



L'EMOGASANALISI

P. Scavalli, M. Vitto, S. Mosillo

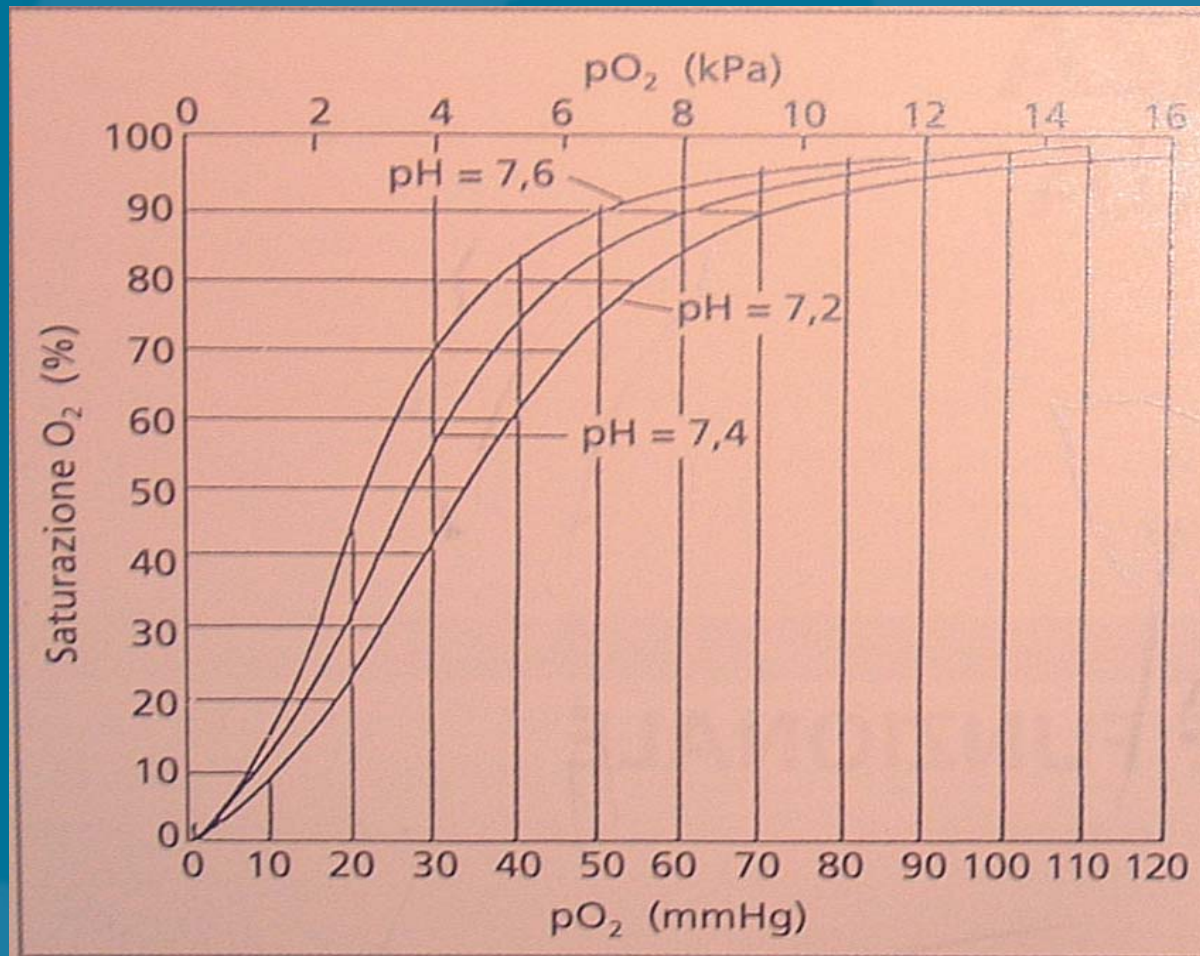
EMOGASANALISI

- Consente la misurazione immediata dei due gas più importanti del sangue e di un terzo parametro fondamentale per la valutazione dell'omeostasi corporea: il pH

I fattori che determinano i livelli ematici di O_2 e CO_2 sono differenti ma il principio che permette gli scambi gassosi è quello fra gas a pressioni parziali differenti, separati da una membrana permeabile ed è regolato dalle leggi della diffusibilità dei gas (legge di Avogadro, legge di Henry, legge di Boyle)

L'ossigeno introdotto con l'aria inspirata e passato nel letto capillare polmonare, è trasportato nel sangue in due forme: in combinazione con l'Hb (97%) e in soluzione nel plasma (3%)

Curva di dissociazione dell'HbO₂



Ad ogni determinata pressione parziale di O₂ la saturazione dell'ossiemoglobina dipende dal pH (es: con pO₂ 60 mmHg a pH 7,20 O₂sat → 84%, a 7,50 O₂sat 92%)

