

**STUDIO DELLE STRATEGIE DI TERMOREGOLAZIONE IN DUE FAMIGLIE DI  
OFIDI (VIPERIDAE E ELAPIDAE)**

**RAPPORTO FINALE**

**Settembre 2014**

**A cura di**

**Leonardo Vignoli e Luca Luiselli**

# STUDIO DELLE STRATEGIE DI TERMOREGOLAZIONE IN DUE FAMIGLIE DI OFIDI (VIPERIDAE E ELAPIDAE)

PARTE A. Sinossi del progetto.....	1
1. Introduzione .....	1
2. Rationale.....	1
3. Obiettivi.....	2
PARTE B. Attuazione del progetto.....	2
1. Background conoscitivo.....	2
2. Materiali e Metodi.....	2
3. Risultati.....	4
4. Discussione.....	12
5. LETTERATURA CITATA NEL TESTO.....	14

# STUDIO DELLE STRATEGIE DI TERMOREGOLAZIONE IN DUE FAMIGLIE DI OFIDI (VIPERIDAE E ELAPIDAE)

## PARTE A. Sinossi del progetto

### 1. Introduzione

Delle circa 50,000 specie di vertebrati a oggi conosciute, il 70% è rappresentato da organismi ectotermi. Poiché variazioni di temperatura hanno effetti sulla gran parte dei processi fisiologici e di sviluppo (Peterson et al.,1993), i vertebrati ectotermi devono termoregolare per mantenere un'ottimale temperatura corporea al fine di massimizzare la loro fitness (Christian & Tracy, 1981; Huey & Kingsolver, 1989). Al fine di comprendere l'ecologia e l'evoluzione del comportamento termoregolatorio abbiamo bisogno di determinare l'effetto della qualità termica sull'entità del processo di termoregolazione. La qualità termica dell'ambiente agisce direttamente sulla quantità di tempo che deve essere impiegata per mantenere la temperatura corporea all'interno dell'intervallo ottimale. Lo studio sperimentale sulla termoregolazione nei rettili è importante, dal punto di vista scientifico, al fine di comprendere la fisiologia e l'adattamento evolutivo di questi vertebrati alle condizioni esterne. Dal punto di vista del mantenimento in cattività di questi animali, la migliore comprensione delle loro strategie termoregolatorie porterebbe a un miglioramento delle tecniche di 'keeping' e quindi fornirebbe un utile strumento al fine di migliorare le opportunità di riproduzione in cattività di quelle specie che, essendo minacciate, necessitano di programmi di conservazione 'ex situ'.

Lo Zoo Safari Ravenna ospita all'interno delle strutture diverse specie di rettili di cui Si propone in questa sede uno studio sperimentale che possa contribuire sia alla migliore conoscenza scientifica sia a quella relativa al mantenimento delle specie in cattività, utilizzando la collezione di serpenti disponibile nella vostra istituzione.

### 2. Rationale

Il progetto riguarda tutte le specie del genere *Crotalus* e del genere *Naja* ospitate all'interno delle strutture dello Zoo Safari Ravenna. Questi serpenti sono particolarmente idonei allo studio delle strategie di termoregolazione perché presentano caratteristiche antitetiche dal punto di vista dell'evoluzione e delle 'life-history strategies', e pertanto consentono quindi di testare opportunamente le peculiarità termoregolatorie di un'ampia varietà di specie di rettili che sono

più o meno rapportabili a questi due generi per quel che riguarda la loro eco-fisiologia generale. In effetti, questi due generi di serpenti appartengono a due linee filogenetiche indipendenti (Viperidi ed Elapidi), sono completamente diversi per quel che riguarda l'architettura morfologica e le caratteristiche ecologiche (ovovivipari versus vivipari; cacciatori d'agguato *versus* cacciatori attivi), e in più appartengono a regioni geografiche diverse (continente Americano versus Asiatico per quanto concerne le specie di *Naja* ospitate nella struttura) e a climi diversi (alcune specie provengono da zone temperate mentre altre da zone tropicali).

### 3. *Obiettivi.*

Gli scopi principali del progetto sono:

- definire la strategia di termoregolazione con un approccio comparativo per le specie oggetto di studio in relazione alla famiglia di appartenenza (Viperidae versus Elapidae), allo stato trofico e allo stato di muta;
- ottimizzare le condizioni di allevamento in cattività in base ai risultati ottenuti al precedente punto;
- confrontare le strategie termoregatorie dei serpenti mantenuti in cattività con quelle osservate in ambiente naturale.

