₂ < 40 mmHg

Analisi risposta compensatoria: Acidosi metabolica
compensata perché pCO₂ < 40 mmHg

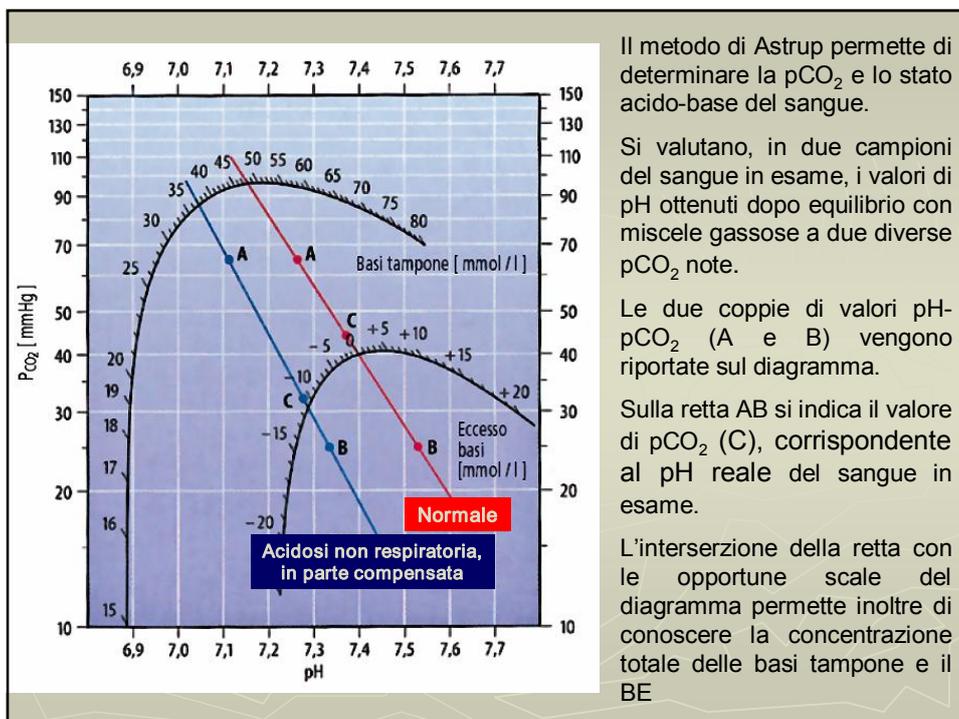
Diagnosi: Acidosi metabolica semplice, con
appropriata risposta compensatoria respiratoria in
atto

Sangue arterioso: pH = 6.96, $[\text{HCO}_3^-]$ = 12 mEq/l,
pCO₂ = 55 mmHg

Acidosi metabolica e respiratoria perché:

- pH < 7.4
- $[\text{HCO}_3^-]$ < 24mEq/l
- pCO₂ > 40 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 pCO₂ 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 due diverse pCO₂ note.

Le due coppie di valori pH-pCO₂ (A e B) vengono riportate sul diagramma.

Sulla retta AB si indica il valore di pCO₂ (C), corrispondente al pH reale del sangue in esame.

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