

- Caso particolare di habitat con T bassa
- Altezza sul livello del mare va in parallelo con gli effetti della distanza dall'equatore
- Problemi ulteriori

I problemi termici

- **Diminuzione T**
- Elevata tolleranza termica
- **Eliotermia**
- Le specie che vivono in alta quota si scaldano più lentamente
- Acclimatazione dei pigmenti cellulari permette l'insorgere di risposte termoregolatrici appropriate
- Termoregolazione correlata alla postura

I problemi termici

- **Uso della vegetazione e del microclima**
- Es.: deposizione uova in modo da prendere il max riscaldamento al Sole del primo mattino
- Scelta microhabitat riguarda anche i vertebrati

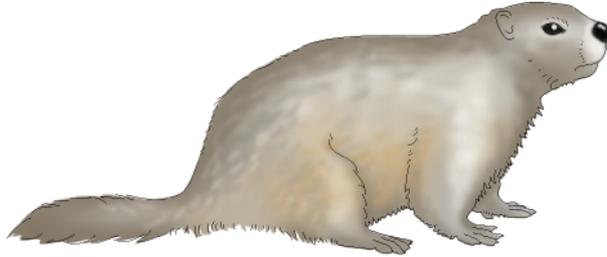
I problemi termici

- **La vita nelle tane** combinata con **l'accalcarsi l'un l'altro**
- Comportamento gregario anche agli animali più grandi: pecore, capre

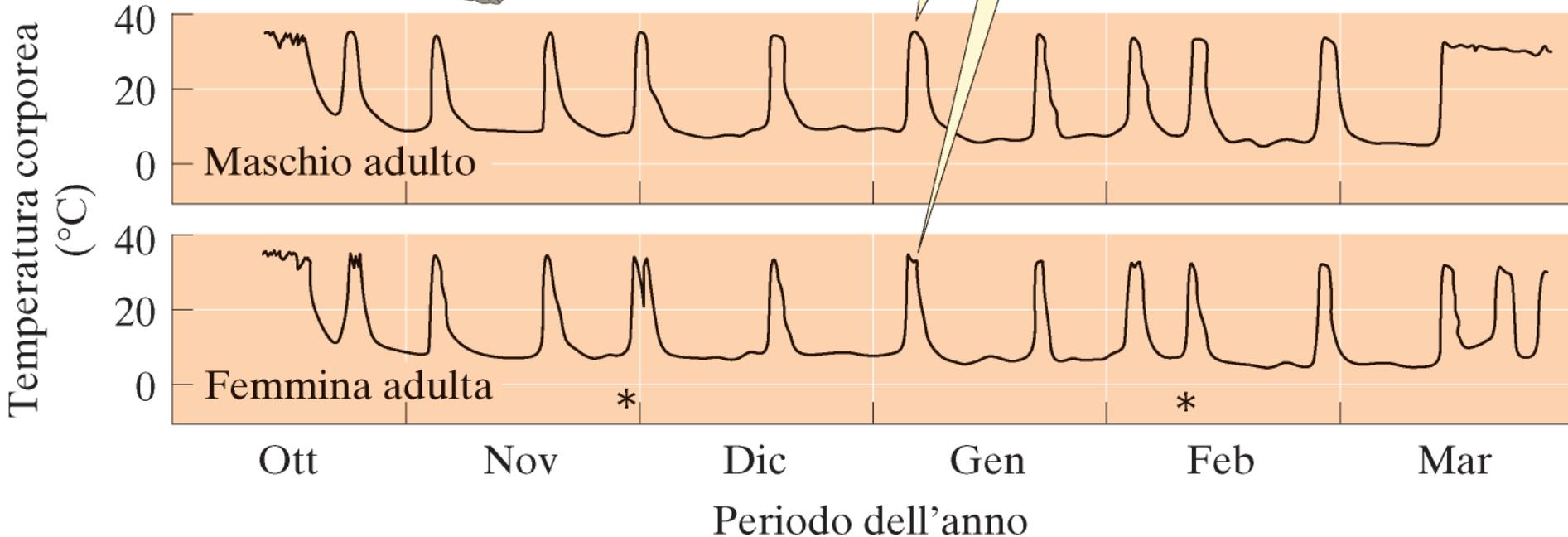
I problemi termici

- *Ornithorhynchus anatinus* vive nei corsi d'H₂O dell'Australia orientale, possiede un pelo tra i più efficaci per le proprietà **isolanti**, con un denso sottopelo e con peli setolosi che intrappolano l'aria, scambiatori di calore controcorrente nelle zampe e alla base della coda
- *Oreamnos americanus* (capra selvatica): Montagne Rocciose, strategia orsi polari

Le marmotte si risvegliano in sincronia. Le temperature di due marmotte adulte che ibernavano insieme. Disturbi esterni potrebbero avere influenzato il risveglio degli animali in occasione dei due eventi contrassegnati con l'asterisco.



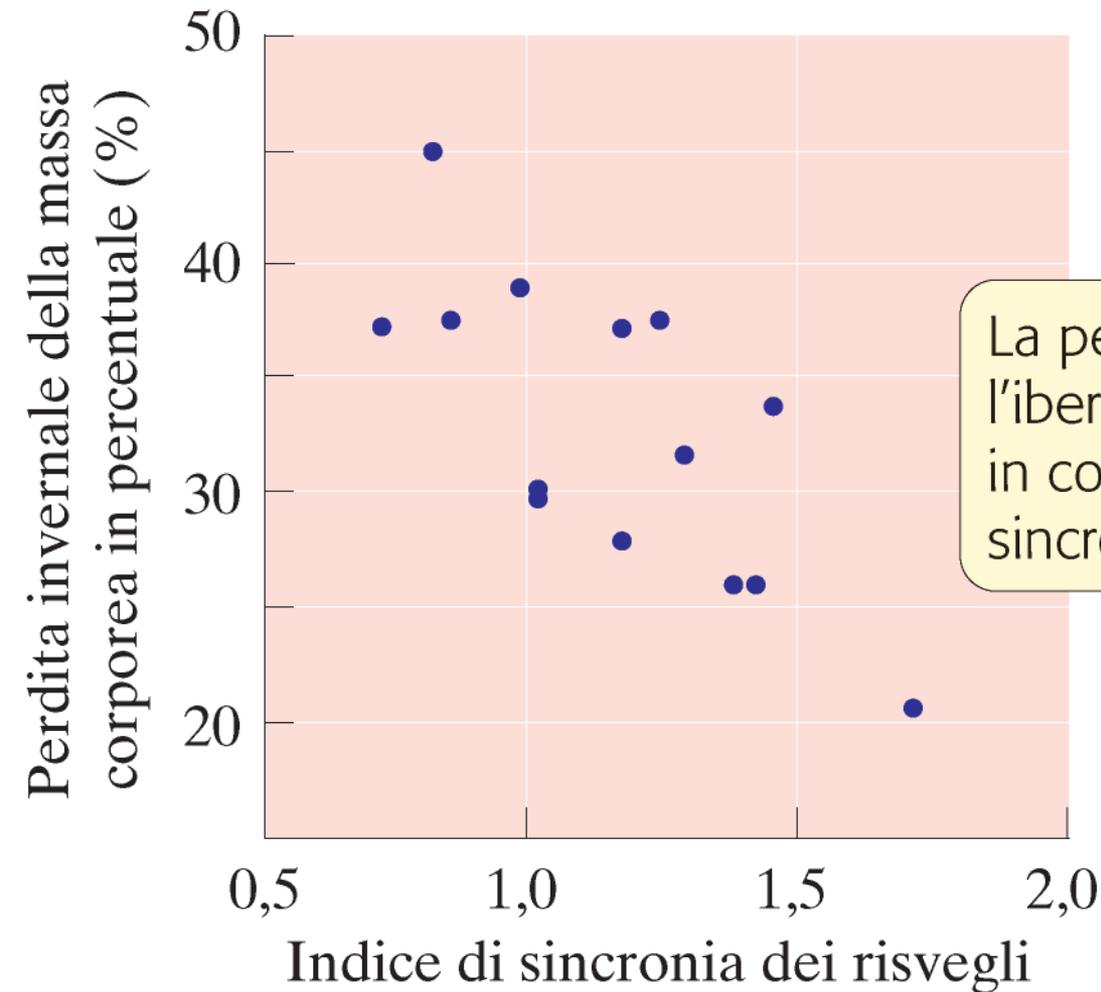
A ciascun risveglio periodico questi due animali, che ibernavano insieme, sono entrati in fase di risveglio in reciproca sincronia.



Fenomeno usuale del risveglio periodico sincrono negli individui adulti e preadulti del gruppo ibernante. Tale sincronia abbassa i costi energetici reciproci del risveglio. Spesso gli individui giovani del gruppo ibernante non iniziano la fase di risveglio in sincronia con gli individui adulti e preadulti, ma ritardano.

L'intersezione tra sociobiologia e fisiologia: l'ibernazione sociale come risparmio energetico.

Dato che una perdita di massa relativamente forte mette a repentaglio la vita degli animali, questa analisi dimostra che la sincronia del risveglio ha importanti conseguenze sulle probabilità di sopravvivenza.



La perdita di massa corporea durante l'ibernazione tende a essere inferiore in corrispondenza di una maggiore sincronia di risveglio.

Una ulteriore analisi dei dati disponibili dimostra che la presenza di individui giovani è importantissima per determinare la dinamica dell'ibernazione di gruppo. Una delle cause principali dell'effetto osservato sugli adulti è che i giovani riducono la sincronia del risveglio.