La CO_2 è il più importante prodotto del catabolismo cellulare e viaggia nel sangue disciolta fisicamente (7%), legata alla porzione globinica dell'Hb desossigenata (23%), trasformata in acido carbonico (70%)

La curva di dissociazione della CO_2 , cioè il rapporto tra pressione e contenuto, ha un andamento rettilineo per la sua diffusibilità (24 volte maggiore di quella di O_2)

EQUILIBRIO ACIDO-BASE

Concentrazioni ioni idrogeno e pH dei liquidi corporei

- Gli ioni idrogeno sono molto reattivi in soluzione. Possono rompere legami chimici, modificare la forma di molecole complesse, determinare gravi alterazioni cellulari e tissutali
- La loro concentrazione deve quindi essere regolata in modo molto preciso
- Alcuni ioni idrogeno sono prodotti dalla dissociazione di soluti; l'acqua stessa si dissocia in maniera debole in una reazione reversibile →
 $H_2O = H^+ + OH^-$
- Questa dissociazione dà origine a uno ione idrogeno H^+ e un gruppo ossidrile OH^-
- Pochissime molecole d'acqua si dissociano in acqua pura: un litro contiene 0,0000001 moli di H^+ e altrettante di OH^- cioè

$$[H^+] = 1 \times 10^{-7} \text{ mmol/l}$$

- La concentrazione idrogenionica è così importante nei processi fisiologici che si usa un'abbreviazione speciale per esprimerla → il pH cioè il **logaritmo negativo della concentrazione di ioni idrogeno** (così invece di usare l'espressione di cui sopra si dice che il pH dell'acqua pura è 7)
- Una soluzione con pH 6 ha una $[H^+]$ dieci volte maggiore di una con pH 7
- Una soluzione con pH 7 è **neutra** perché contiene ugual numero di H^+ e OH^- ; una con pH inferiore a 7 è **acida** perché predominano gli ioni idrogeno, una con pH superiore a 7 è **basica o alcalina** perché a maggioranza di ossidrili
- Il pH del sangue è strettamente regolato tra 7,35 e 7,45. Sotto a 7,0 o sopra a 7,8 non è compatibile con la vita
- Il metabolismo cellulare genera significative quantità di acidi che devono essere neutralizzati; in alcune occasioni la perdita di acidi determina condizioni altrettanto pericolose

pH e concentrazione idrogenionica

Concentrazione di ioni idrogeno pH

100 (1,0)	0	Acido cloridrico (HCl)
10^{-1} (0,1)	1	Succo gastrico
10^{-2} (0,01)	2	Succo di limone, coca cola
10^{-3} (0,001)	3	Vino bianco
10^{-4} (0,0001)	4	Succo di pomodoro
10^{-5} (0,00001)	5	Caffè
10^{-6} (0,000001)	6	Urina, saliva
10^{-7} (0,0000001)	7	Acqua distillata (Sangue 7,40)
10^{-8} (0,00000001)	8	Bile
10^{-9} (0,000000001)	9	
10^{-10} (0,0000000001)	10	Candeggina (9,50)
10^{-11} (0,00000000001)	11	Latte di magnesio (10,50)
10^{-12} (0,000000000001)	12	Acqua ammoniacale
10^{-13} (0,0000000000001)	13	
10^{-14} (0,00000000000001)	14	Soda (NaOH)

EQUILIBRIO IDROELETTROLITICO E ACIDO-BASE

- *Equilibrio idrico* → la quantità di acqua introdotta è pari a quella persa
- *Equilibrio elettrolitico* → non si verifica perdita né guadagno di ioni nei liquidi corporei
- *Equilibrio acido-base* → la produzione di ioni idrogeno bilancia esattamente le perdite
 - *Acidosi* $pH < 7,35$
 - *Alcalosi* $pH > 7,45$
- Il SNC e il S. cardiovascolare sono particolarmente suscettibili alle fluttuazioni del pH

L'ACIDOSI NELL'ORGANISMO (1)

- Un *acido volatile* è un acido che può abbandonare una soluzione ed evaporare nell'atmosfera
- *L'anidride carbonica* è un importante acido volatile reperibile nell'organismo e la sua concentrazione è il fattore più importante che influenza il pH dei tessuti
- In soluzione interagisce con l'acqua formando acido carbonico
$$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$$
- Questa è una reazione che avviene spontaneamente nei liquidi organici e avviene più rapidamente in presenza di *anidrasi carbonica*, un enzima presente in molti tipi di cellule
- *Al pH normale del sangue gran parte dell'anidride carbonica in soluzione è trasformata in acido carbonico e gran parte di questo si dissocia; esiste una relazione diretta tra $p\text{CO}_2$ e pH → quando la concentrazione di anidride carbonica sale si liberano ioni idrogeno e il pH scende, quando a livello degli alveoli la CO_2 diffonde nell'atmosfera gli ioni idrogeno diminuiscono e il pH sale*