## **PARTE B. Attuazione del progetto**

### 1. *Background conoscitivo.*

L'entità del processo di termoregolazione varia da specie a specie e tra ambienti diversi. Alcune specie sono euriterme e quindi attive all'interno di un ampio intervallo termico (Ruibal 1961; Hertz 1992), mentre altre sono stenoterme con un intervallo termico ottimale ristretto (Adolph 1990). Inoltre, l'importanza dell'attività termoregatoria e le strategie messe in atto per controllare la temperatura corporea variano enormemente in dipendenza del clima (temperato versus tropicale; Shine & Madsen 1996) e del microclima (ambiente aperto – savana – versus ambiente chiuso – foresta). Un fattore che determina queste variazioni nelle strategie termoregatorie degli animali è la qualità termica dell'ambiente (Huey 1974; Huey & Slatkin 1976).

### 2. *Materiali e Metodi.*

Al fine di studiare la strategia termoregatoria di ogni specie di interesse sono state monitorate nove teche ospitanti sei specie appartenenti alla famiglia Viperidae e tre specie di Elapidae. Ogni

teca è stata ripresa mediante una fototrappola che è stata programmata per riprendere immagini digitali ogni 30 minuti per tutte le 24 ore della giornata. Ogni teca è stata analizzata dal punto termico e mediante l'uso di un termometro laser sono state individuate aree della teca i cui substrati sono mantenuti costantemente a differenti temperature grazie lampade riscaldanti che costituiscono contemporaneamente una fonte di luce e calore. Le zone più calde sono state definite di termoregolazione (lo stazionamento dei serpenti in queste aree è indice di attività di riscaldamento) mentre quelle più fredde sono state definite di non termoregolazione (lo stazionamento del serpente in queste aree è indice di attività non termoregolatoria).

Tabella A. Descrizione delle teche in termini di temperatura registrata nelle aree di termoregolazione e non termoregolazione.

Teca	Specie ospitata	T area termoregolazione	T area non termoregolazione
1	<i>Crotalus viridis</i>	35°C	25°C
2	<i>Crotalus atrox</i> (albino)	38°C	24°C
3	<i>Naja sputatrix</i>	35°C	25°C
4	<i>Crotalus ruber</i>	31°C	23°C
5	<i>Crotalus atrox</i>	32°C	23°C
6	<i>Crotalus atrox</i>	35°C	25°C
7	<i>Crotalus atrox</i>	31°C	22°C
8	<i>Crotalus durissus vegrandis</i>	35°C	25°C
9	<i>Naja sputatrix</i> (albino)	35°C	23°C

Sono state annotate le attività di alimentazione in modo da poterle mettere in relazione al comportamento termoregolatorio dei serpenti. La disposizione dei serpenti all'interno del loro terrario in rapporto al range di temperature disponibili, e in rapporto all'ora del giorno, allo stato trofico è registrata grazie alle immagini scattate a intervalli regolari.

Per il confronto con le strategie adottate dai serpenti in ambiente naturale, abbiamo usato osservazioni effettuate in natura in Africa occidentale dal 1996 al 2014 su specie appartenenti alle stesse famiglie (Viperidae e Elapidae) di quelli ospitati in cattività e distribuite in ambienti diversi. Foreste: Niger Delta forests: Edumanon Forest Reserve, Upper Orashi Forest Reserve, Taylor Creek Forest Reserve, Egbedi Creek Forest Reserve, Stubbs Creek Forest Reserve; savane: Ibadan; Lokoja; Ejiule (Central Nigeria).

### 3. Risultati

#### Osservazioni in cattività.

Il periodo di studio si è protratto dal 15 gennaio al 15 marzo 2014. Sono state acquisite in totale circa 17000 fotografie digitali contenenti informazioni sulla disposizione dei serpenti all'interno del loro terrario durante le 24 ore del giorno. Ogni teca è stata analizzata con circa 1900 immagini. Tutti i dati relativi all'attività dei serpenti sono stati informatizzati su fogli elettronici di Microsoft Excel per le ulteriori elaborazioni.

Delle nove teche analizzate, sei (quattro ospitanti crotalidi e due ospitanti elapidi) hanno restituito immagini idonee a essere usate per le successive elaborazioni. Le rimanenti tre teche non hanno fornito dati analizzabili a causa di comportamenti anomali dei serpenti dovuti a variazioni nel setting del sistema di riscaldamento (ad esempio, incremento della temperature per gli individui inappetenti) operate durante il periodo di osservazione.

I risultati sulle osservazioni complessive hanno evidenziato che i serpenti, indipendentemente dalla specie e dalla famiglia di appartenenza, trascorrono significativamente un tempo minore in attività di basking rispetto alle altre tipologie di attività. I serpenti quindi spendono un tempo limitato nelle aree a più alta temperatura della teca, occupando per la gran parte del periodo osservato le aree a più bassa temperatura (Tabelle 1-3).