I problemi termici

In molti invertebrati, il **metabolismo** specifico tende ad aumentare con l'altitudine



Adattamento per accelerare lo sviluppo in specie che restano annuali

I problemi termici

- Negli insetti un certo grado di endotermia
- Specie più piccole (acari, collemboli,...) tendono a essere **intolleranti al congelamento**
- Gli invertebrati più grandi tendono a essere **tolleranti al congelamento**

Disidratazione e bilancio idrico

- Gli animali tendono a disidratarsi con l'aumentare dell'altitudine
- A T ambientale bassa, la quantità di vapore acqueo contenuta nell'aria si riduce
- La cost di diffusione di tutti i gas aumenta con l'altitudine
- L'aumento della velocità del vento può incrementare l'effetto di disidratazione

Disidratazione e bilancio idrico

- Gli invertebrati mostrano una **tolleranza alla disidratazione** relativamente alta
- Problema del bilancio idrico è più complicato per gli endotermi
- Molti mammiferi possiedono una quantità **ridotta di H₂O corporea totale**

La vita subacquea dei mammiferi marini

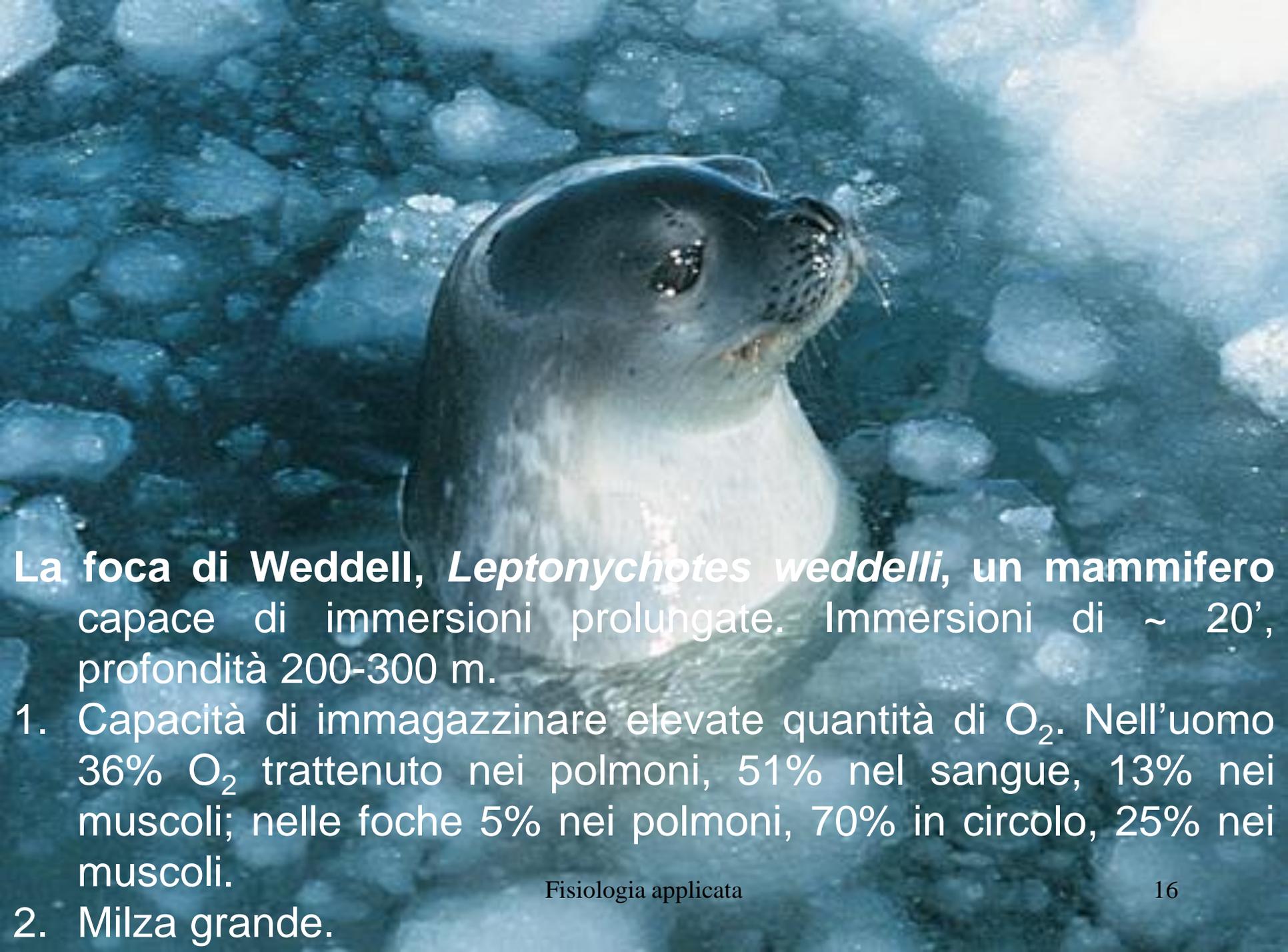
Mammiferi marini

- 3 ordini: pinnipedi (foche e trichechi) sirenidi (Trichechidae e Dugongidae) e cetacei sono esclusivamente marini.
- Le foche tornano brevemente sulla terra per riprodursi e allattare i piccoli

Effetti dell'isolamento termico

Mammiferi acquatici, depositi grasso sottocutanei, circolazione del sangue cortocircuitata, allontanata dallo strato di grasso al di sotto della cute

- **Respirano con i polmoni** e devono quindi tornare periodicamente in superficie: ciò non impedisce loro di compiere immersioni a profondità impressionanti (certi Odontoceti cacciano abitualmente le loro prede tra i 600 ed i 2500 m di profondità)
- **Adattamenti fisiologici estremi:** i polmoni sono relativamente piccoli; invece di costituire uno svantaggio, questo adattamento è indispensabile per scongiurare i rischi di embolia gassosa dovuta all'espansione dell' N_2 dell'aria passato nei tessuti e nei fluidi del corpo durante l'immersione

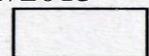
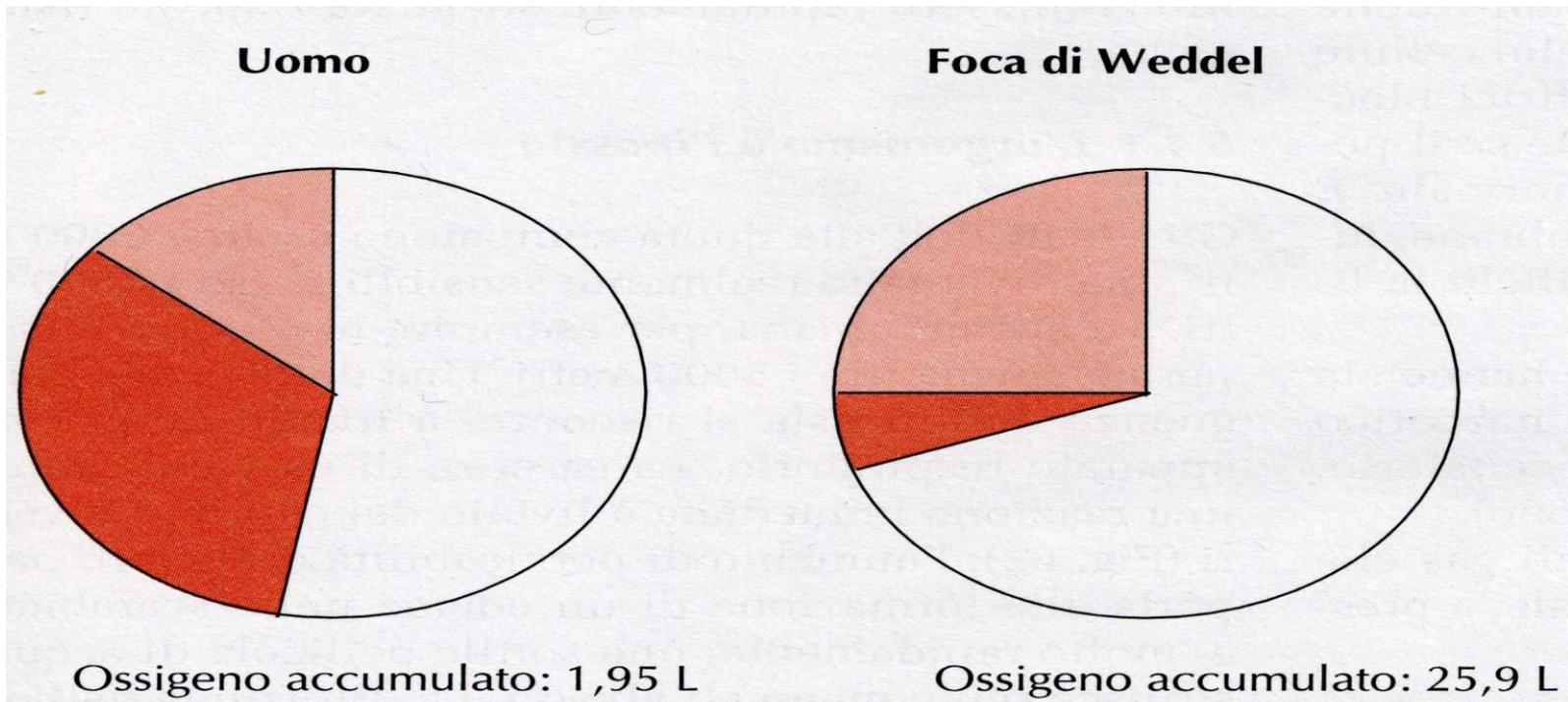


La foca di Weddell, *Leptonychotes weddelli*, un mammifero capace di immersioni prolungate. Immersioni di ~ 20', profondità 200-300 m.

1. Capacità di immagazzinare elevate quantità di O_2 . Nell'uomo 36% O_2 trattenuto nei polmoni, 51% nel sangue, 13% nei muscoli; nelle foche 5% nei polmoni, 70% in circolo, 25% nei muscoli.

2. Milza grande.

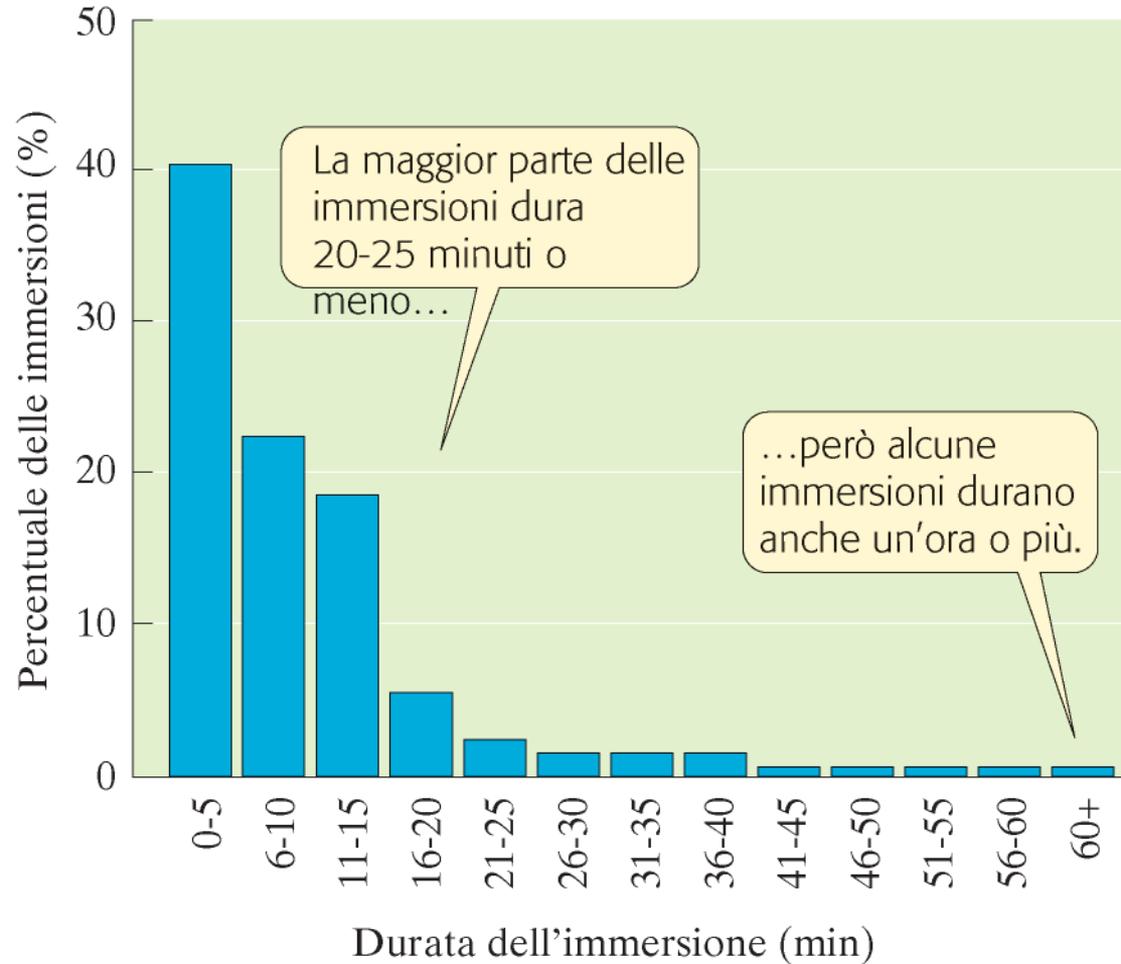
- All'inizio dell'immersione il n° di emazie \uparrow . Questa poliglobulia dipende dalla messa in circolo da parte della milza di una notevole quantità di globuli rossi ossigenati
- Queste riserve \downarrow il debito di O_2 causato dall'anaerobiosi
- Con un meccanismo riflesso, modificazioni della circolazione sanguigna: bradicardia \downarrow il lavoro del cuore e la portata dell'apparato circolatorio, viene interrotta l'irrorazione di certi organi