L'ACIDOSI NELL'ORGANISMO (2)

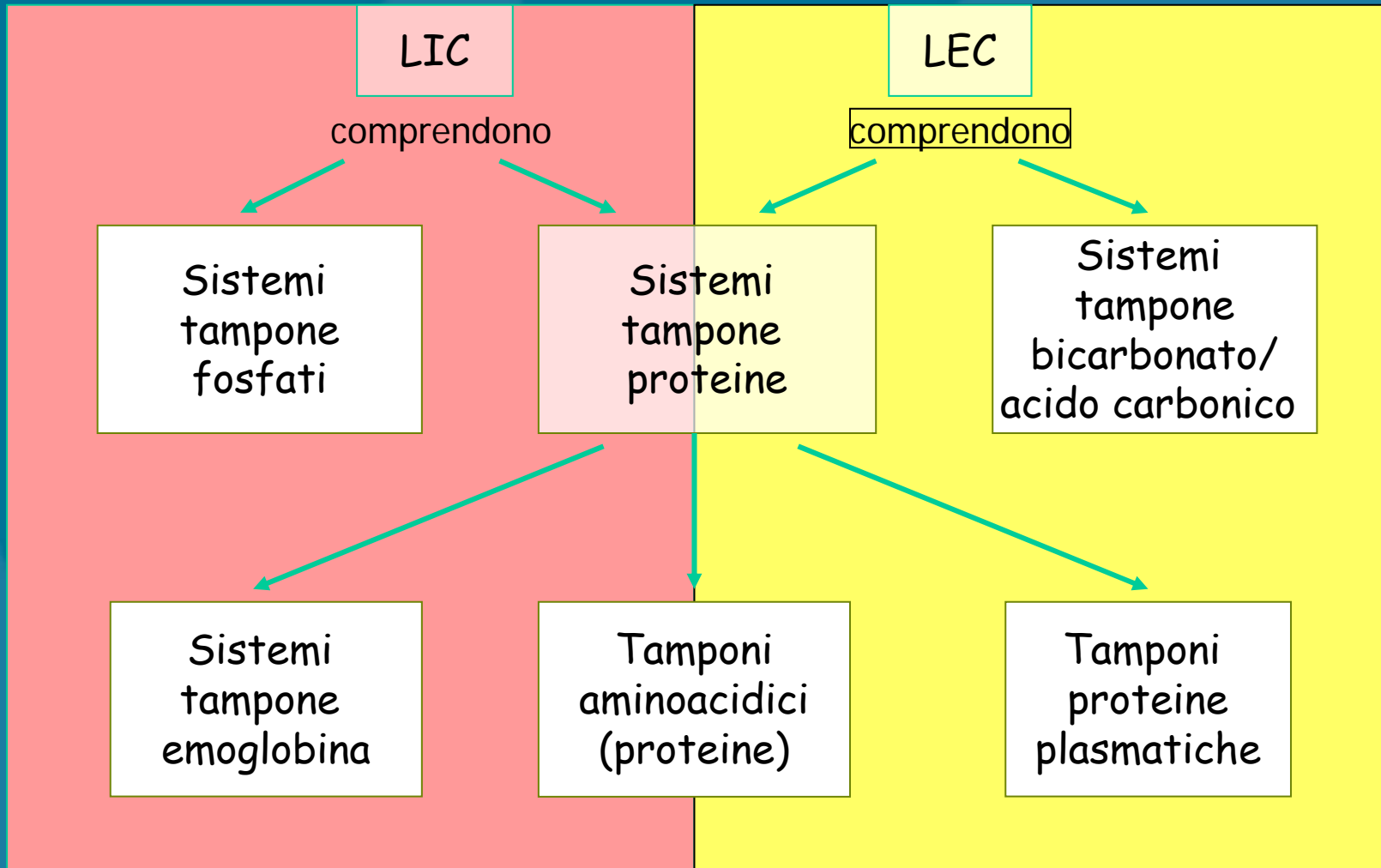
- *Gli acidi non volatili* (o fissi), una volta prodotti, rimangono in soluzione finché non vengono escreti dai reni; i più importanti sono l'acido solforico e l'acido fosforico prodotti in piccole quantità dal catabolismo degli aminoacidi
- *Gli acidi organici* sono parte attiva o sottoprodotti del metabolismo cellulare, come l'acido lattico e i corpi chetonici; di regola vengono metabolizzati velocemente. Durante glicolisi anaerobia, catabolismo eccessivo, digiuno prolungato vengono prodotti in gran quantità e possono accumularsi

I TAMPONI E I SISTEMI TAMPONE

- Sono composti disciolti che possono "occuparsi" degli ioni idrogeno o rimuoverli, stabilizzando così il pH di una soluzione
- Includono gli *acidi deboli* (che forniscono H^+) e le *basi deboli* (che legano H^+).
- Esistono tre sistemi tampone principali, ciascuno con caratteristiche e distribuzione leggermente diversi