Tabella 1. Sinossi delle osservazioni complessive sulle attività di termoregolazione (basking) dei serpenti studiati.

Specie	Totale osservazioni		Attività		
	Basking	Non basking	Totale	% Basking	% Non basking
<i>Crotalus viridis</i>	102	1586	1688	6,0%	94,0%
<i>Crotalus atrox</i>	161	1240	1401	11,5%	88,5%
<i>Crotalus atrox</i>	598	1006	1604	37,3%	62,7%
<i>Crotalus durissus vegrandis</i>	161	676	837	19,2%	80,8%
<i>Naja sputatrix</i>	214	1313	1527	14,0%	86,0%
<i>Naja sputatrix</i>	352	823	1175	30,0%	70,0%

Tabella 2. Osservazioni sulle attività di termoregolazione (basking) dei serpenti studiati raggruppate per famiglie, Viperidae (crotali) e Elapidae (cobra).

Totale osservazioni	Attività				
	Basking	Non basking	Totale	% Basking	% Non basking
Gruppi					
Crotali	1022	4508	5530	18.5%	81.5%
Cobra	566	2136	2702	20.9%	79.1%

Tabella 3. Risultati del test del Chi quadrato applicato con una tabella di contingenza confrontando le frequenze di attività (basking versus non basking) nei due gruppi studiati (Viperidae versus Elapidae).

Tabella di contingenza 2x2	Basking	Non basking	Righe - Totali
Frequenze, Crotali	1022	4508	5530
Percentuali	12.42%	54.76%	67.18%
Frequenze, Cobra	566	2136	2702
Percentuali	6.88%	25.95%	32.82%
Attività, totali	1588	6644	8232
Percentuali	19.29%	80.71%	
Chi-quadro corretto di Yates	6.93	P = 0.0085	

Durante l'attività di alimentazione e digestione, il comportamento termoregolatorio dei serpenti studiati varia significativamente rispetto a quanto osservato in totale. Durante i due giorni susseguenti alla somministrazione del cibo, i serpenti trascorrono un tempo più esteso nelle aree di termoregolazione non mostrando differenze comportamentali tra i gruppi e tra le attività di basking/non basking (Tabelle 4-6).

Tabella 4. Sinossi delle osservazioni durante la digestione sulle attività di termoregolazione (basking) dei serpenti studiati.

Alimentazione Specie	Attività				
	Basking	Non basking	Totale	% Basking	% Non basking
<i>Crotalus viridis</i>	31	158	189	16.4%	83.6%
<i>Crotalus atrox</i>	39	63	102	38.2%	61.8%
<i>Crotalus atrox</i>	99	46	145	68.3%	31.7%
<i>Crotalus durissus vegrandis</i>	42	49	91	46.2%	53.8%
<i>Naja sputatrix</i>	21	105	126	16.7%	83.3%
<i>Naja sputatrix</i>	63	66	129	48.8%	51.2%

Tabella 5. Osservazioni sulle attività di termoregolazione (basking) durante la digestione dei serpenti studiati raggruppati per famiglie, Viperidae (crotali) e Elapidae (cobra).

Alimentazione Gruppi	Attività				
	Basking	Non basking	Totale	% Basking	% Non basking
Crotali	211	316	527	40.0%	60.0%
Cobra	84	171	255	32.9%	67.1%



Tabella 6. Risultati del test del Chi quadrato applicato con una tabella di contingenza confrontando le frequenze di attività (basking versus non basking) durante l'attività di digestione nei due gruppi studiati (Viperidae versus Elapidae).

Tabella di contingenza 2x2	Basking	Non basking	Righe - Totali
Frequenze, Crotali	211	316	527
Percentuali	26.98%	40.41%	67.39%
Frequenze, Cobra	84	171	255
Percentuali	10.74%	21.87%	32.61%
Attività, totali	295	487	782
Percentuali	37.72%	62.28%	
Chi-quadro corretto di Yates	3.68	P = 0.0549	

Le osservazioni effettuate nei periodi al di fuori dei due giorni susseguenti la somministrazione del cibo, dimostrano, come già evidenziato per il totale delle osservazioni, che i serpenti studiati trascorrono un tempo significativamente più esteso nelle aree di non termoregolazione che in quelle di termoregolazione (Tabelle 7-9).

Tabella 7. Sinossi delle osservazioni al di fuori del periodo di digestione sulle attività di termoregolazione (basking) dei serpenti studiati.