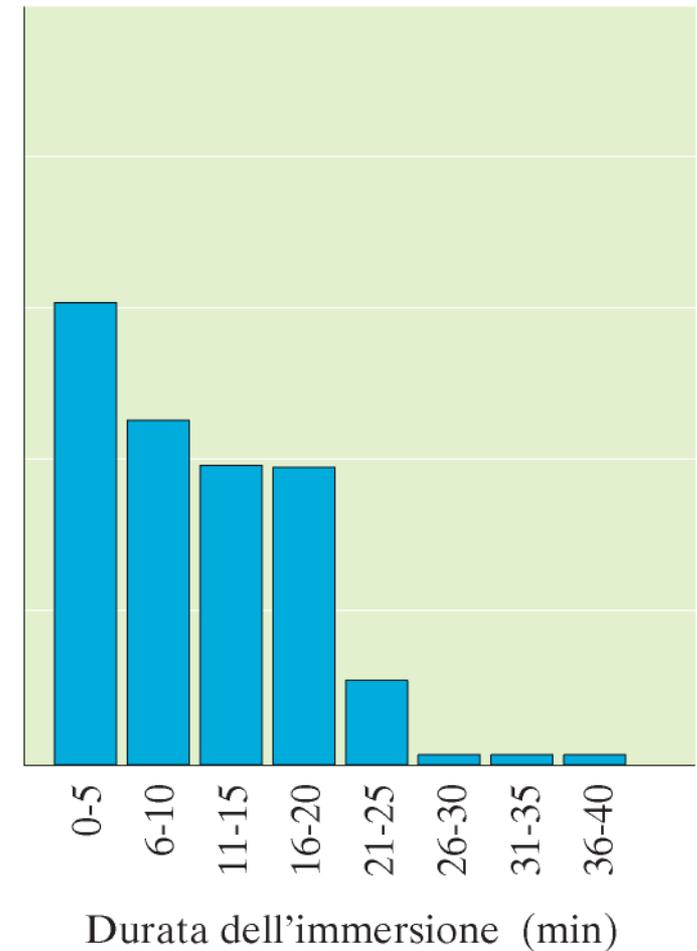
Durata delle immersioni nella foca di Weddell.

Questi dati provengono da 2 ricerche, e riguardano 5600 immersioni fatte da foche di Weddell libere in natura, che a volte restano volontariamente sott'H₂O più di 1 h.

(a) 1057 immersioni compiute da 6 foche

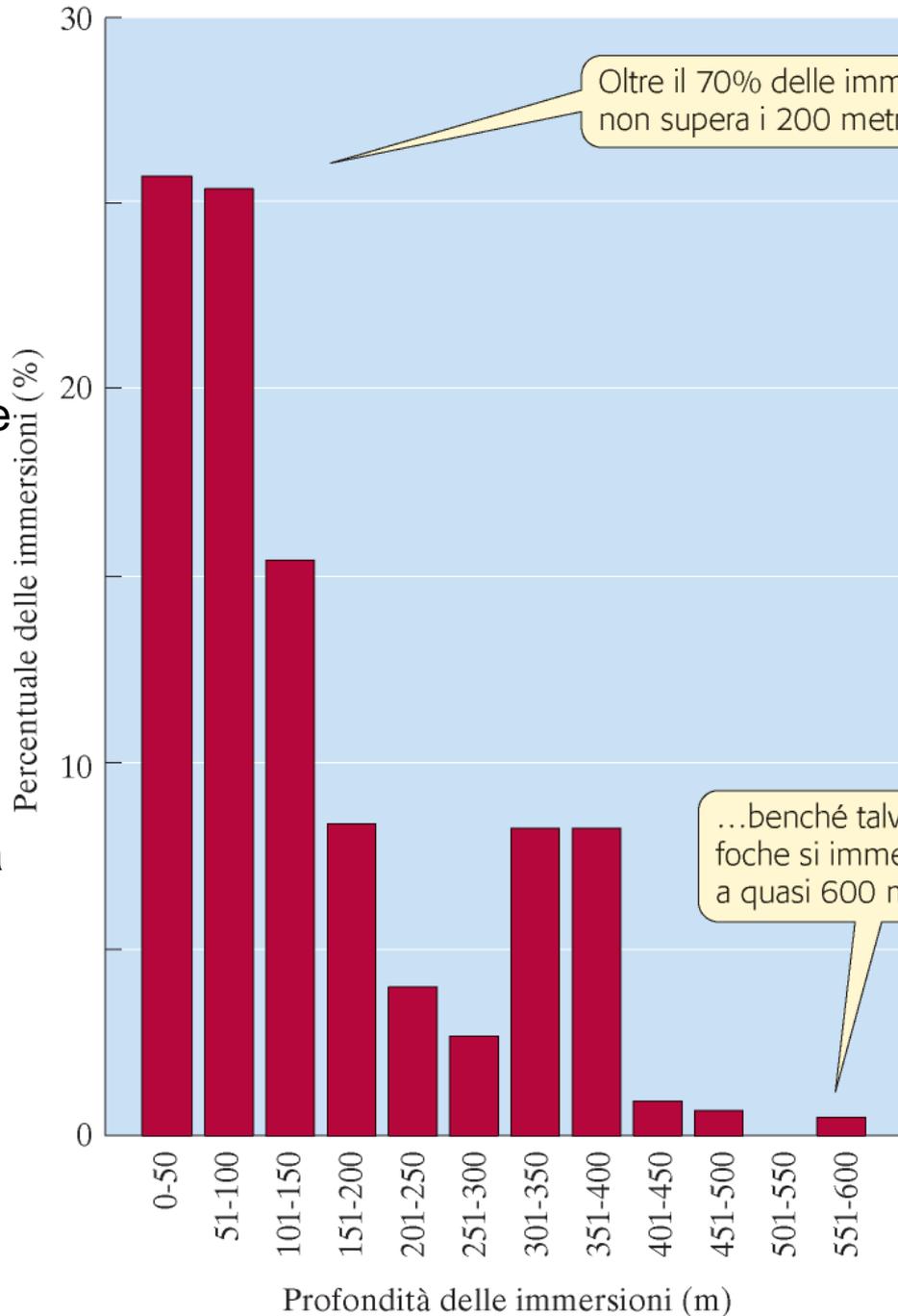


(b) 4601 immersioni compiute da 22 foche



Vivono sulla banchisa, accedono all'H₂O per nutrirsi scavando buchi nel ghiaccio e tendendoli poi aperti: una foca che si tuffa da un buco nel ghiaccio deve poi tornare a quello o a un altro per respirare.

Le profondità raggiunte a ogni immersione sembrano seguire lo stesso andamento. Questi dati rappresentano oltre 380 immersioni compiuti da 70 individui. Immergendosi la foca sopporta a volte pressioni fisiche immani. La pressione aumenta pressappoco di 1 atmosfera (101 kPa) ogni 10 metri di profondità. L'elefante marino settentrionale (*Mirounga angustirostris*) si riproduce in



California nella colonia di Año Nuevo presso S. Francisco. Entrambi i sessi passano in mare la > parte della loro vita, visitando la costa 2 volte all'anno per accoppiarsi, cambiare il pelo e (per le femmine) allevare i piccoli. Tra una visita e l'altra alla terraferma essi intraprendono lunghe migrazioni attraversando spesso metà del Pacifico, nutrendosi. La posizione geografica dei singoli animali si può seguire per tutto il percorso usando tecniche di localizzazione satellitare.

Tutte le specie di mammiferi (e di uccelli) capaci di vita subacquea sembrano conformarsi a:

1. La durata delle immersioni abituali è assai più breve della durata massima raggiungibile da una specie
2. La profondità delle immersioni abituali è molto inferiore alla massima profondità caratteristica di ogni specie

I tipi di immersione subacquea e l'importanza del metodo

- Forzata o volontaria?
- Lunga o breve (relativamente alla massima durata tipica della specie)?
- Quieta o attiva?

Si possono innescare sequenze di risposta diverse a seconda che l'immersione sia lunga o breve

La fisiologia: un inquadramento generale

- *L'osservazione che l'acido lattico circolante aumenta soprattutto dopo un'immersione forzata fu una delle prime prove che la funzione circolatoria è radicalmente modificata durante l'immersione*
- In natura le foche e le balene ridistribuiscono drasticamente la circolazione del sangue se si immergono volontariamente per lunghi periodi di tempo

Nei mammiferi capaci di immersione le scorte ematiche di O_2 tendono a essere abbondanti

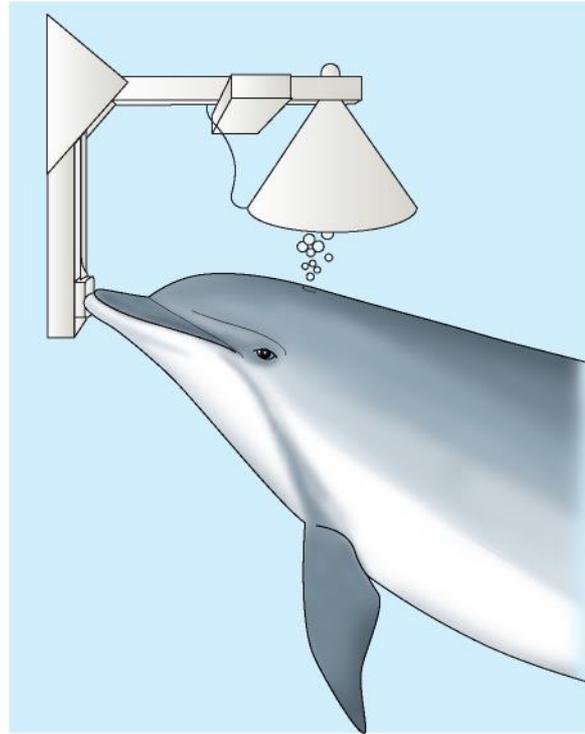
La quantità di O_2 accumulabile nel sangue dipende da 3 fattori:

1. Capacità di trasporto dell' O_2 da parte del sangue
2. Volume totale del sangue
3. Grado a cui il sangue si satura completamente di O_2 al momento di immergersi

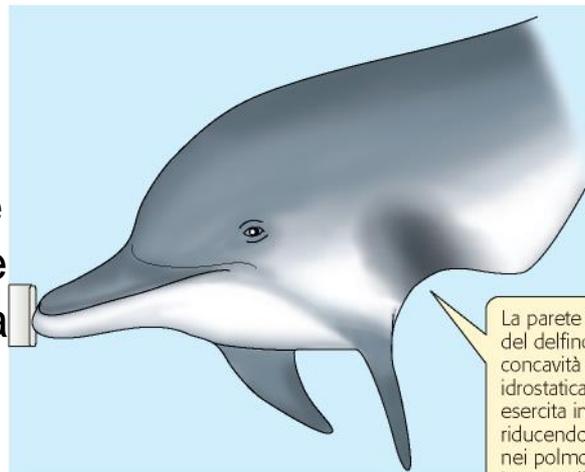
Nei mammiferi marini il torace è molto comprimibile. Delfino tursiope (*Tursiops truncatus*).