SISTEMI TAMPONE

reperibili nel



IL SISTEMA TAMPONE PROTEICO

- Dipende dalla capacità degli aminoacidi di rispondere alle variazioni di pH accettando o liberando un H^+ .
- Se pH sale il gruppo carbossilico ($-COOH$) cede un H^+ .
- Se pH scende è il radicale aminico ($-NH_2^-$) ad accettare un H^+ diventando $-NH_3$
- Il sistema proteico intracellulare interviene anche nella regolazione del pH del LEC → quando il pH del LEC scende, *ioni idrogeno entrano nelle cellule contro scambio di potassio e vengono tamponati dalle proteine intracellulari*

IL SISTEMA TAMPONE DELL'EMOGLOBINA

- Ha effetti rapidissimi sul pH del plasma
- L'*anidraasi carbonica* del citoplasma dei globuli rossi trasforma la CO_2 in acido carbonico; gli H^+ dissociati da questo vengono tamponati dall'emoglobina e i bicarbonati trasportati nel plasma. Nei polmoni l'intera sequenza è ripetuta al rovescio e la CO_2 rilasciata nell'aria alveolare

IL SISTEMA TAMPONE ACIDO CARBONICO/BICARBONATO

- L'anidride carbonica è prodotta in tutte le cellule viventi; buona parte è convertita in acido carbonico che si dissocia in ione idrogeno e ione bicarbonato



- Questa reazione è liberamente reversibile quindi l'aumento o la diminuzione di una delle componenti modificherà le concentrazioni dell'altra componente
- E' soprattutto attivo nel tamponare acidi organici e acidi non volatili. E' un sistema "esauribile" (una volta consumati tutti i bicarbonati della riserva la capacità tampone viene meno)

IL SISTEMA TAMPONE DEI FOSFATI

- È formato da un anione, H_2PO_4^- , un acido debole che in soluzione perde un idrogenione diventando HPO_4^{2-}
- Le reazioni di base somigliano a quelle del tampone ac. carbonico/bicarbonato



- Questo sistema svolge un ruolo marginale nella regolazione del pH del LEC, ma è importante nel tamponamento dei liquidi intracellulari

ALTERAZIONI DELL'EQUILIBRIO ACIDO-BASE (1)

- La funzione respiratoria, la funzione renale e i sistemi tampone dell'organismo interagiscono tra loro per controllare il pH dei liquidi organici con estrema precisione
- Quando i tamponi sono saturi o alterati, o vi sia un danno respiratorio o renale, il pH oltrepassa questi limiti determinando la comparsa dei *sintomi di acidosi o alcalosi*
- Anche alcune patologie del SNC coinvolgenti i riflessi respiratori e circolatori alterano l'equilibrio acido-base
- Oscillazioni temporanee del pH sono frequenti e rapidamente recuperate; se la situazione patologica che ha determinato il disturbo permane, il compenso può non essere completo e il *pH rimanere alterato*

ALTERAZIONI DELL'EQUILIBRIO ACIDO-BASE (2)

