

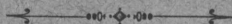


DOTT. LUIGI TARULLI
(Dal laboratorio di Fisiologia dell'Università di Roma)

ALCUNE NUOVE RICERCHE

SULLA

RESPIRAZIONE DEGLI ANIMALI



mit.
B
65
68

MILANO
SOCIETÀ EDITRICE LIBRARIA

15 - Via Disciplini - 15

1900



*All'amico carissimo D. Nazari
omaggio di L. T.*

DOTT. LUIGI TARULLI

(Dal laboratorio di Fisiologia dell'Università di Roma)

ALCUNE NUOVE RICERCHE

SULLA

RESPIRAZIONE DEGLI ANIMALI



MILANO

SOCIETÀ EDITRICE LIBRARIA

15 - Via Disciplini - 15

1900

Numerosissime sono le esperienze eseguite sulla respirazione nei differenti animali adoperando apparecchi più o meno precisi.

Nel nostro laboratorio ne funziona uno da parecchi anni a questa parte ideato dal LUCIANI, il quale offre il vantaggio sugli altri di potere determinare esattamente non solo l'anidride carbonica, ma anche l'acqua eliminata, in guisa da calcolare per differenza con la massima precisione (conosciuta la diminuzione di peso dell'animale) l'ossigeno assorbito. Questo mi ha spinto a compiere con esso due serie di ricerche, che pubblico in questa nota, le quali potranno riuscire interessanti sia per la bontà del metodo, sia per la natura dei risultati, che mi sembrano tali da colmare qualche lacuna.

Nella prima serie ho studiato negli *omotermi* l'influenza che ha la grandezza del corpo sullo scambio respiratorio, specialmente per quanto si riferisce all'eliminazione dell'acqua, e nei *poecilotermi* su tutto il chimismo respiratorio.

Nella seconda serie ho cercato di precisare le variazioni indotte dalle differenti temperature sui prodotti respiratori negli *ibernanti*. L'apparecchio del Luciani, che in fondo non è che una modificazione di quello del Pettenkofer e Voit, applicabile soltanto ai piccoli animali, è rappresentato dalla seguente figura. L'ossigeno è calcolato nel modo indicato dalla nota formola: $O^2 = CO^2 + H^2O$ — *d* intendendosi con questo simbolo il deficit in peso subito dall'animale durante l'esperienza.

I. — INFLUENZA DELLA GRANDEZZA DEL CORPO SULLA ELIMINAZIONE DELL'ACQUA NEGLI OMOTERMI, E SU TUTTO IL CHIMISMO RESPIRATORIO NEI POEILOTERMI.

Fu il TREVIRANUS il primo che, nello studio comparativo dello scambio gassoso degli animali, tenne conto del peso di questi riferendo con un

semplice calcolo l'O² assorbito e il CO² eliminato ad un chilogrammo di peso dell'animale, rendendo così più istruttivo il confronto dei numeri bruti forniti dall'esperienza. In seguito si sono fatte numerosissime ricerche tanto che oggi è dimostrato in modo esauriente, che negli omotermini il consumo dell'O² e l'eliminazione del CO² è, relativamente all'unità di peso, assai maggiore nei piccoli animali che nei grandi. Lo strano però si è che mentre si sono studiati comparativamente non solo i prodotti dello scambio gassoso, ma anche quelli di tutto il metabolismo, non si sia pensato an-

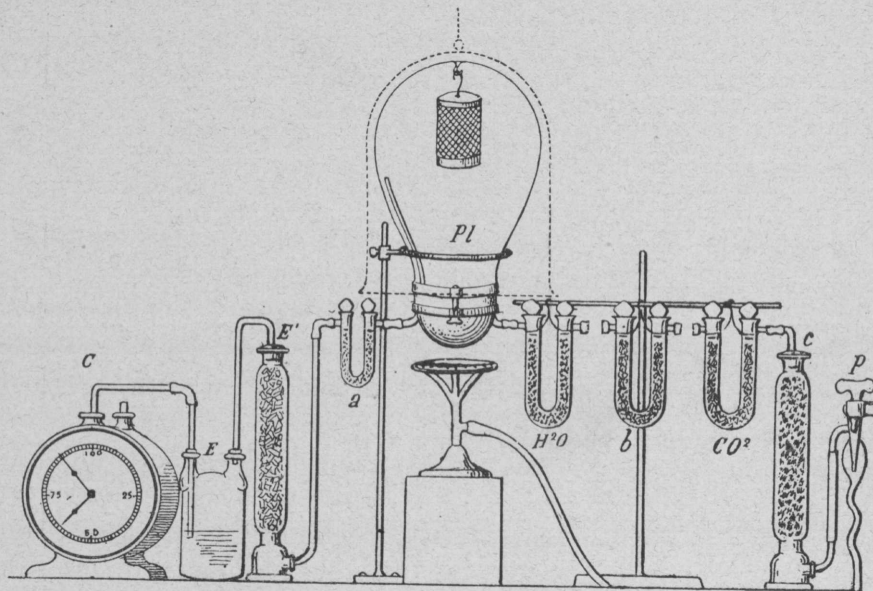


Fig. 1.

Apparecchio per le ricerche sullo scambio respiratorio totale nei piccoli animali (Luciani).

C, contatore o misuratore dell'aria che attraversa l'apparecchio; E, E', essiccatori e depuratori dell'aria che entra, per privarla totalmente del vapor acqueo e dell'acido carbonico; a, tubo per ridonare all'aria che entra una quantità esattamente pesabile di vapor acqueo; Pl, pallone di vetro col fondo metallico convesso, chiudibile ermeticamente con tre viti colla interposizione di un anello di gomma, e con entro una gabbia metallica in cui si pone a respirare l'animale; H²O, tubo di assorbimento del vapor acqueo di cui è pregna l'aria che ha attraversato il pallone; CO², tubo di assorbimento dell'acido carbonico esalato dall'animale; b, tubo intermedio che non aumenta di peso quando tutta l'acqua è stata fissata nel tubo precedente; c, cilindro contenente cloruro di calcio; p, pompa Bunsen che aspira aria in maniera continua da tutto il sistema, mediante una corrente d'acqua a pressione quasi costante.