La cavità toracica e i polmoni si possono comprimere liberamente, cioè il loro volume risponde ai cambiamenti della pressione esterna come previsto applicando la legge universale dei gas. L'uomo e gli altri mammiferi terrestri hanno una parete toracica di struttura meno flessibile e quindi resistente alla compressione. Nelle foche la parete toracica non offre alcuna resistenza e cede a tutte le pressioni cui l'animale va soggetto con la profondità.

(a) Delfino vicino alla superficie



(b) Delfino a 300 metri di profondità



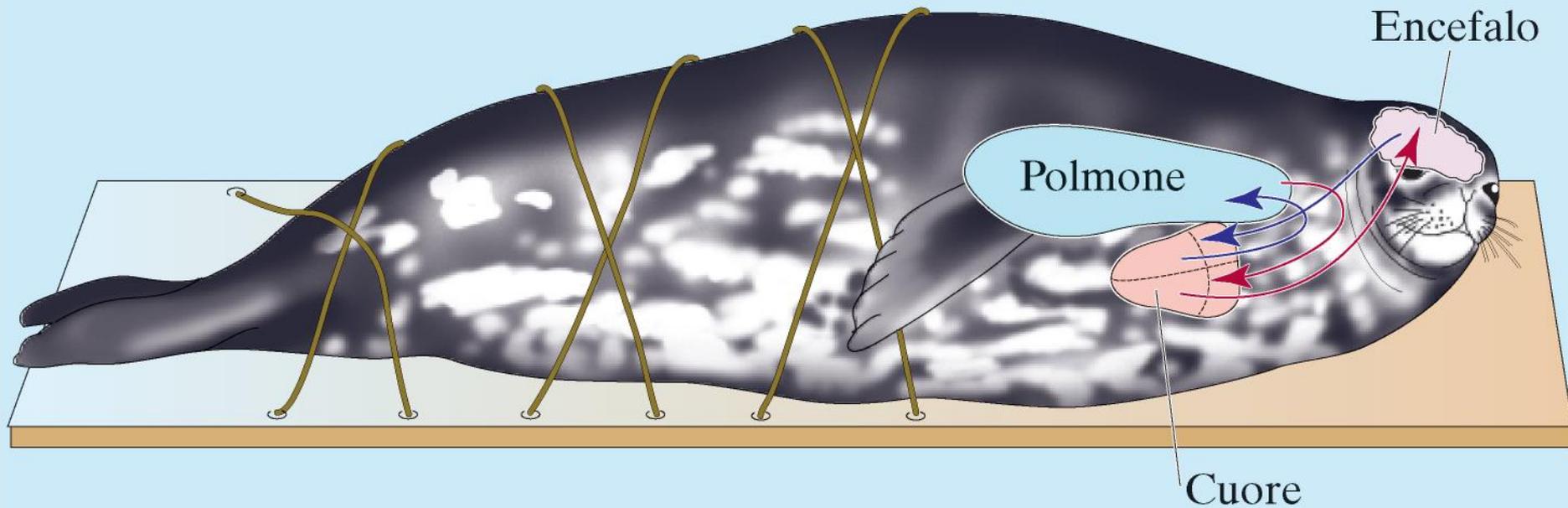
La parete toracica flessibile del delfino forma una concavità sotto la pressione idrostatica forte che si esercita in profondità, riducendo il volume di aria nei polmoni in proporzione inversa alla pressione.

3 considerazioni smentiscono l'ipotesi che una grossa scorta di aria nei polmoni possa essere un vantaggio sicuro per un mammifero subacqueo:

1. Una grande quantità di aria nei polmoni tende a far galleggiare l'animale, spingendolo con forza verso la superficie e obbligandolo a faticare molto per rimanere sott'H₂O
2. Di solito gli alveoli sono i primi a collassare quando l'aria viene compressa per effetto della profondità. Quindi l'aria polmonare viene a essere contenuta più che altro nelle vie aeree *di conduzione*
3. Un'ampia riserva nei polmoni significa accumulare anche N₂

La vasocostrizione regionale: durante le immersioni forzate o prolungate gran parte del corpo di un mammifero marino viene escluso dal circolo sanguigno

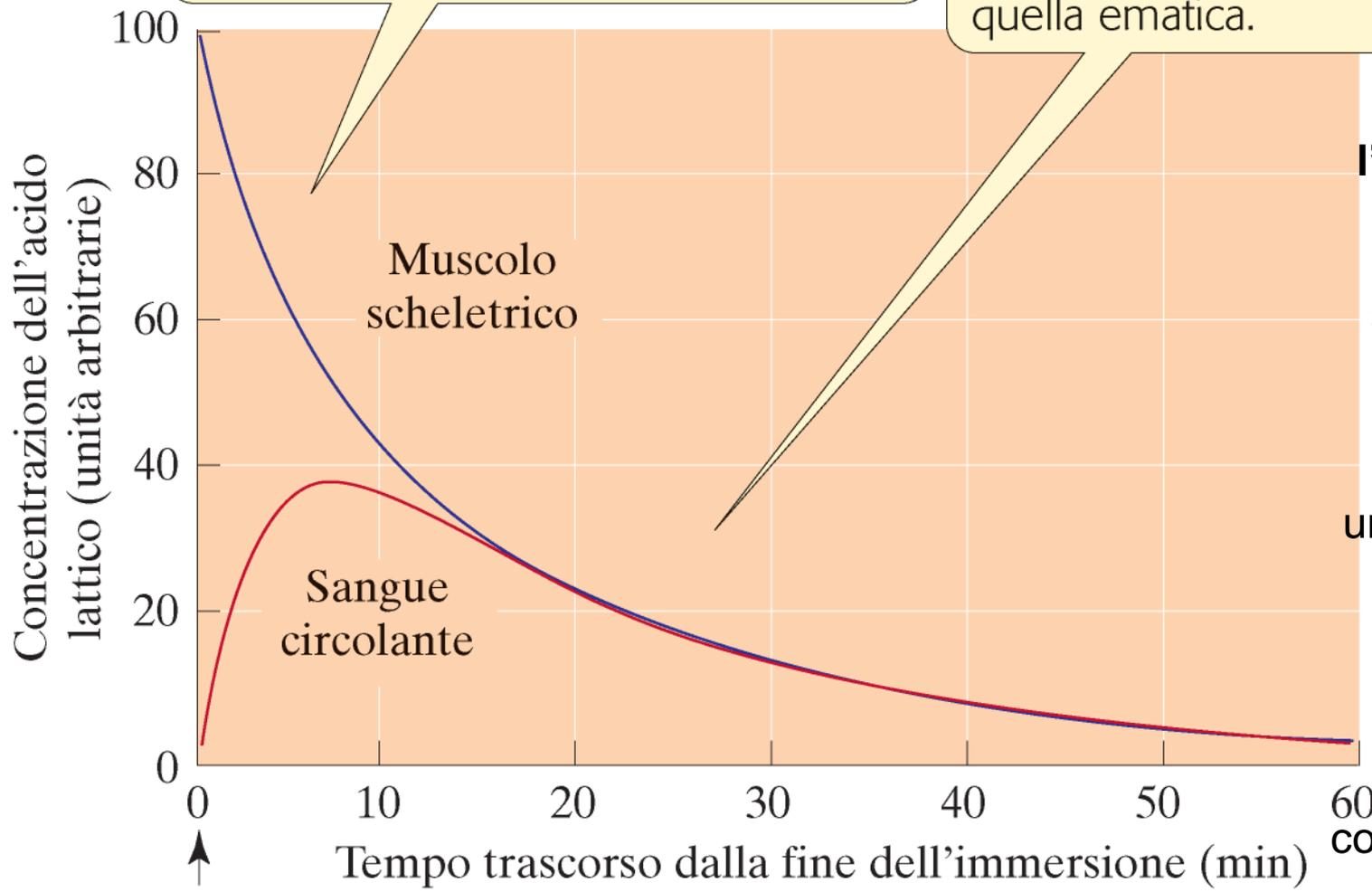
In una foca obbligata a stare sott'H₂O la circolazione libera e *attiva*: il sangue viene pompato dal cuore dx ai polmoni, dai polmoni va al cuore sx, da dove viene pompato al capo, per tornare al cuore dx. Durante l'immersione, la portata del sangue all'encefalo tende a rimanere simile alla portata tipica della respirazione aerea.



La foca obbligata a immergersi funziona come una “macchina cuore-polmone-cervello”

I muscoli cominciano a liberare l'acido lattico accumulato quando l'animale riemerge, facendo aumentare la concentrazione ematica.

Man mano che l'acido lattico viene metabolizzato, la sua concentrazione muscolare finisce per coincidere con quella ematica.