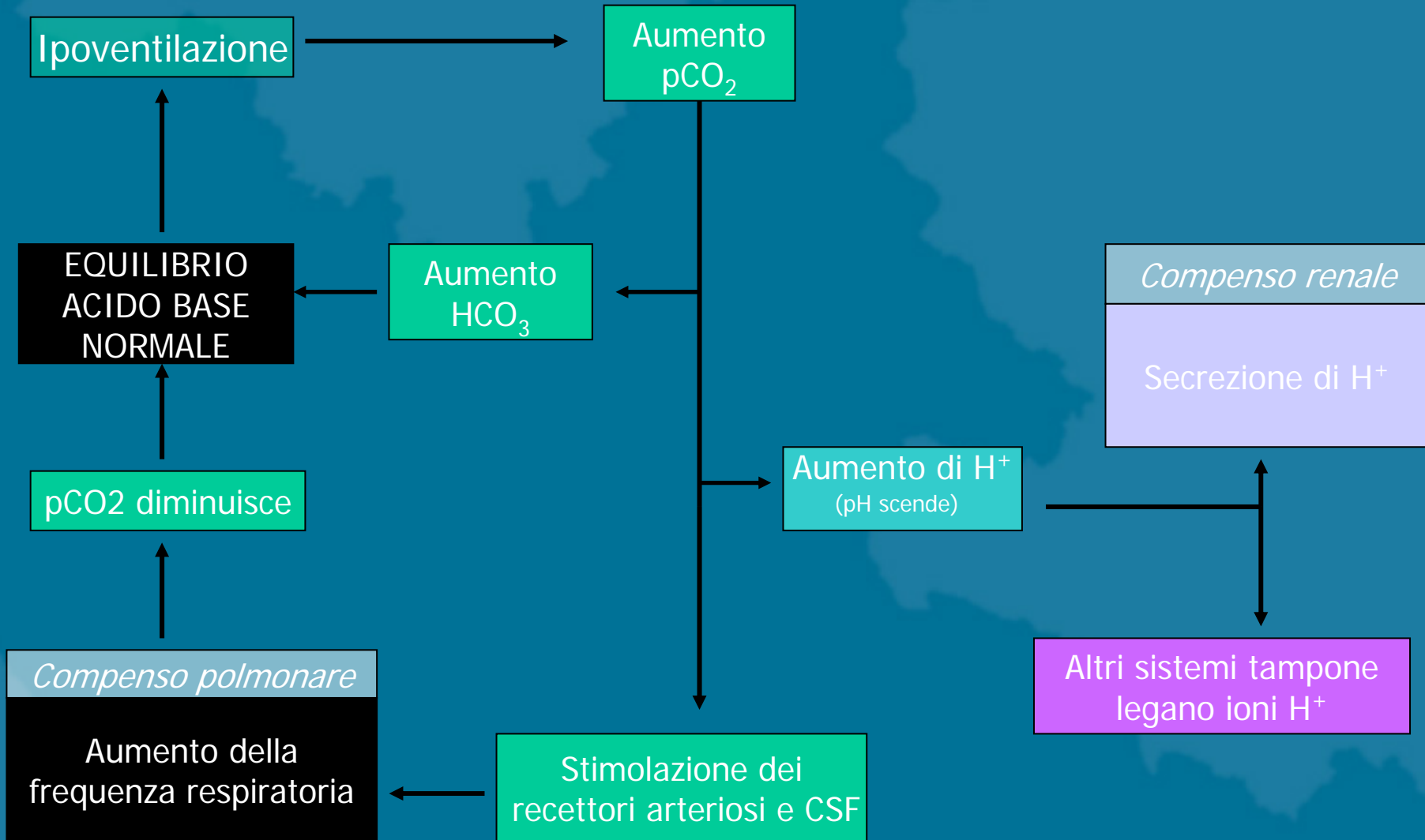
- L'origine del problema viene di solito indicata con il nome dato alla situazione che ne deriva:
 - I **disordini respiratori** sono conseguenza di livelli anomali di CO_2 nel LEC (discrepanza tra CO_2 prodotta dai tessuti e rimossa dai polmoni)
 - I **disordini metabolici** sono determinati dalla produzione di acidi organici o non volatili o da patologie che influenzano la concentrazione dei bicarbonati nel LEC
- Quattro sono i tipi di alterazione dell'equilibrio acido base: *acidosi respiratoria, alcalosi respiratoria, acidosi metabolica, alcalosi metabolica*

ACIDOSI RESPIRATORIA (1)

- *E' l'alterazione più frequente*
- Si realizza quando l'apparato respiratorio è incapace di eliminare la CO_2 prodotta dai tessuti
- I sintomi sono quelli dell'acidosi prodotta dall'ipercapnia.
- La CO_2 viene idratata e si dissocia poi in H^+ e HCO_3^-
- Una volta saturati i tamponi il pH inizia a scendere
- I tessuti producono rapidamente CO_2 e pochi minuti di ipoventilazione determinano la comparsa di acidosi; questa stimola i chemorecettori del CSF che a loro volta determinano aumento della frequenza respiratoria; se la risposta dei chemorecettori fallisce o la ventilazione non può essere aumentata il pH continua a scendere

ACIDOSI RESPIRATORIA (2)