Il fiasco E contiene una soluzione soprassatura di potassa caustica; il cilindro E' contiene pezzi di pomice imbevuti di acido solforico bollito; a, contiene pomice imbevuta di acqua distillata.

Per fissare tutta l'acqua dell'aria respirata, al tubo H²O, contenente pomice imbevuta con acido solforico bollito, si aggiunge un secondo tubo che si pesa insieme al primo, e inoltre un terzo tubo che funziona da controllo. Così pure per fissare tutto l'acido carbonico emesso dall'animale, al tubo CO², ripieno di pomice imbevuta di potassa, se ne aggiunge un secondo contenente cilindretti di potassa anidra, e un terzo per controllo.

che di determinare, con ugual precisione, la quantità relativa di acqua eliminata.

Il LETELLIER, il BOUSSINGAULT, il BARRAL e pochi altri, si sono occupati della perdita di acqua fatta per la pelle e per i polmoni solo in rapporto con la dispersione del calore. Il solo RICHET ha fatto alcune ricerche in proposito con un metodo molto semplice, ma non altrettanto preciso, e cioè studiando la perdita in peso nei differenti animali tenuti in una bilancia abbastanza sensibile da lui fatta costruire. Quando essi non emettono nè fecce nè urina, mentre si trovano nella bilancia, la dimi-

nuzione del loro peso è data dalla quantità di acqua emessa, perchè la perdita subita per l'eliminazione del CO^2 è quasi compensata dall' O^2 assorbito. Il RICHET (per citare un esempio) trovò che una cavia del peso di gr. 50 perde per chilogr. e per ora gr. 11 di H^2O , mentre un'altra del peso di gr. 150 tenuta in identiche condizioni ne perde solo gr. 5. Estendendo le sue ricerche su altri animali giunse al risultato, che esiste sempre un rapporto diretto tra la quantità di H^2O emessa, che chiama *coefficiente di disidratazione* e la superficie del corpo relativa al peso totale dell'animale.

Coll'apparecchio del Luciani potendosi ripetere queste ricerche ed ottenere dati più esatti, ho creduto fare in proposito alcune indagini.

Gli animali con i quali ho sperimentato furono i seguenti:

Mammiferi	{	Mus musculus	di gr.	19,402
		» decumanus	»	127,662
		Myoxus glis	»	137,500
		Myoxus avellanarius	»	15,430
Uccelli	{	Mariposa phoenicotis	»	7,796
		Passer italicus	»	26,473

Durante i miei esperimenti la ventilazione nell'apparecchio fu sempre costante ed uniforme, tanto che la quantità di acqua introdotta con l'aria che l'animale respirava fu sempre la stessa, come poteva facilmente accertermi con le pesate del tubo *a* dell'apparecchio.

Riassumo nella seguente tabella le medie dei valori ottenuti con parecchi esperimenti sugli stessi animali.

Tabella I.

Animale in esperienza	Temperat. dell'ambi- ente	Peso iniziale	Deficit subito per Kg. e per ora	CO^2 emesso per Kg. e per ora	H^2O emesso per Kg. e per ora	O^2 calcolato per Kg. e per ora	$\frac{\text{CO}^2}{\text{O}^2}$	Osservazioni
Mus decumanus . . .	12-13	127,662	2,035	3,168	1,839	2,973	0,77	Media di cinque esperienze
» musculus . . .	12,2-13	19,402	6,046	7,076	6,379	7,850	0,70	
Myoxus glis desto . .	10-12	137,500	0,968	3,107	0,836	2,792	0,75	
Myoxus avellana- rius desto	11-12	15,430	1,685	4,406	1,523	4,136	0,77	»
Passer italicus . . .	12,3-13,1	26,473	9,595	8,395	10,204	8,570	0,70	»
Mariposa phoenicotis	12-13	7,796	12,571	16,122	13,053	15,029	0,77	»

I dati da me ottenuti concordano con quelli del RICHET. La spiegazione per cui gli animali più piccoli hanno un ricambio relativamente più attivo è stata data da REGNAULT e REISER. I processi di ossidazione sono più energici negli animali piccoli, perchè questi offrendo rispetto al loro volume una superficie maggiore e quindi una più forte dispersione di calore degli animali grandi, debbono avere processi esotermici proporzionalmente più intensi per mantenere la propria temperatura pressochè costante. In essi si riscontra oltre che un aumento nell' O^2 e nel CO^2 anche una maggiore emissione nella quantità di acqua, data la superficie del corpo più estesa relativamente alla massa.

Se quest'influenza della grandezza dell'animale sui processi chimici è stata dimostrata sperimentalmente vera non solo tra gli omotermini della stessa specie, ma anche tra quelli di specie diversa, altrettanto non può dirsi per gli animali a sangue freddo.

Il MANCA fa giustamente osservare a questo proposito, che solo in qualche autore si trovano delle vaghe affermazioni, che accennano a questo fatto, ma che mancano assolutamente dei dati che lo dimostrano.

Il KENDRICK, il QUINQUAUD, e il CAMERANO riscontrarono che nei pesci e negli anfibi il numero delle respirazioni diminuisce con il crescere in lunghezza del corpo dell'animale. Il P. BERT confermò nei pesci questo rapporto inverso tra frequenza di respiro e grandezza del corpo ed aggiunse che il consumo maggiore di ossigeno che si ha nei piccoli pesci in confronto dei grossi, non può essere spiegato dalla rapidità dei movimenti che è più grande nei primi che nei secondi. Il RICHER, riportandosi ai dati sperimentali di P. BERT e cercando di interpretarli, dice che in essi non si può invocare « un'influenza di superficie e quindi una causa calorimetria, perchè si tratta di animali a sangue freddo. Probabilmente è in gioco, dice il RICHER, un'altra influenza, quella del volume del polmone, o altra causa ancora, che meriterebbe di essere studiata ». I risultati delle ricerche di REGNAULT e REISER fatte sulle rane, sulle salamandre, ecc. non offrono alcun interesse a questo riguardo, perchè essi quasi sempre ponevano in esperienza contemporaneamente molti animali e ne studiavano il complessivo scambio gassoso. Il GULLIVER ha notato che negli animali appartenenti allo stesso gruppo esiste un rapporto diretto fra il peso dell'animale e la grandezza dei corpuscoli rossi. Il MILNE EDWARDS, basandosi su queste osservazioni, fa rilevare come « la natura sembri diminuire il volume dei globuli sanguigni a misura che l'attività respiratoria aumenta ».