Dopo l'immersione i muscoli liberano acido lattico nel sangue.
Si prende a modello un'immersione di 43 minuti compiuta da una foca di Weddell adulta. La concentrazione

L'animale riemerge

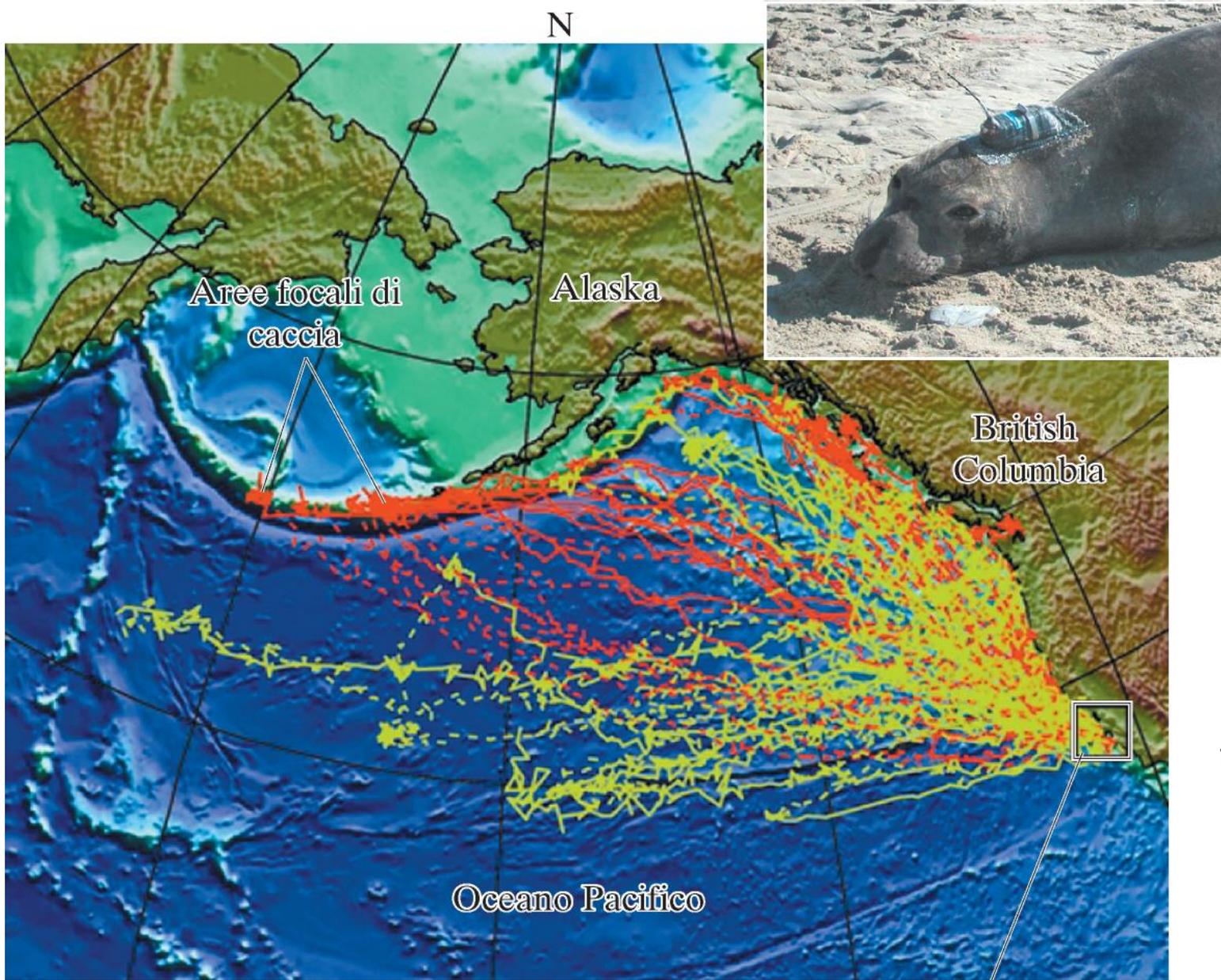
di acido lattico nei muscoli e nel sangue può non ritornare ai livelli normali di base *per molte decine di minuti dopo un'immersione*

1. Come fanno degli animali che dipendono così strettamente dall'atmosfera per l'O₂ a soddisfare la domanda di energia metabolica durante i lunghi periodi sott'acqua?
2. Come fanno i mammiferi in immersione a tollerare la forte pressione dovuta alla profondità?

Gli adattamenti dei cetacei

L'immersione dei mammiferi marini in acque profonde

- Problemi:
 1. L'animale deve conservare le riserve di O₂ dei propri organi
 2. Limitare l'accumulo di CO₂
- Inoltre complicazioni legate alle forte pressioni:
 1. Eccitabilità cellule nervose
 2. Compressione cavità piene d'aria (seni cranici)
 3. Compressione e successiva decompressione gas disciolti (N₂)



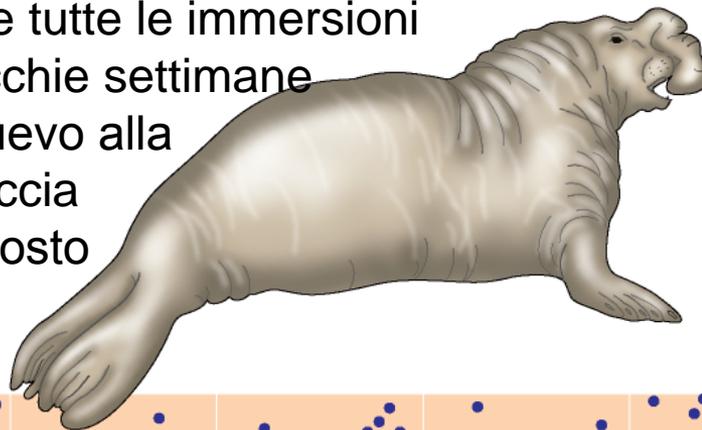
1000 km

Fisiologia applicata

Año Nuevo
(California)

Le linee
rosse
indicano
individui
maschi,
quelle
verdi
individui
femmina

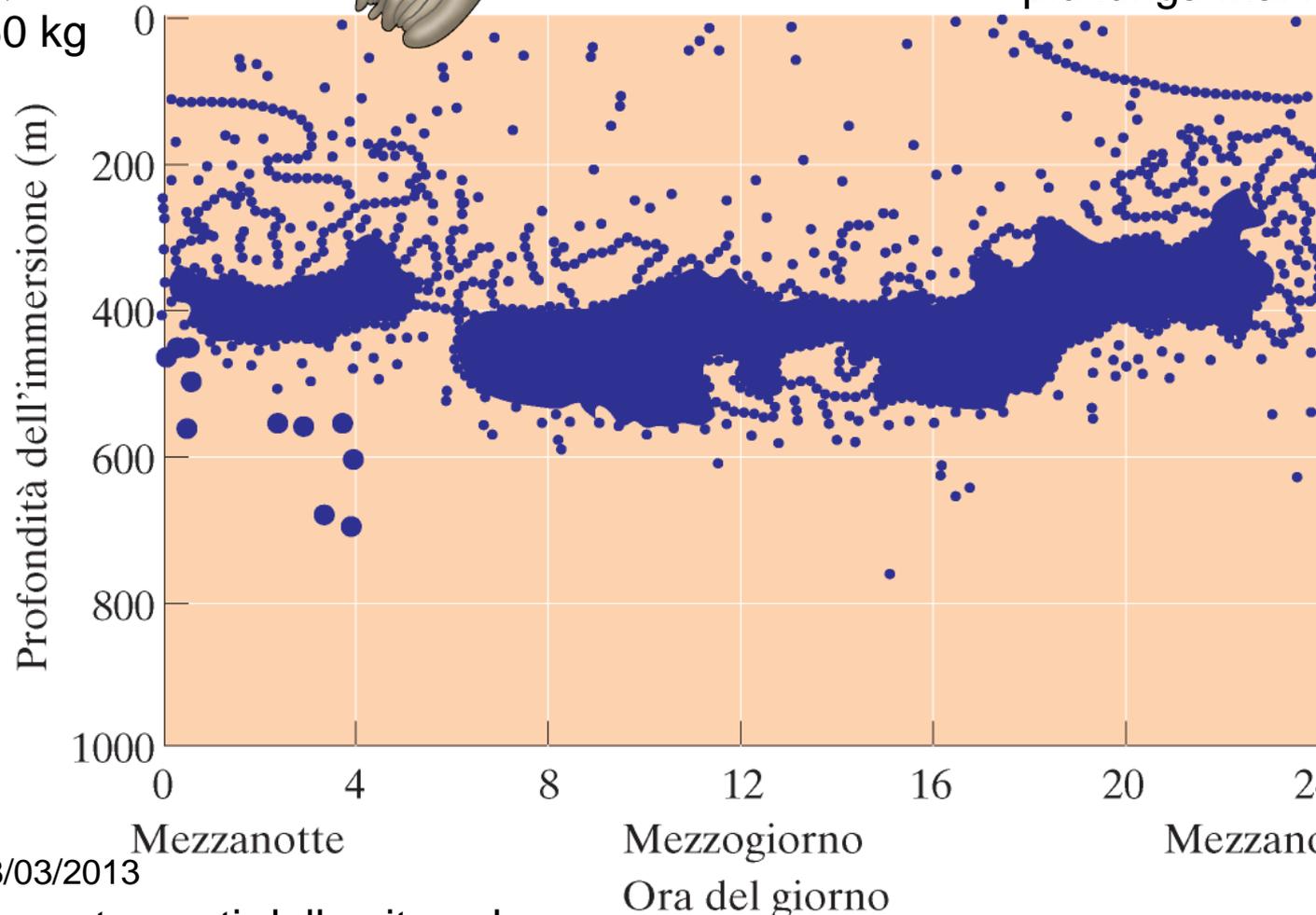
Questo grafico comprende tutte le immersioni compiute da Moo in parecchie settimane mentre andava da Año Nuevo alla sua area privilegiata di caccia nelle acque dell'Alaska. Costo metabolico di nuotare per 6500 km, massa da 1270 kg a 1650 kg



Un altro elefante marino (una femmina) si è immersa a quasi 1600 metri, la > profondità mai documentata per un organismo che respiri aria. L'immersione volontaria più lunga mai registrata (2 h)

appartiene all'elefante marino del Sud (*Mirounga leonina*).

Anche il capodoglio (*Physeter catodon*) va annoverato tra gli specialisti: a volte sta sott'H₂O per



60-70 min.
30

Atti e comportamenti della vita subacquea

La fisiologia: un inquadramento generale

- O_2 legato all'Hb ematica, alla mioglobina muscolare e contenuto nell'aria dei polmoni.
- Concetto base di Irving: qualora gli animali fossero capaci di riservare una certa quota dell' O_2 disponibile per i tessuti che ne dipendono strettamente, le immersioni potrebbero protrarsi.
- *Essendo ridotta la circolazione in molti distretti del corpo, il cuore pompa il sangue più che altro tra se stesso, i polmoni e il capo*

I mammiferi capaci di immersione hanno forti concentrazioni di mioglobina e ampie riserve di O₂ legato alla mioglobina

Una delle caratteristiche più ripetibili nei mammiferi capaci di immersione sta nel fatto che hanno una concentrazione elevatissima di mioglobina nei muscoli scheletrici, enorme a confronto delle specie terrestri

- **Durante l'immersione**, la massiccia richiesta di ossigeno da parte dei muscoli sotto sforzo è soddisfatta dalla presenza di grosse quantità di mioglobina nel sangue dei cetacei: questa proteina assicura la riserva necessaria al funzionamento dei muscoli tra un rifornimento di aria e l'altro, permettendo ai cetacei di rimanere attivi senza ossigeno fresco più a lungo di qualsiasi altro mammifero

Le dimensioni della scorta di aria nei polmoni di un mammifero marino all'inizio di una immersione dipende da:

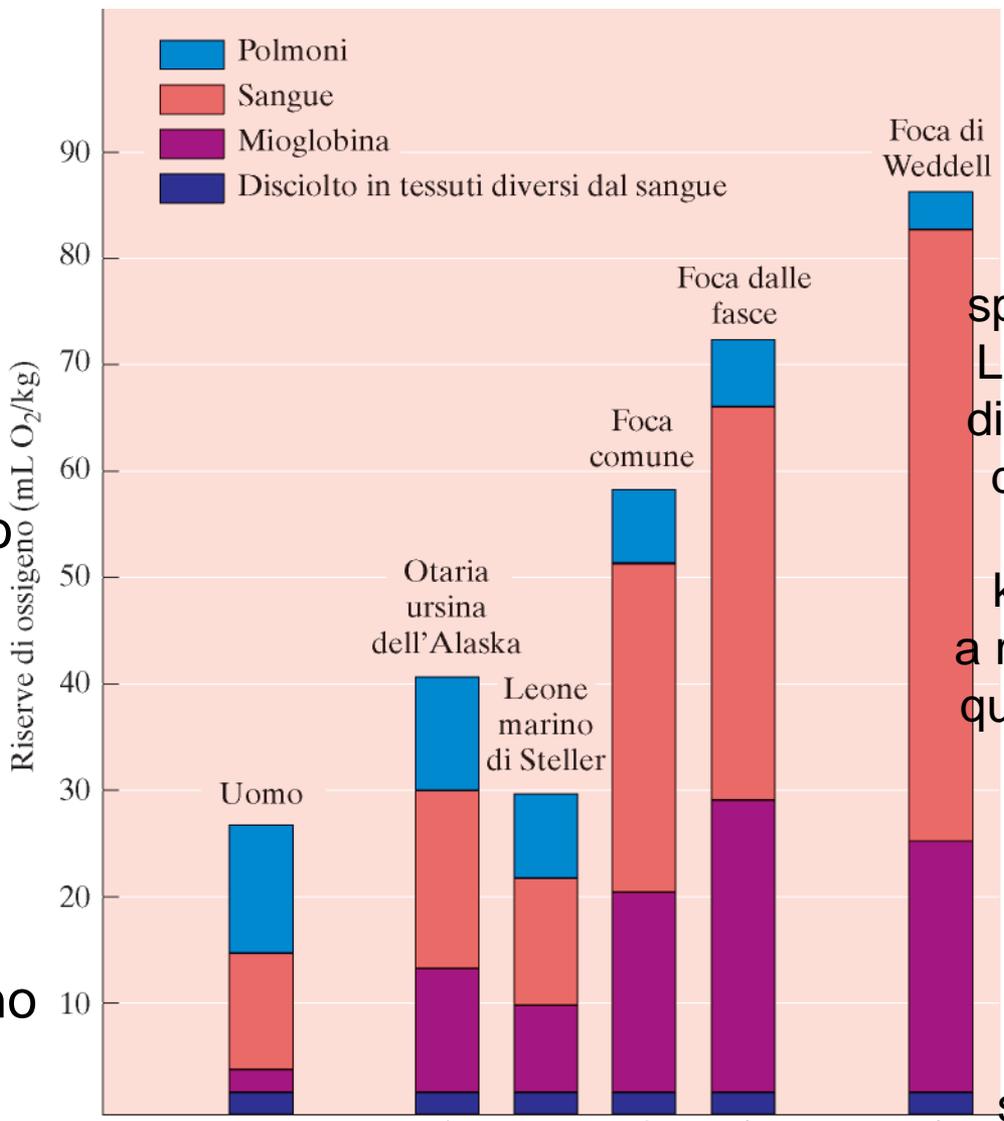
1. *Capacità volumetrica* dei polmoni. Di solito non hanno polmoni particolarmente grandi
2. Misura in cui l'animale gonfia i polmoni prima di andare sott'H₂O. Alcuni mammiferi si immergono dopo una energica inspirazione (balene, delfini), invece molte specie di focidi che praticano le grandi profondità si immergono *espirando*: i polmoni contengono dal 20 al 60% soltanto della loro capacità volumetrica

Le riserve totali di O_2 non consentono mai che le immersioni di massima durata avvengano in aerobiosi totale

1. Alcune specie di mammiferi subacquei sono dotate di una riserva totale di O_2 per unità di massa corporea molto $>$ dei mammiferi terrestri perché hanno una capacità di trasporto dell'ossigeno per via ematica alta e un volume ematico cospicuo e una forte concentrazione di mioglobina
2. Le specie che si immergono per periodi brevi (otaria ursina e leone marino) tendono ad avere riserve di O_2 per unità di massa corporea $<$ alle specie che sono più specializzate nell'attività subacquea e rimangono immerse più a lungo (foca comune e dalle fasce)

3. Le riserve di O_2 dei mammiferi subacquei sono assolutamente inadeguate a sostenere, durante le immersioni lunghe, un tasso di consumo dell' O_2 equivalente al tasso corrente che questi animali hanno quando respirano aria a riposo.

Confronto delle riserve totali di O_2 in 5 specie di mammiferi marini e nell'uomo.



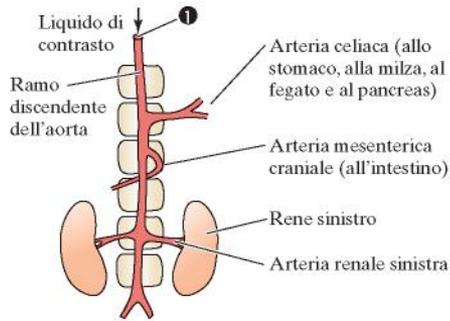
L'otaria ursina dell'Alaska e il leone marino di Steller, entrambi otaridi, si immergono per tempi relativamente brevi e hanno una riserva di O_2 totale superiore a quella umana, ma solo di poco.

La foca comune, la foca dalle fasce e la foca di Weddell, tutti focidi, stanno sott'acqua per tempi relativamente lunghi e hanno riserve di O_2 relativamente grandi.

Si assume che i polmoni dell'uomo siano gonfiati completamente e quelli delle altre specie solo per metà. La riserva totale di O_2 di una foca di Weddell da 450 kg è di 38,8 L ($86 \text{ mL } O_2/\text{kg} \times 450 \text{ kg}$). Il consumo di O_2 a riposo di questa foca quando respira aria va da 1,9 a 2,3 L/min. Quindi la foca in immersione può mantenere il suo consumo abituale a riposo in ambiente subaereo da 17 a 20 minuti, se utilizza completamente la sua riserva disponibile di O_2 .

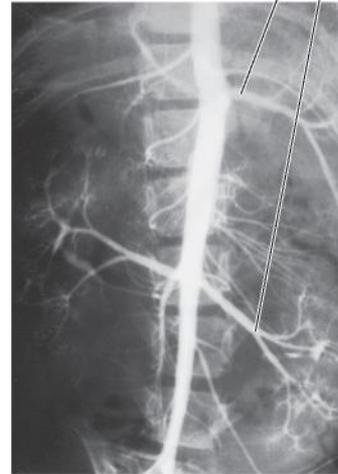
La redistribuzione del circolo durante le immersioni

- Bradicardia da immersione
- La vasocostrizione regionale: durante le immersioni forzate o prolungate gran parte del corpo di un mammifero marino viene escluso dal circolo sanguigno
- La bradicardia da immersione adegua la gittata cardiaca ai compiti circolatori
- Negli animali che si immergono in libertà le risposte cardiovascolari sono gradualità
- Tra una sequenza di immersioni e la successiva alcune foche rimuovono gli eritrociti dal sangue circolante



In respirazione aerea

(a) 0,5 s dopo l'iniezione



(b) 2 s dopo l'iniezione

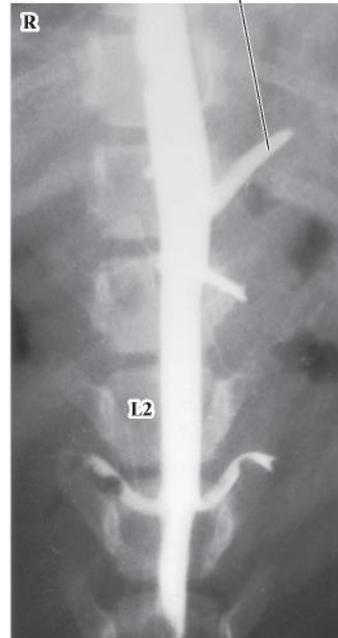


(c) 6 s dopo l'iniezione



Sott'acqua

(d) 1 s dopo l'iniezione



(e) 4 s dopo l'iniezione



(f) 14 s dopo l'iniezione



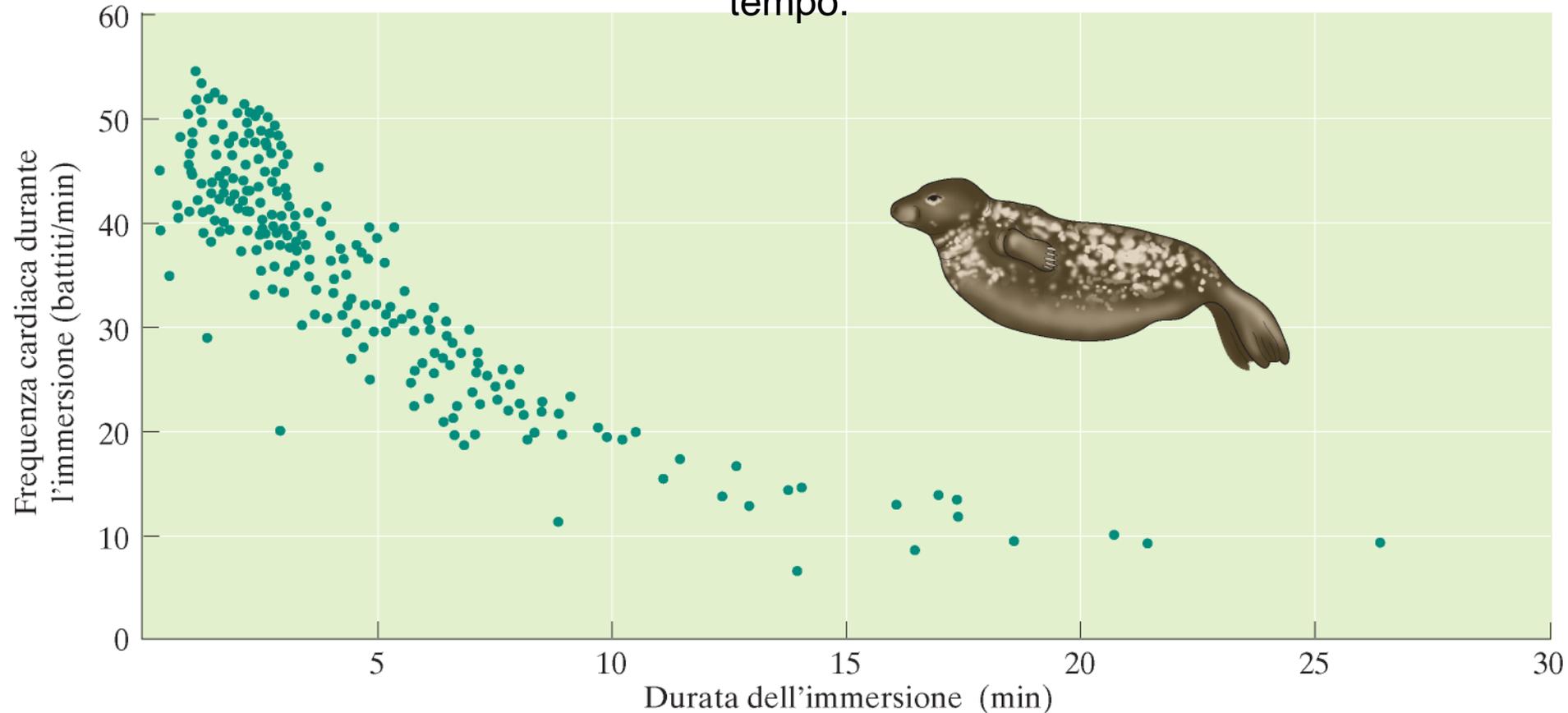
Quando la foca respira aria si vedono l'arteria renale (2) e celiaca (3) riempite del sangue che contiene il mezzo di contrasto. Invece quando si mette la foca sott'acqua, il sangue marcato non riempie subito l'arteria celiaca e renale e il rene rimane invisibile. Le arterie celiache e renali irrorano lo stomaco, la milza, il fegato, il pancreas e i reni. In immersione il sangue non può scorrere che poco o nulla in tutti questi organi addominali. Il flusso sanguigno è bloccato per vasocostrizione, sotto il controllo del sistema nervoso simpatico.