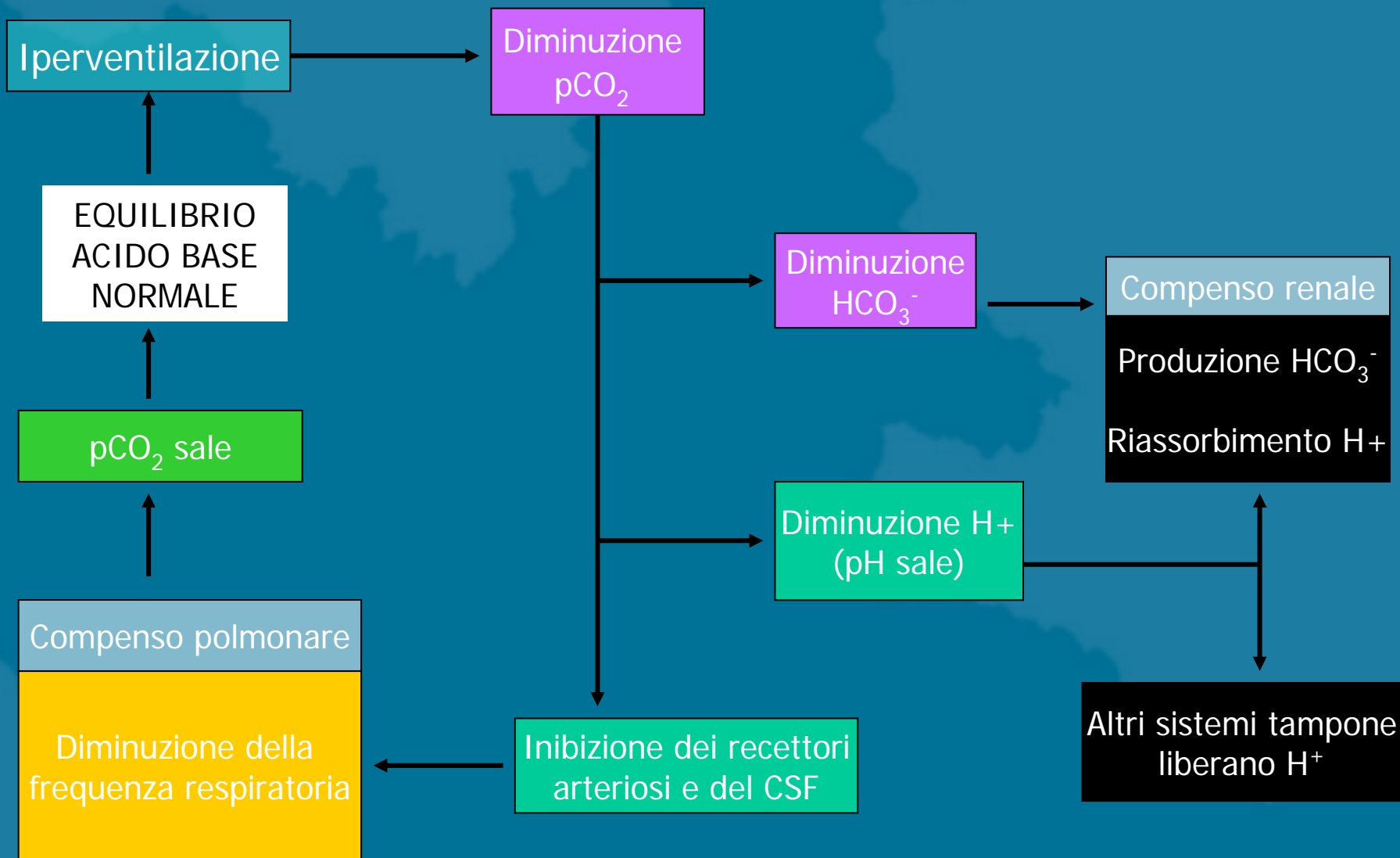
- **Acidosi respiratoria acuta** → mette rapidamente in pericolo la vita. Si realizza in persone incapaci di una normale attività respiratoria; il recupero da questa situazione è il **miglior risultato** di una rianimazione in corso di arresto cardiorespiratorio
- **Acidosi respiratoria cronica** → la normale funzione respiratoria è compromessa ma i meccanismi di compenso non sono completamente deficitari (traumi del SNC, intossicazione da alcool o barbiturici, malattie ostruttive polmonari, PNX, paralisi dei muscoli respiratori, scompenso cardiaco congestizio)
- I reni compensano parzialmente l'acidosi, eliminando più ioni idrogeno, ma il solo meccanismo di compenso renale non è sufficiente se non vengono corretti i problemi sottostanti



Meccanismi di compenso all'acidosi respiratoria

ALCALOSI RESPIRATORIA

- Si sviluppa quando l'iperventilazione determina la riduzione della CO_2 sotto i livelli normali → *ipocapnia* (raramente dura così a lungo da costituire un'emergenza clinica)
- Durante iperventilazione il pH sale e alcune funzioni del SNC vengono alterate; compaiono parestesie alle mani, ai piedi, alle labbra, sensazione di testa vuota, talvolta perdita di coscienza
- In questi casi gli stimoli sui centri del respiro sono soppressi e la FR diminuisce, riportando la situazione alla norma
- Una terapia semplice consiste nel far respirare il paziente in un sacchetto di carta
- Altre forme di alcalosi respiratoria, rare, interessano pazienti connessi a respiratori meccanici o con traumi cerebrali con danni del tronco cerebrale