Il P. BERT offre qualche dato più preciso ottenuto nei bachi da seta in cui riscontra che la respirazione è tanto più attiva, per un dato peso, quanto più i bachi son giovani e per conseguenza più piccoli.

Le sole ricerche veramente interessanti in proposito sono quelle fatte sui pesci da JOLYET e REGNARD, i quali hanno visto che in questi animali, i più piccoli assorbono relativamente più ossigeno che i più grossi.

Il MANCA, raccogliendo le osservazioni fatte dall'EDWARDS negli animali a sangue freddo sulle perdite in peso, ha trovato che il deficit orario percentuale è inversamente proporzionale al peso del corpo. Lo stesso MANCA, in una serie di ricerche personali sulle rane, tartarughe, lucerte, i cui risultati furono pubblicati in successive note, dimostra che col crescere del peso degli animali aumenta la durata della vita, e diminuisce la perdita oraria percentuale.

Riporto in una tabella le medie delle mie esperienze fatte in al-

cuni pecilotermi, tanto nella stagione estiva come nella stagione invernale.

Cheloni	Emys graeca
Lauri	Lacerta viridis
Batraci	Bufo vulgaris

Aggiungo anche i dati ottenuti in due animali ibernanti profondamente addormentati, i quali durante il letargo si somigliano molto agli animali a sangue freddo.

Tabella II.

Animali in esperienza	Temperat. ambiente	Peso iniziale	Deficit subito per Kg. e per ora	O ₂ emesso per Kg. e per ora	H ₂ O emesso per Kg. e per ora	O ₂ calcolato per Kg. e per ora	CO ₂ O ₂	Osservazioni
Emys graeca . . A	8-9	220,434	0,054	0,021	0,071	0,037	0,45	Tartaruga
» » . . B	8,5-8,7	73,711	0,212	0,061	0,267	0,118	0,10	ibernante
» » . . C	8,5-9	35,432	0,597	0,090	0,725	0,227	0,30	»
» » . . A	20-19	216,354	0,121	0,095	0,123	0,094	0,71	Tartaruga desta
» » . . B	19-20,5	80,639	0,257	0,227	0,254	0,225	0,73	»
Lacerta viridis . A	12-12	58,192	0,245	0,090	0,362	0,208	0,32	Animale ibern.
» » . . B	12-12	33,760	0,316	0,110	0,572	0,375	0,26	»
Bufo vulgaris . A	10-8	150,000	0,370	0,106	0,624	0,305	0,35	Animale ibern.
» » . . B	9-7,5	40,200	0,520	0,207	0,820	0,425	0,30	»
Myoxus glis . . .	12-13	105,299	0,311	0,132	0,370	0,191	0,18	Profondamente addormentato
Myoxus avellanae . . .	12-13	14,012	0,303	0,237	0,471	0,103	0,11	»

Dall'esame di questa tabella si rileva che negli animali a sangue freddo appartenenti alla stessa specie, e negli animali ibernanti in letargo, l'assorbimento dell'O₂, l'eliminazione del CO₂ e dell'H₂O è relativamente maggiore nei piccoli animali che nei grandi. La spiegazione della differenza data dal REGNAULT e REISSET per gli animali a sangue caldo, non è applicabile a quelli a sangue freddo. In questi la produzione termica non è regolata come nei primi, tanto che la loro temperatura è oscillante ed è generalmente di poco superiore a quella dell'ambiente. Io credo che senza escludere affatto l'intervento della superficie relativamente più estesa nei piccoli pecilotermi, la quale ci può benissimo far comprendere la perdita di acqua e il deficit in peso relativamente maggiore che nei più grandi, si debba ricercare qualche altra causa che ci spieghi l'aumento relativo nell'O₂ assorbito e nel CO₂ eliminato, che sono indizio di una più forte attività metabolica.

Esperimentando su animali di differente peso appartenenti alla stessa specie, come noi abbiamo fatto, quelli più piccoli sono anche più giovani. Ora è logico l'ammettere che in una data massa di materia vivente il metabolismo sia massimo nelle prime età, e vada rallentandosi con l'invecchiare. La spiegazione però non può essere la stessa per i due ibernanti in letargo, perchè essi erano ambedue adulti. È probabile che in questi, che occupano — come vedremo — un posto intermedio fra i pecilotermi e gli omotermi, si verifichi quello che il RICHET ha notato negli animali a sangue caldo.

Quest'osservatore ha constatato che il peso del cervello, paragonato al peso del corpo, aumenta a misura che l'animale diminuisce di peso; così più l'animale è piccolo, più gli scambi sono attivi, e più il cervello è voluminoso. Il che fa supporre che sia per un'attività nervosa più grande che l'animale trova il mezzo di attivare maggiormente gli scambi chimici.

II. — INFLUENZA DELLA TEMPERATURA SUL CHIMISMO RESPIRATORIO DEGLI ANIMALI IBERNANTI.

Tra i mammiferi e gli uccelli i quali mantengono sempre la propria temperatura costante, ve ne sono alcuni i quali in certe epoche dell'anno ed in circostanze speciali si raffreddano e cadono in letargo come fanno gli animali a sangue freddo nella stagione invernale. Questi sono gli animali ibernanti.

Molti si sono occupati sotto svariati punti di vista dei fenomeni dell'ibernazione.

Lo SPALLANZANI, il SAISSY, il MANGILI, il SACC, il VALENTIN, il QUINCKE, il DUBOIS ed altri ancora hanno più specialmente studiato i prodotti dello scambio respiratorio nello stato di veglia e nel sonno profondo. REGNAULT e REISSET nel loro classico lavoro sulla respirazione negli animali, giunsero ai seguenti risultati: le marmotte quando sono deste si somigliano in tutto agli altri animali mammiferi: durante l'ibernazione invece l'O² assorbito ed il CO² eliminato sono fortemente diminuiti.

Nella letteratura però non esiste una serie ordinata di ricerche allo scopo di valutare gli effetti delle differenti temperature esterne sul chimismo respiratorio di questi animali.