La bradicardia da immersione adeguava la gittata cardiaca ai compiti circolatori

- Nei mammiferi marini la gittata sistolica cambia poco o nulla durante l'immersione
- La pressione nell'aorta sistemica e nelle grandi arterie sistemiche è una funzione sia della frequenza della pompa cardiaca, sia della resistenza opposta dal sistema vascolare al flusso del sangue
- La pressione sanguigna nelle grandi arterie sistemiche resta invariata o cambia solo di poco
- Stabilità della pressione sanguigna arteriosa, gettata cardiaca diminuisce in stretto rapporto con l'aumento della resistenza periferica vascolare

Negli animali che si immergono in libertà le risposte cardiovascolari sono graduali

La risposta della frequenza cardiaca nell'immersione forzata si configura come un "tutto o niente". Probabilmente gli animali allo stato libero si comportano in modo assai simile a quelli immersi forzatamente solo quando intendono rimanere sott'H₂O per molto tempo.



Nelle foche che si immergono liberamente la frequenza cardiaca in immersione varia in modo *graduale* con la durata della permanenza sott'H₂O. La foca grigia (*Halichoerus grypus*) vive nell'oceano in prossimità della Scozia, quando non è sott'H₂O presenta una frequenza cardiaca media di 119 battiti al minuto.

Negli animali che si immergono in libertà le risposte cardiovascolari sono graduali

Nell'immersione volontaria anche la risposta in termini di vasocostrizione è graduata per:

1. Frequenza cardiaca e vasocostrizione coordinate in modo da adeguare la gittata cardiaca alle dimensioni del sistema vascolare che richiede il flusso
2. Gli studi funzionali degli organi sistemici depongono a favore (formazione urina)

L'evoluzione della risposta cardiovascolare dei vertebrati all'asfissia

- Le risposte cardiovascolari dei mammiferi marini paiono essere una versione specializzata di risposte a condizioni di asfissia proprie del gruppo dei vertebrati
- La bradicardia è una risposta tipica sia dei pesci cartilaginei sia di quelli ossei esposti ad acqua povera di O₂
- I mammiferi marini sembrano aver perfezionato risposte che tutti i mammiferi (o quasi) possiedono e che potrebbero aver ereditato dai pesci

Tra una sequenza di immersioni e la successiva alcune foche rimuovono gli eritrociti dal sangue circolante

- Hanno una concentrazione altissima di eritrociti *quando si immergono*
- Parte degli eritrociti viene rimossa dal sangue circolante e sequestrata nella milza quando gli animali si riposano in superficie o sulla terraferma
- 38%  52%
- Dissequestrare gli eritrociti dalla milza per riversarli nel sangue, o viceversa, richiede almeno 10-20 minuti, per cui non avviene a ogni immersione

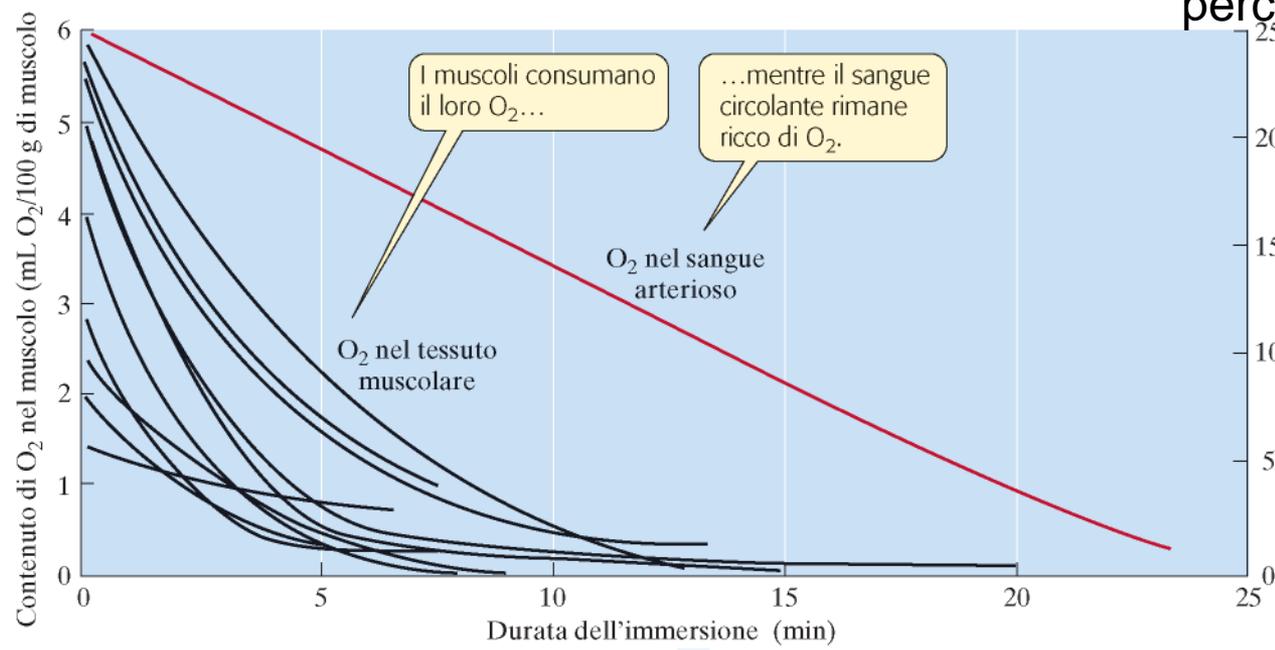
Il metabolismo durante l'immersione

È aerobico, anerobico o entrambe le cose?

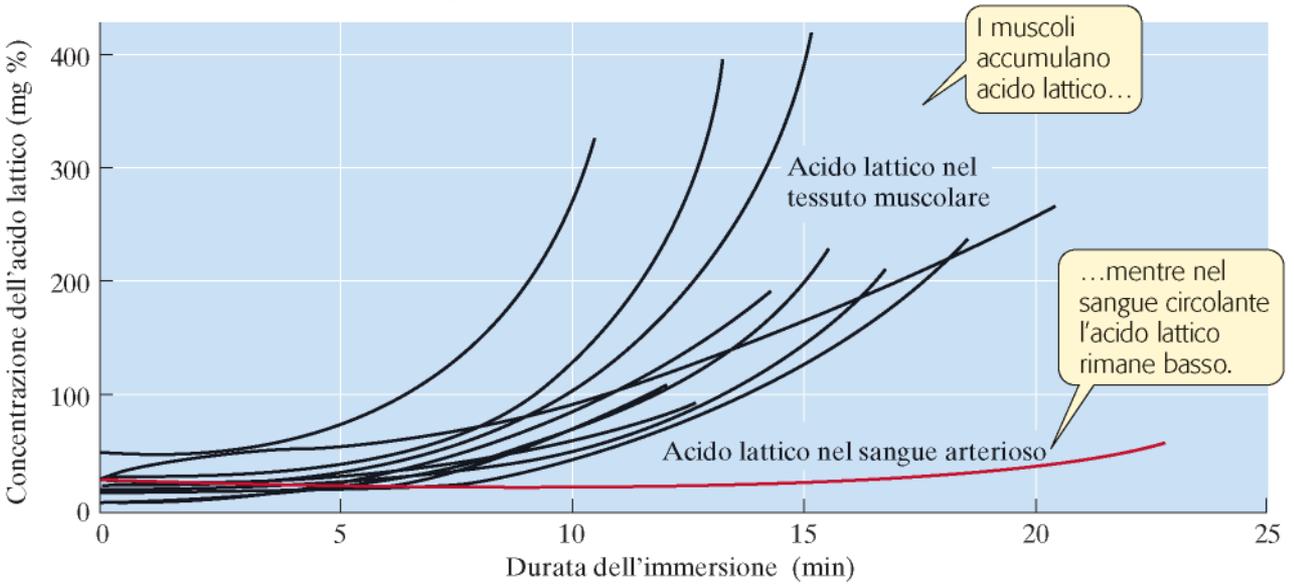
- Nei mammiferi terrestri che stanno a riposo o sono moderatamente attivi, sintetizzano ATP per via aerobica
- Situazione analoga in molti mammiferi marini che fanno brevi immersioni volontarie
- Durante le immersioni forzate e prolungate il quadro è diverso

Suddivisione metabolica del corpo durante la sommersione forzata. Foca comune (*Phoca vitulina*). I tessuti privati dall'apporto circolatorio esauriscono le scorte di O_2 molto prima che l'animale riemerge e nel frattempo cominciano ad accumulare acido lattico,