Meccanismi di compenso all'alcalosi respiratoria

ACIDOSI METABOLICA

Dopo l'acidosi respiratoria è lo squilibrio acido-base più frequente

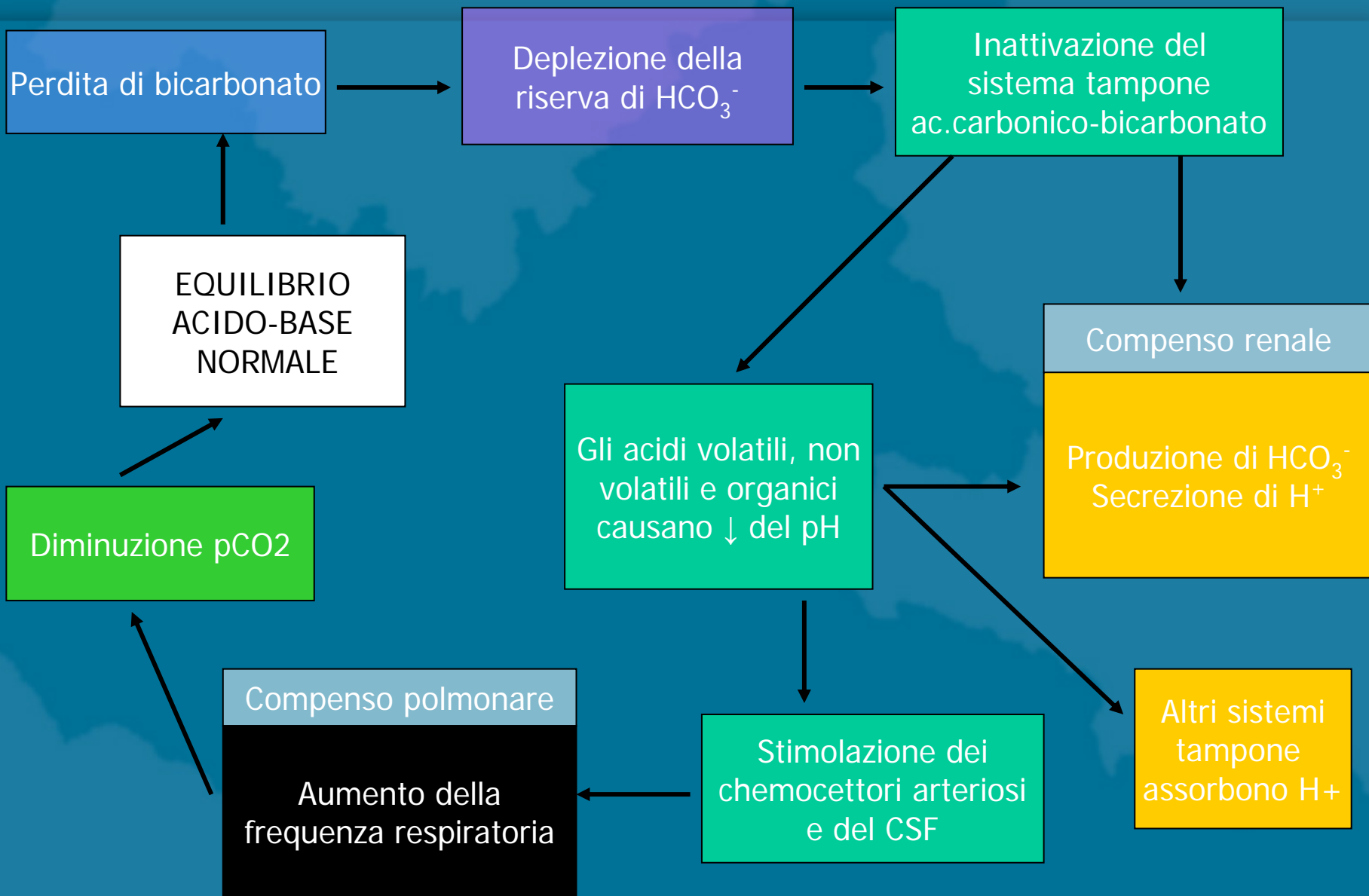
Riconosce tre cause principali:

- Ridotta capacità renale di escrezioni di ioni H^+ → tutte le condizioni di *grave danno renale*
- Produzione di una gran quantità di acidi → *acidosi lattica, chetoacidosi*
- Gravi perdite di bicarbonato → *diarrea cronica*

Il compenso implica meccanismi respiratori e renali → gli H^+ in eccesso si legano agli ioni bicarbonato formando CO_2 e acqua; la CO_2 viene poi eliminata dai polmoni mentre i reni operano un'eliminazione supplementare di H^+ nell'urina e producono ioni bicarbonato.