Tutti gli osservatori sono d'accordo nel rilevare che negli ibernanti, quando sono assopiti, per effetto del freddo, la respirazione e la circolazione sono più lente, mentre quando sono desti tutte le funzioni riacquistano per azione del caldo la loro energia. Qualche dato più preciso si riscontra nei lavori del SAISSY. Questi, oltre avere studiato le variazioni termiche dell'animale, ha anche notato che durante l'ibernazione, elevando la temperatura esterna, l'assorbimento dell'ossigeno aumenta, mentre diminuisce notevolmente durante la veglia, quando essa si abbassa.

Il VALENTIN, che ha fatto il maggior numero di ricerche sugli ibernanti, giunge agli stessi risultati del SAISSY. Il REGNAULT e REISSET poi aggiungono che al momento in cui escono dal letargo, per effetto del caldo, il consumo dell'ossigeno è maggiore di quando sono desti. L'ODDI, recentemente studiando con lo stesso apparecchio del Luciani l'influenza delle varie temperature sul complessivo scambio respiratorio nel *Mus musculus*, ha fatto delle ricerche anche sul *Myoxus arctanarius*, piccolo ibernante, però solo in primavera, quando cioè dallo stato di sonno passava allo stato di veglia. Questo ricercatore ha notato come nel *Myoxus* si hanno

su per giù gli stessi risultati che nel *Mus musculus*: solo nel quoziente $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}^2}$ esisterebbero delle differenze notevoli, poichè mentre nel topo rimane pressochè inalterato, nel *Myoxus* ad una temperatura inferiore a quella dell'ambiente, il $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}^2}$ è uguale all'unità o di poco superiore. L'ODDI ha spiegato questa differenza ammettendo che il piccolo ibernante al principio del risveglio, in un ambiente raffreddato, bruci in prevalenza le sostanze idrocarbonate per mantenere costante la propria temperatura, economizzando le sostanze proteiche dei propri tessuti già troppo ridotte dal consumo invernale.

Per questa seconda serie di ricerche io mi sono servito di due ghiri (*Myoxus glis*) sottoposti ad eguale alimentazione, uno dei quali catturato nell'inverno (ghiro A), l'altro nell'estate e da cinque mesi in laboratorio (ghiro B). In essi ho studiato nei mesi di dicembre e gennaio l'influenza delle varie temperature sui fenomeni chimici della respirazione, tanto nella veglia come nel sonno profondo. Le alte temperature le ottenevo riscaldando l'apparecchio con una lampada a gas, le medie regolando la temperatura ambiente, le basse ponendo al disopra della campana dell'apparecchio due grandi vesciche di gomma ripiene di ghiaccio. Ho voluto vedere anche se esistevano delle differenze nei prodotti respiratori tra un ibernante non addormentato e un animale non ibernante; e a tale scopo mi sono servito di un *Mus decumanus* dello stesso peso del ghiro A.

Nelle tabelle che seguono sono raccolti i risultati delle mie ricerche.

Tabella I.
Myoxus glis (A) nello stato di veglia.

Numero delle ricerche	Temperat. ambiente	Aria passata	Acqua passata	Peso iniziale	Deficit subito	CO ² emesso	H ² O emesso	O ² calcol.	$\frac{\text{CO}^2}{\text{O}^2}$	Osservazioni
1	10-10 C.	30,000	0,294	168,646	0,809	1,575	0,831	1,597	0,71	Durata dell'esperienza: 4 ore.
2	10-9 »	35,000	0,300	165,956	0,750	1,570	0,737	1,557	0,73	
Media . .	10-9 »	32,500	0,297	167,301	0,779	1,572	0,784	1,577	0,72	

Nella seguente tabella riporto gli stessi risultati dopo aver calcolate tutte le cifre per un chilogr. dell'animale e per un'ora di ricerca.

Numero delle ricerche	Temperatura ambiente	Peso iniziale	Deficit subito per Kg. e per ora	CO ² emesso per Kg. e per ora	H ² O emesso per Kg. e per ora	O ² calcolato per Kg. e per ora	$\frac{\text{CO}^2}{\text{O}^2}$
1	10-10 C.	168,646	1,19	2,34	1,23	2,36	0,71
2	10-9 »	165,956	1,12	2,36	1,11	2,34	0,73
Media . .	10-9 »	167,301	1,15	2,35	1,17	2,35	0,72

Tabella II.
Mus decumanus.

Numero delle ricerche	Temperat. ambiente	Aria passata	Acqua passata	Peso iniziale	Deficit subito	CO ₂ emesso	H ₂ O emesso	O ₂ calcol.	$\frac{CO_2}{O_2}$	Osservazioni
1	10-10 C.	29,060	0,312	167,820	1,567	2,175	1,348	1,956	0,82	Durata dell'esperienza: 4 ore.
2	10-10 »	30,000	0,414	166,000	1,559	2,223	1,364	2,028	0,79	
Media	10-10 »	29,530	0,863	166,910	1,563	2,199	1,354	1,992	0,80	

Gli stessi risultati della tabella precedente le di cui cifre sono state ridotte ad un chilogr. in peso dell'animale e ad un'ora di ricerca.

Numero delle ricerche	Temperatura ambiente	Peso iniziale	Deficit subito per Kg. e per ora	CO ₂ emesso per Kg. e per ora	H ₂ O emesso per Kg. e per ora	O ₂ calcolato per Kg. e per ora	$\frac{CO_2}{O_2}$
1	10-10 C.	167,820	2,31	3,24	2,01	2,91	0,82
2	10-10 »	166,000	2,34	3,34	2,05	3,05	0,79
Media	10-10 »	166,910	2,32	3,29	2,03	2,98	0,80

Tabella III.
Myoxus glis (A) nello stato di veglia.

Numero delle ricerche	Temperat. ambiente	Aria passata	Acqua passata	Peso iniziale	Deficit subito	CO ₂ emesso	H ₂ O emesso	O ₂ calcol.	$\frac{CO_2}{O_2}$	Osservazioni
1	10-10 C.	30,000	0,294	168,646	0,809	1,575	0,831	1,597	0,71	La durata di ogni esperienza è stata di 4 ore.
2	10-10 »	40,000	0,332	163,206	0,571	1,516	0,623	1,598	0,70	
3	10-9 »	35,000	0,300	165,956	0,750	1,570	0,737	1,557	0,73	
4	4-4 »	30,000	0,261	160,887	0,638	1,589	0,753	1,704	0,67	
5	4-5 »	48,000	0,441	158,808	0,663	1,689	0,759	1,765	0,68	
6	20-22 »	39,000	0,376	161,369	0,670	1,065	0,753	1,148	0,67	
7	20-19 »	36,000	0,353	161,828	0,763	0,934	0,756	0,927	0,73	

Tabella IV.
Myoxus glis (A) in letargo.