(a) Ossigeno nel tessuto muscolare e nel sangue



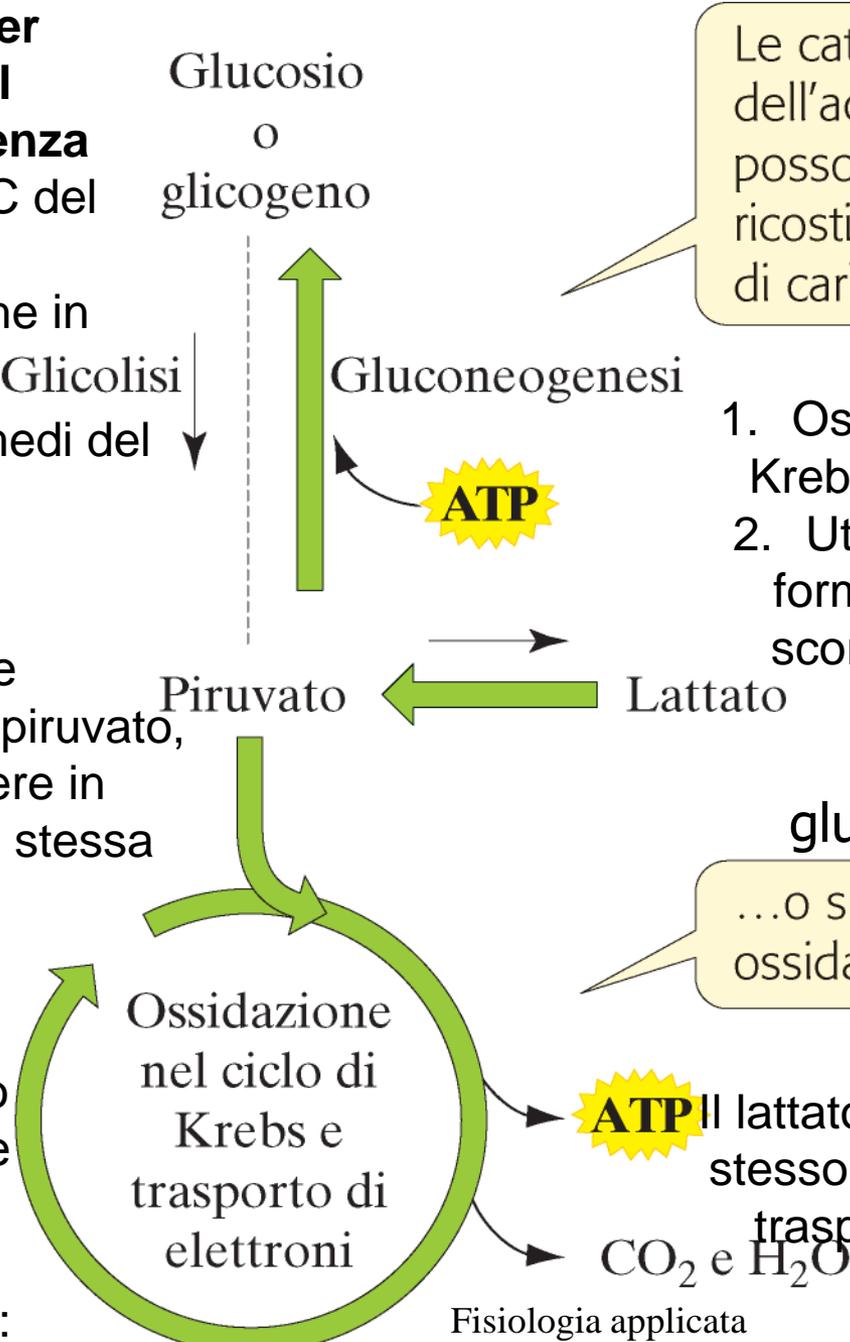
(b) Acido lattico nel muscolo e nel sangue



perché passano alla glicolisi anaerobica per sintetizzare ATP. Il contenuto di O_2 nel sangue arterioso circolante si abbassa molto più lentamente di quello dei muscoli scheletrici. Molto prima di riemergere all'aria, la foca suddivide il suo corpo in 2 regioni.

Vie principali per metabolizzare il lattato, in presenza di ossigeno. Il C del lattato può finire incorporato anche in a.a. e proteine

tramite gli intermedi del ciclo di Krebs. Per poterlo metabolizzare, l'organismo deve ritrasformarlo in piruvato, facendo procedere in senso inverso la stessa reazione che lo ha prodotto. La conversione del lattato a piruvato è un'ossidazione che ha il NAD come elettrone accettore diretto: dopo questa



Le catene carboniose dell'acido lattico si possono usare per ricostituire le scorte di carboidrati...

trasformazione, la catena carboniosa del lattato segue 2 percorsi metabolici

- principali, tutti dipendenti da O₂:
1. Ossidazione totale tramite il ciclo di Krebs e la catena di trasporto degli e-
 2. Utilizzare le catene carboniose per formare glu o glicogeno e rifornire la scorta di carboidrati. La conversione del lattato o del piruvato a glu o glicogeno è una forma di gluconeogenesi. Questo processo

...o si possono ossidare.

consuma ATP (6 molecole di ATP per ogni molecola di glu ricostruita) e richiede O₂.

Il lattato può essere metabolizzato nello stesso tessuto che lo produce o essere trasportato dal sangue ad altri tessuti che lo metabolizzano.

I limiti metabolici alla durata delle immersioni dipendono dalla disponibilità di O_2 , dal consumo di O_2 e dall'accumulazione dell'acido lattico, oltreché dalla tolleranza dei vari tessuti

3 fattori pongono un limite alla resistenza dei tessuti che non possono fare a meno dell' O_2 :

1. L'entità delle scorte di O_2 disponibili per quei distretti
2. Il tasso di consumo delle scorte di O_2
3. La misura in cui la pressione parziale di O_2 può scendere senza che si deteriori la funzione dei tessuti dipendenti dall'apporto di O_2 .

- Il miocardio sembra aver bisogno di un apporto costante di O_2 , ma potrebbe ricorrere a una certa quota di glicolisi anaerobica dopo parecchi minuti di immersione.
- L'encefalo sembra completamente aerobico.
- In certe foche i segni elettroencefalografici della sofferenza cerebrale appaiono a pressioni parziali dell' O_2 < rispetto ai mammiferi terrestri.

Gli adattamenti all'accumulo dei prodotti finali del metabolismo

- Come fa l'animale a impedire al pH di scendere rapidamente a un livello tale da obbligarlo a riemergere?
- *Il sangue delle specie capaci di immersione ha una capacità tamponante particolarmente alta*
- *Le specie capaci di immersione mostrano una sensibilità attenuata allo stimolo ventilatorio conseguente alle variazioni ematiche di CO_2 e pH in confronto alle specie terrestri*

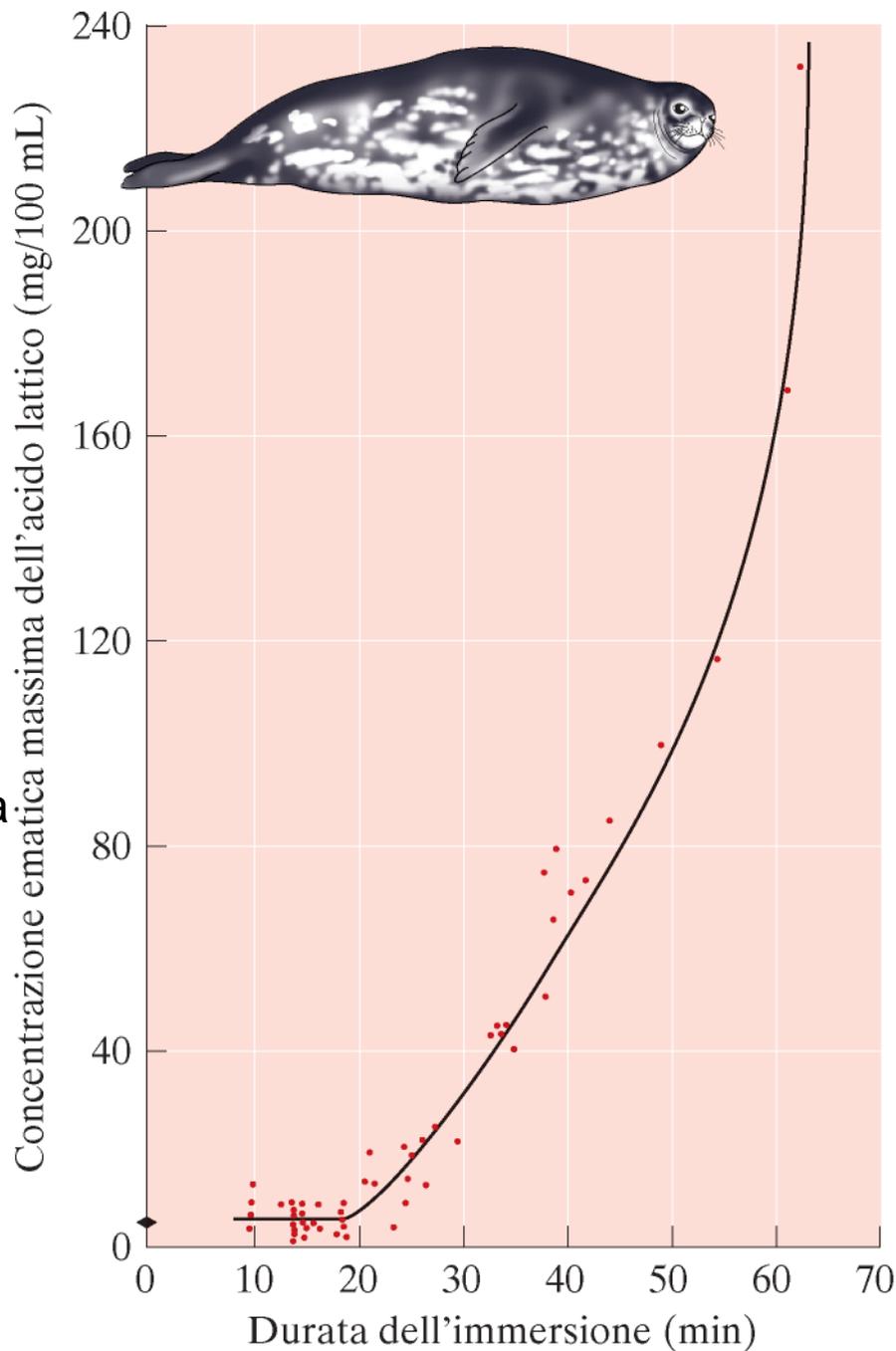
Il limite dell'immersione aerobica: un indicatore fisiologico per capire il comportamento degli animali che si immergono

1. Liberarsi dall'acido lattico richiede molto tempo
2. Per metabolizzarlo ci vuole O_2
3. Un mammifero capace di immersione che abbia già un carico di acido lattico da smaltire dovuto a una permanenza protratta sott' H_2O , non può impegnarsi subito in una immersione di massima durata

Tempo in superficie necessario a una foca di Weddell adulta per eliminare l'acido lattico accumulato

Accumulo di acido lattico (mg di acido lattico/100 mL di sangue)	Tempo necessario per ritornare al livello di riposo (min)
20	11
40	27
80	70
120	105
145	120

Massimi raggiunti dalla concentrazione dell'acido lattico nel sangue arterioso di foche di Weddell in immersioni volontarie di diversa durata. Al termine dell'immersione, quando il sistema circolatorio è del tutto aperto, l'acido lattico prodotto in una sede corporea qualunque durante la permanenza sott'H₂O (e magari il temporaneo sequestro), ricompare nel sangue arterioso. Per questa ragione la massima concentrazione raggiunta dall'acido lattico nel sangue arterioso dopo il ritorno



alla superficie ci fornisce una stima dell'acido lattico corporeo totale netto prodotto sott'H₂O. Non accumula acido lattico oltre il livello di base a riposo se si immerge per 20 minuti o di meno. **Limite dell'immersione aerobica (ADL, aerobic dive limit), per le foche di Weddell è di 20 minuti circa. Nelle otarie ursine e nei leoni marini californiani (otaridi) 5-6 minuti, capodogli ed elefanti marini di sesso maschile dell'emisfero meridionale 40-50 minuti**

- *Nei mammiferi marini subacquei ha valore adattativo la capacità di mantenere la > parte delle immersioni entro i limiti di durata definiti dall'ADL caratteristica della specie*
- Una scorta abbondante di O₂ conferisce alla specie un valore alto di ADL