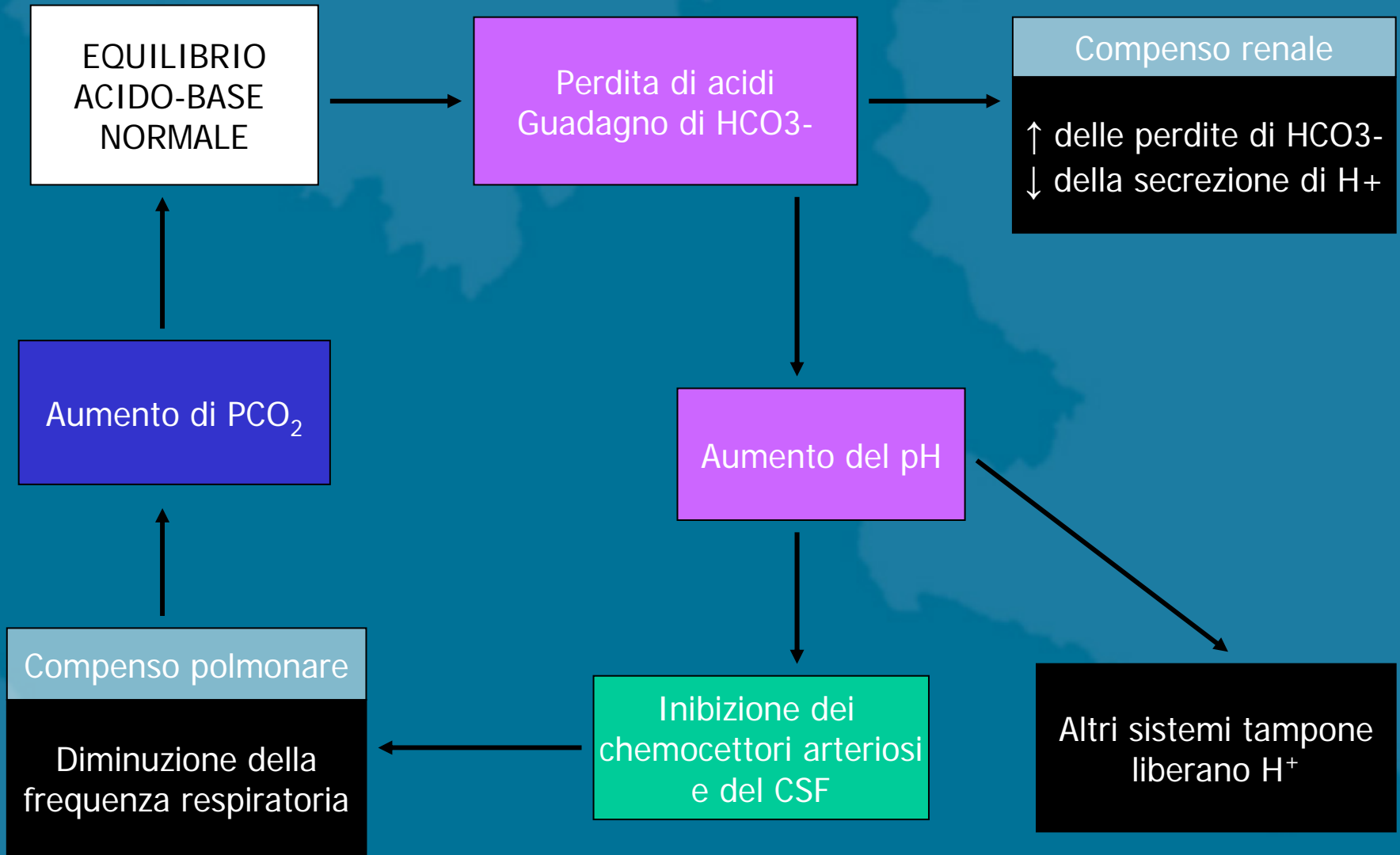
Meccanismi di compenso all'acidosi metabolica (1)



Meccanismi di compenso all'acidosi metabolica (2)

ALCALOSI METABOLICA

- E' solitamente dovuta a perdita di acidi, come nel vomito ripetuto
- La secrezione di acido cloridrico (HCl) da parte della mucosa gastrica è associata al flusso di grandi quantità di bicarbonato nel LEC → *marea alcalina*, che incrementa provvisoriamente la concentrazione di bicarbonati nel LEC al momento del pasto
- Una persona che vomita ripetutamente continuerà a produrre acidi in sostituzione di quelli persi e ad immettere bicarbonati nel LEC



Meccanismi di compenso all'alcalosi metabolica

Variazioni della chimica ematica associate alle alterazioni dell'equilibrio acido-base

<i>Disordine</i>	pH	[HCO ₃]	pCO ₂	<i>Caratteristiche</i>	<i>Terapia</i>
<u><i>Acidosi Respirat.</i></u>	↓	↑	↑	Causata da ipoventilazione e aumento di CO ₂ nei tessuti e nel sangue	Migliorare ventilazione, anche con VM
<u><i>Acidosi Metabol.</i></u>	↓	↓	↓	Da aumento degli acidi organici o non volatili; da ridotta escrezione di H ⁺ o perdita di HCO ₃ ⁻ con feci o urine	Somministrazione graduale di bicarbonato; correggere la causa iniziale
<u><i>Alcalosi Respirat.</i></u>	↑	↓	↓	Da iperventilazione con riduzione livelli plasmatici di CO ₂	Ridurre frequenza respiratoria (o utilizzare sacchetto di carta)
<u><i>Alcalosi Metabol.</i></u>	↑	↑	↑	Da vomito prolungato	Correggere il vomito; se pH > 7.55 utilizzare cloruro d'ammonio