Numero delle ricerche	Temperat. ambiente	Aria passata	Acqua passata	Peso iniziale	Deficit subito	CO ₂ emesso	H ₂ O emesso	O ₂ calcol.	$\frac{CO_2}{O_2}$	Osservazioni
1	10-11 C.	28,000	0,305	126,146	0,206	0,061	0,293	0,118	0,29	La durata di ogni esperienza è stata di 4 ore.
2	10-11 »	29,000	0,334	118,813	0,126	0,074	0,218	0,166	0,31	
3	6-7 »	24,000	0,215	112,750	1,203	0,051	0,126	0,274	0,13	
4	3-3,5 »	26,000	0,257	113,167	0,120	0,172	0,325	0,277	0,14	
5	22-23 »	32,000	0,375	112,600	0,796	0,292	0,776	0,272	0,77	
6	22 »	33,000	0,300	112,000	0,712	0,512	0,648	0,448	0,93	

Tabella V.
Myoxus glis (B) nello stato di veglia.

Numero delle ricerche	Temperat. ambiente	Aria passata	Acqua passata	Peso iniziale	Deficit subito	CO ² emesso	H ² O emesso	O ² calcol.	CO ² / O ²	Osservazioni
1	10-11 C.		0,119	193,545	0,930	1,422	0,896	1,388	0,74	La durata di ogni esperienza è stata di 4 ore.
2	8-9 »		0,400	194,505	0,756	1,537	0,813	1,584	0,70	
3	4-5 »		0,419	197,407	1,430	2,056	0,964	1,597	0,93	
4	4-4 »		0,393	199,485	1,160	2,302	1,115	2,257	0,73	
5	22 »		0,327	210	0,926	1,173	0,749	0,996	0,85	

Tabella VI.
Myoxus glis (B) in letargo.

Numero delle ricerche	Temperat. ambiente	Aria passata	Acqua passata	Peso iniziale	Deficit subito	CO ² emesso	H ² O emesso	O ² calcol.	CO ² / O ²	Osservazioni
1	12-11 C.	33,050	0,400	165,000	0,236	0,087	0,398	0,246	0,25	La durata di ogni esperienza è stata di 4 ore.
2	6-7 »	30,000	0,390	163,200	0,153	0,056	0,323	0,216	0,26	
3	20-22 »	32,300	0,406	162,100	0,660	0,490	0,699	0,529	0,70	

L'esame dei dati ottenuti pone in rilievo come l'attività del ricambio durante l'inverno sia inferiore nel *Myoxus glis perfettamente desto* che nel *Mus decumanus*. Anche il deficit in peso alla fine dell'esperienza è minore. Difatti mentre nel ghiri A per un chilogr. e per un'ora di tempo l'O² era di gr. 2,35, il CO² di gr. 2,35 e l'H²O di gr. 1,17, nel *Mus decumanus* invece l'O² assorbito saliva a gr. 2,98, il CO² a gr. 3,29 e l'H²O emesse a gr. 2,03, differenze notevoli tenuto conto che le condizioni sperimentali risultavano perfettamente eguali in ambedue gli animali. I valori del $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}^2}$

rimasero pressochè invariati tanto nel ghiri come nel topo, con una media di 0,72 e di 0,80.

Questo fatto messo in relazione con un altro osservato dal DUTTO, getta molta luce sul fenomeno dell'ibernazione.

Questo ricercatore recentemente nel nostro laboratorio, confrontando la quantità di calore emesso dalle marmotte e dai conigli di ugual peso e dello stesso colore del pelame, ha visto che questi perdono meno calore di quelle sebbene la propria temperatura sia superiore di 4 o 5 gradi. Dopo ciò si era propensi a credere che negli ibernanti, specialmente durante la veglia, la produzione di calore fosse stata almeno uguale a quella che si verifica negli animali omotermini. Ebbene, questo non avviene. Nel ghiri A la produzione di calore fu trovata minore che nel *Mus decumanus*. È logico il ritenere che ciò si verifichi anche negli altri ibernanti tenuti nelle stesse condizioni del *Myoxus*. Nè questo fatto può attribuirsi ad una differenza nell'attività muscolare dei due animali, perchè essi furono sempre ugualmente calmi e tranquilli. La ragione del fenomeno

deve ricercarsi in qualche cosa di più complesso, cioè nella differenza delle combustioni che hanno luogo nei loro tessuti, che sono l'unica sorgente del calore. È per questo forte potere emissivo del calore, accompagnato da lentezza nei processi termogeneteci, che si spiega non solo la differenza fra la temperatura del topo, che era di 39°, e quella del ghiro, che era di 34°, ma anche perchè gl'ibernanti abbassano enormemente la propria temperatura per effetto del freddo, a differenza di quello che avviene negli omotermini in cui essa rimane sempre costante e superiore di molto a quella dell'ambiente. Questa minore attività metabolica ci fa comprender bene anche perchè gl'ibernanti mentre son desti resistono di più all'azione dei gas asfissianti e vivono più a lungo degli altri in ambienti poveri di ossigeno, come era stato notato dal SAISSY e dal MANGILI.

A che debba attribuirsi questa differenza, tanto sul metabolismo come sulla termogenesi in animali che occupano lo stesso posto nella scala zoologica, dirò più tardi. Io non so però se questa minore attività del chimismo respiratorio, osservata da me nel *Myoxus* catturato nel novembre, si avverta anche nell'estate in cui è estremamente vivace, ovvero se dipenda da un cambiamento nelle proprie abitudini, che si inizierebbe al principio dell'autunno, al sopraggiungere delle temperature più basse, e che raggiungerebbe il massimo nel colmo dell'inverno. Io non posso affermarlo in alcun modo. Anzi debbo rilevare come il REGNAULT e REISET abbiano constatato che l'ossigeno assorbito per chilogr. e per ora, è lo stesso tanto nelle marmotte deste (gr. 0,986) quanto nei conigli (gr. 0,918) alimentati ugualmente. La sola differenza si avrebbe nel quoziente respiratorio che, per le prime, è di 0,741 e nei conigli di 0,919, differenza che questi ricercatori spiegano ammettendo che nelle marmotte una maggior parte dell'ossigeno si combina con l'idrogeno dando luogo a formazione di acqua.

Il disaccordo fra i miei risultati e quelli del REGNAULT e REISET è forse dato dal fatto che questi, o sperimentavano negli ibernanti durante l'estate, o in quelli catturati da lungo tempo che differiscono moltissimo da quelli presi di recente.

Non è neppur noto se la forte emissione di calore constatata dal DUTTO si effettui anche nei mesi caldi. Questi, che ha compiuto il maggior numero di ricerche calorimetriche sulle marmotte, ha fatto solo delle esperienze comparative nel sonno tranquillo che precede il letargo, nel letargo profondo, e durante il risveglio. Ulteriori indagini potranno colmare questa lacuna e spiegare la divergenza fra le mie esperienze e quelle di REGNAULT e REISET.

Per quanto ha rapporto colle modificazioni del ricambio respiratorio per effetto delle varie temperature, ho notato che quando la temperatura dell'ambiente diminuisce di circa 6° C., cioè a soli + 4° a + 5°, i due ghiro, ugualmente desti, reagiscono in un modo molto diverso. Difatti mentre nel

gliro B tutto il chimismo respiratorio aumenta notevolmente, avendo durante 4 ore di tempo per l'O² una differenza in più di gr. 0,539, e per il CO² e per l'H²O un aumento di gr. 0,757 e di gr. 0,143, nel ghiro A alla stessa temperatura i prodotti della respirazione sono di poco superiori a quelli ottenuti a + 10 e + 12. Questa differenza fra i due ghiri trova un riscontro in alcune osservazioni termometriche fatte negli ibernanti dal SAISSY e dal MANGILI. Il SAISSY aveva visto che la temperatura delle marmotte tenute in schiavitù era *meno variabile* di quella dei ghiri, dei ricci, dei pipistrelli catturati di recente; e che per farle cadere in letargo era necessario abbassare la temperatura a - 10°, mentre che per gli altri bastava la temperatura di + 5°. Il MANGILI con numerose ricerche stabilì che per tutti gli ibernanti la temperatura adatta perchè cadano in letargo oscilla fra i + 6° e i + 10°. Le marmotte tenute lungamente in schiavitù, osserva il MANGILI, non si somigliano più a quelle che vivono in libertà: esse mangiano ogni giorno, e restano sempre deste durante l'inverno in camere ove dormono profondamente gli ibernanti catturati di recente. È appunto a questa specie di acclimatazione, a cui questi animali vanno incontro, che si debbono attribuire le differenze constatate da me nei due ghiri. Il ghiro B, che da 5 mesi era in laboratorio, è divenuto simile ad un altro mammifero omotermo, e come questi aumenta il consumo delle sostanze ingerite quando la temperatura esterna si abbassa, per produrre più calore e mantenere elevata la propria temperatura. Gli animali ibernati così acclimatati non mantengono però lungamente elevato il loro metabolismo come fanno gli animali a temperatura costante. La lotta contro il freddo dura poco e più o meno presto i processi termogenici si attenuano, la loro temperatura diminuisce, e cadono in letargo. Così difatti è avvenuto nel ghiro B. Racchiuso entro una piccola gabbia, e tenuto in un recipiente conformato di ghiaccio a + 3° ed a + 4°, solo dopo un giorno e mezzo si è addormentato. Sarebbe stato interessante raccogliere successivamente i valori dell'O² assorbito e del CO² eliminato in queste condizioni speciali: avrei potuto così avere la prova sperimentale del graduale abbassarsi in esso del metabolismo. Fui impedito di farlo perchè l'animale non poteva stare più di 4 ore nell'apparecchio. Per un tempo più lungo esso vi sarebbe rimasto a disagio perchè eccessiva era la quantità di acqua che vi si raccoglieva. Esaminai però i movimenti respiratori del torace, che possono in qualche modo essere un indice dei fenomeni chimici, e vidi che essi aumentano fortemente, poi diminuiscono, e quando l'animale era assopito si ebbe una vera respirazione periodica. La temperatura rettale del ghiro B presa poco dopo che fu tolto dalla gabbia, era di 13°, mentre quella dell'ambiente era di circa 11°.

Nel ghiro A invece alla stessa temperatura di + 4° a + 5° non si osserva che un leggero aumento nei prodotti respiratori. Giunto in laboratorio nell'epoca in cui gli ibernanti cadono in letargo, l'attività metabo-

lica dei tessuti è molto ridotta. Esso è solo capace d'aumentare alquanto la produzione di calore per far fronte all'intensa dispersione termica che ha luogo per l'enorme differenza fra la propria temperatura e quella dell'ambiente. Finita l'esperienza io l'ho visto cadere in letargo alla temperatura naturale della stanza. I valori del quoziente respiratorio $\frac{CO_2}{O_2}$ nel ghiro B che raggiungono nell'esperienza III quasi l'unità (0,93) e che sono molto più elevati di quelli ottenuti alla temperatura ordinaria (0,70), dipendono dallo stato d'irrequietezza di quest'animale, per cui gli idrati di carbonio si consumano a preferenza rispetto ai grassi ed ai proteici, come avviene negli animali che compiono un intenso lavoro muscolare. Le condizioni diverse in cui erano i due ghiri spiegano molto bene le differenze dei risultati ottenuti.

Aumentando la temperatura dell'apparecchio di circa 12° tutto il ricambio respiratorio diminuisce in ambedue i ghiri come avviene negli animali a temperatura costante. Credo utile per dimostrare la precisione nelle mie ricerche riportarne due fatte nel ghiro B nel colmo dell'estate a 26° e 27°, i cui risultati concordano con quelli ottenuti nell'inverno elevando artificialmente la temperatura.

Tabella VII
Ghiro B.

Numero delle ricerche	Temperat. ambiente	Aria passata	Acqua passata	Peso iniziale	Deficit subito	CO ₂ emesso	H ₂ O emesso	O ₂ calcol.	$\frac{CO_2}{O_2}$	Osservazioni
1	26-27 C	32,000	0,560	169,743	0,710	0,653	0,647	0,590	0,80	La durata dell'esperienza è di 4 ore.
2	26-25 »	34,000	0,867	169	0,528	0,584	0,463	0,549	0,77	

Durante il sonno profondo nei due ghiri tenuti a +10 e +12 (temp. media della stanza nei mesi di dicembre) i processi vitali sono enormemente depressi.

Però dai dati da me ottenuti nell'esperienza IV del ghiro A in letargo si rileva come ad una temperatura di soli +3° a +3,5° che è più bassa di quella a cui sono abituati questi animali quando cadono in letargo, invece di aversi un'ulteriore diminuzione nei prodotti respiratori, come sarebbe avvenuto negli animali a sangue freddo, si ebbe un aumento.

Il SAISSY, il MANGILI, il VALENTIN e molti altri si erano accorti che il freddo eccessivo era sufficiente per far destare le marmotte dal letargo.

Le ricerche calorimetriche fatte dal DUTTO sulla marmotta coincidono coi risultati da me ottenuti in questa esperienza. Egli ha visto che essendo scesa la temperatura della stanza da un massimo di 9° ad un minimo di 2,5° si ebbe un aumento nella produzione termica dapprima lento, poi più rapido, e che raggiunse il massimo parecchio tempo dopo dal principio dell'abbassamento della temperatura esterna. Lo stesso è avve-

nuto nel ghiro A. Esso ha opposto all'azione del freddo intenso una maggior produzione di calore, aumentando gli scambi respiratori però soltanto moderatamente, perchè in queste condizioni non era capace di produrne una quantità considerevole. Difatti alla fine dell'esperienza, cioè dopo quattro ore, i prodotti respiratori rimanevano, sebbene aumentati, inferiori a quelli ottenuti quando l'animale era desto. Anche A. Mosso, facendo delle ricerche termometriche in una marmotta in letargo, ha trovato che, quando questi animali si destano, la temperatura presa nel cervello e nel retto sale solo lentamente.

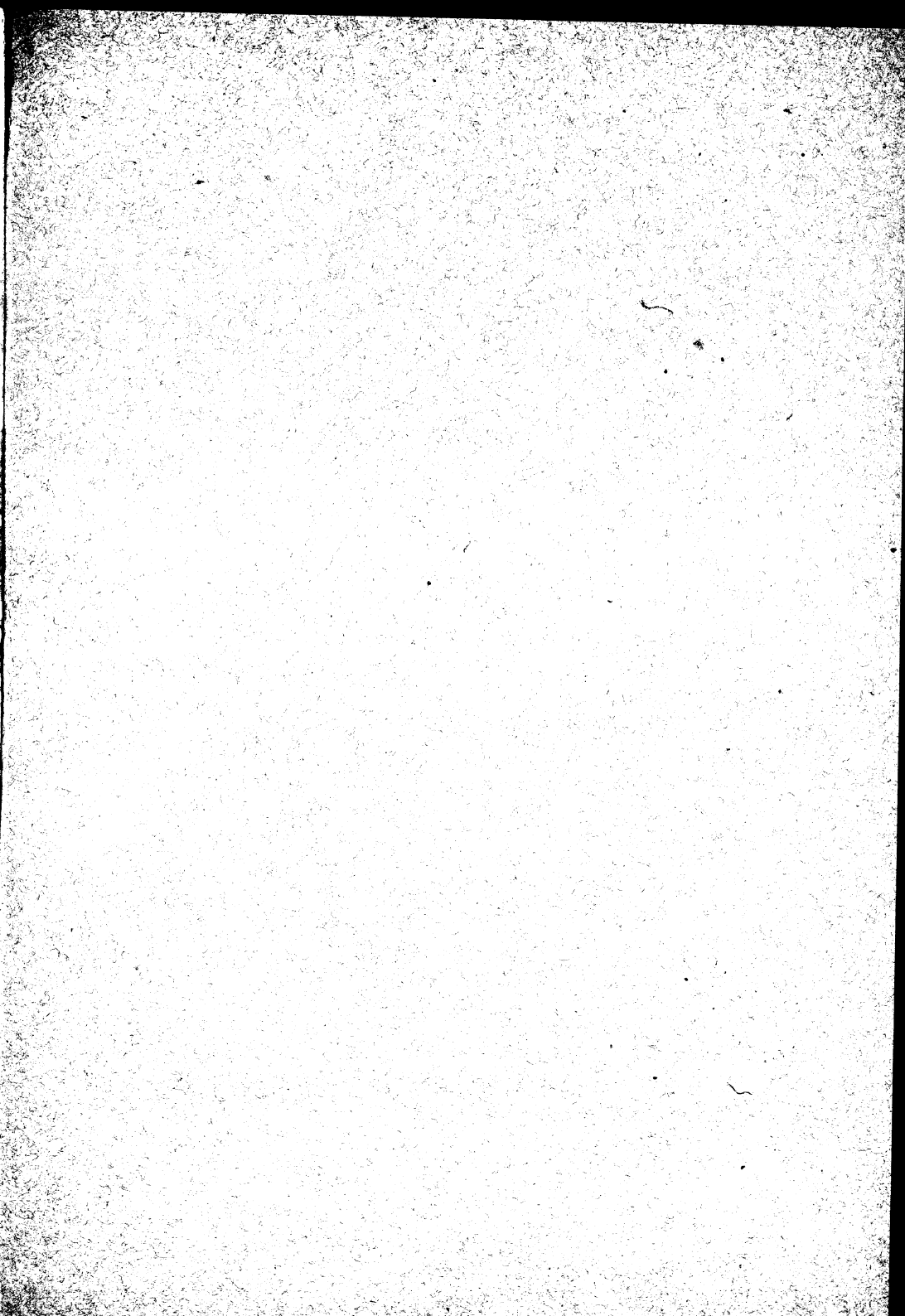
I fatti da me osservati nei due ghiri, tanto nello stato di veglia come nel sonno profondo, dimostrano chiaramente che gl'ibernanti debbono essere considerati come essenzialmente diversi dai pecilotermi. In questi tutti i fenomeni vitali sono subordinati alla quantità di calore che arriva loro dal di fuori. Pressochè in equilibrio termico con l'ambiente in cui vivono, coll'innalzarsi della temperatura esterna le loro funzioni assumono un alto grado di attività, mentre per effetto del freddo si abbassano in proporzione. In questo stato di *rita minima* i pecilotermi possono resistere assai lungamente, tanto che non è difficile riscontrare non solo degli insetti, ma anche dei vertebrati che, senza morire, possono sopportare una vera congelazione.

Tralasciando di rilevare le differenze veramente considerevoli tra gli animali a sangue freddo e gli ibernanti, abituati a vivere lungamente in schiavitù, che si comportano rispetto alle basse temperature (almeno per un primo periodo di tempo) come gli omotermi, essi si discostano da quelli anche quando cadono in letargo. È vero che per effetto del calore gli scambi chimici aumentano, ma questi non diminuiscono progressivamente, per azione del freddo, come avviene negli animali a temperatura variabile. Esiste un limite nelle basse temperature ($\frac{1}{2}$ 3° + 3,5°), al disotto del quale gl'ibernanti si trovano a disagio: dopo aver adoperato tutti i mezzi di difesa per uscirne, vi si adattano forzatamente, e poco dopo muoiono. Io credo quindi più giusto considerare gl'ibernanti (almeno dal lato funzionale) come animali che occupano un posto intermedio fra gli omotermi ed i pecilotermi. Le differenze poi esistenti, tanto nel ricambio come nella termogenesi, fra essi e gli omotermi, molto probabilmente dipendono dal grado di evoluzione del loro sistema nervoso. In tutti gli animali più o meno elevati nella scala zoologica, questo, eccitando gli elementi vivi dei tessuti, determina dei cangiamenti chimici intracellulari, capaci di produrre più o meno calore a seconda che essi sono più o meno intensi. Negli omotermi, in cui il sistema nervoso è più perfezionato, questo regola il bilancio termico in modo così ammirabile, da renderli capaci a mantenere pressochè costante e superiore di molto a quella dell'ambiente la loro temperatura, qualunque sia quella in cui essi si trovano. Negli ibernanti invece, questo sistema termo-regolatore è molto imperfetto, tanto che non

riescono ad opporre all'azione del freddo, nè un sufficiente aumento di produzione di calore, nè una diminuzione di dispersione del medesimo.

Bibliografia.

- TREVIRANUS, *Versuche über das Athemholen der niedern Thiere* (Zeitschrift für Physiologie, 1832, Bd. IV).
- LETELLIER, *Ann. de chim. et de phys.*, 3.^a serie, t. XIII.
- BOUSSINGAULT, *Ann. de chim. et de phys.*, 3.^a serie, t. XI.
- BARRAL, *Statique chim. des animaux*, Paris 1850.
- RICIET, *La chaleur animale*, Paris 1889.
- MANCA, *Influenza del peso iniziale sulla resistenza al digiuno negli animali a sangue freddo* (Bollettino delle Scienze mediche di Bologna, 1893). In questa nota è raccolta una copiosa bibliografia sull'argomento.
- M'KENDRICK, *On the respiratory movement of fish*. (The Journal of Anat. & Physiology, 1879).
- QUINQUAUD, *Experiences relatives a la respiration des poissons* (Compt. Rendus, LXXVI, 1893).
- CAMERANO, *Recherches anatomo-physiolog. sur les Salamandres normalement privées de poumons* (Atch. ital. de Biologie, 1894).
- P. BERT, *Leçons sur la physiologie de la respiration*, 1869.
- CH. RICIET, *Le rythme de la respiration* (Travaux du Lab. de Physiol., II).
- REGNAULT e REISSET, *Recherches chimiques sur la respiration des animaux des diverses classes*, (Ann. de ch. et de phys., XXVI, 1849).
- GULLIVER, Citato dal MILNE EDWARDS.
- MILNE EDWARDS, *Leçons sur la Physiologie et l'Anatomie comparée* (Vol. I, Parigi).
- P. BERT, *Observations sur la respiration du bombyx du murier à ses différents états* (Comp. Rend. de la Société de Biologie, 1885).
- JOLYET e REGNIARD, *Recherches physiologiques sur la respiration des animaux aquatiques* (Arch. de physiologie, 1877).
- MANCA, *Influenza dell'acqua sul decorso dell'inanizione negli animali a sangue freddo* (Atti del R. Istituto Veneto, 1895-96).
- *Il decorso del digiuno assoluto nelle tartarughe* (Atti della Società Veneto-Trentina di scienze naturali, 1896).
- SPALLANZANI, *Memorie sulla respirazione*.
- VALENTIN, *Beiträge zur kenntniss des Winterschlafes der Marmesthiere* (Moleschott Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere, 1856).
- MANGILI, *Saggio di osservazioni per servire alla storia dei mammiferi soggetti a periodico letargo* (Ann. del Museo, Milano, 1807).
- DELSAUX, *Étude sur la respiration des Chauves-Souris pendant leur sommeil hibernat.*
- QUINCKE, *Ueber die Wärmeregulation beim Marmelthier* (Archiv für experiment. Pathologie und Pharmakologie, XV).
- R. DUROIS, *Étude sur le mécanisme de la thermogénèse et du sommeil chez les mammifères*. — *Physiologie comparée de la marmotte*, Parigi 1896.
- R. ODDI, *Influenza della temperatura sul complessivo scambio respiratorio* (Archivio per le scienze mediche, vol. XVI, 1890).
- DUTTO, *Ricerche calorimetriche su una marmotta* (Rendiconti dell'Accademia dei Lincei, 1896).
- SAISSY, *Recherches experimentales sur les animaux hibernants* (Untersuchungen über die Natur der Winterschlafenden Säugetiere. Reil's Archiv. für Physiologie, Bd. XII).
- DUTTO, *Ricerche calorimetriche sulla marmotta in letargo* (Bollettino della Società Lanciaiana 1897).
- MOSSO A., *La temperatura del cervello*, 1894.
- DELABROUHE, *Journal de physique*, t. LXXVII.





MILANO - SOCIETÀ EDITRICE LIBRARIA - VIA DISCIPLINI, 15