Specie	Non alimentazione		Attività		
	Basking	Non basking	Totale	% Basking	% Non basking
<i>Crotalus viridis</i>	71	1428	1499	4.7%	95.3%
<i>Crotalus atrox</i>	122	1177	1299	9.4%	90.6%
<i>Crotalus atrox</i>	499	960	1459	34.2%	65.8%
<i>Crotalus durissus vegrandis</i>	119	627	746	16.0%	84.0%
<i>Naja sputatrix</i>	193	1208	1401	13.8%	86.2%
<i>Naja sputatrix</i>	289	757	1046	27.6%	72.4%

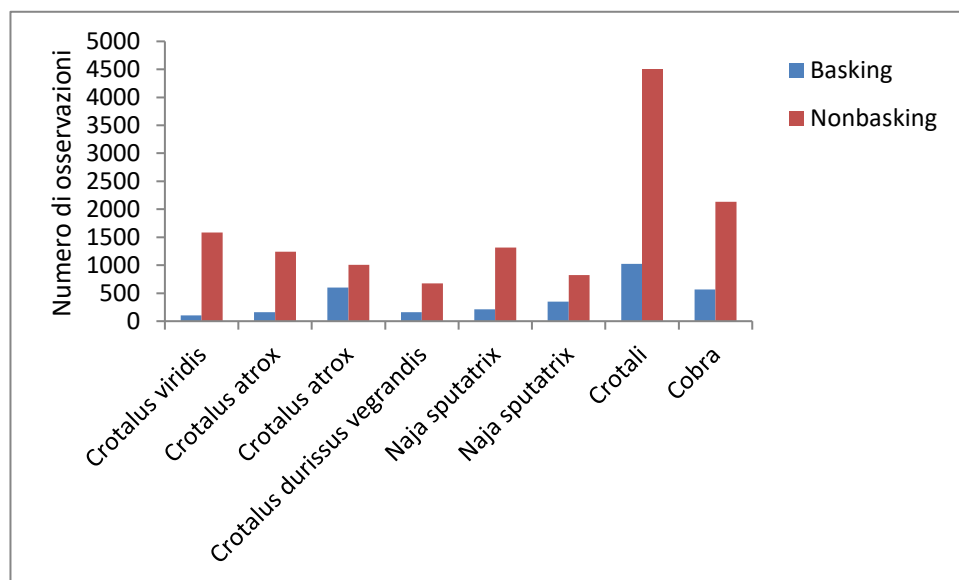
Tabella 8. Osservazioni sulle attività di termoregolazione (basking) al di fuori dell'attività digestiva dei serpenti studiati raggruppati per famiglie, Viperidae (crotali) e Elapidae (cobra).

Alimentazione	Attività					
	Gruppi	Basking	Non basking	Totale	% Basking	% Non basking
Crotali		211	316	527	40.0%	60.0%
Cobra		84	171	255	32.9%	67.1%

Tabella 9. Risultati del test del Chi quadrato applicato con una tabella di contingenza confrontando le frequenze di attività (basking versus non basking) al di fuori dell'attività digestiva nei due gruppi studiati (Viperidae versus Elapidae).

Tabella di contingenza 2x2	Basking	Non basking	Righe - Totali
Frequenze, Crotali	811	4192	5003
Percentuali	10.89%	56.27%	67.15%
Frequenze, Cobra	482	1965	2447
Percentuali	6.47%	26.38%	32.85%
Attività, totali	1293	6157	7450
Percentuali	17.36%	82.64%	
Chi-quadro corretto di Yates	13.93	P = 0.0002	

Nella figura 1 è possibile osservare i diversi pattern di strategia termoregolatoria nelle diverse specie osservate singolarmente e quelli cumulati nei due gruppi.



Osservazioni in natura.

Per quanto attiene alle osservazioni effettuate in natura, sono state riportati i dati relativi a otto specie di serpenti, sei viperidi e due elapidi. Le osservazioni sono state fatte in Nigeria e in Togo. In ogni gruppo sono state selezionate specie di ambiente forestale e specie di ambiente di savana (Tabella 10).

Tabella 10. Specie osservate in nature per quanto riguarda il comportamento termoregolatorio. Sono mostrate le osservazioni durante l'attività di termoregolazione (basking ) e al di fuori di essa (non basking). Inoltre è riportato l'ambiente in cui vivono le specie.

	Specie	Basking	Non basking	Ambiente
Viperidae	<i>Bitis gabonica</i>	316	233	Foresta
	<i>Bitis rhinoceros</i>	24	13	Foresta
	<i>Bitis nasicornis</i>	178	139	Foresta
	<i>Atheris squamiger</i>	85	133	Foresta
	<i>Bitis arietans</i>	61	227	Savana
	<i>Causus maculatus</i>	143	391	Savana
Elapidae	<i>Naja melanoleuca</i>	44	424	Foresta
	<i>Naja nigricollis</i>	61	773	Savana

Figura 2. Comportamenti termoregolatori delle specie osservate in natura.

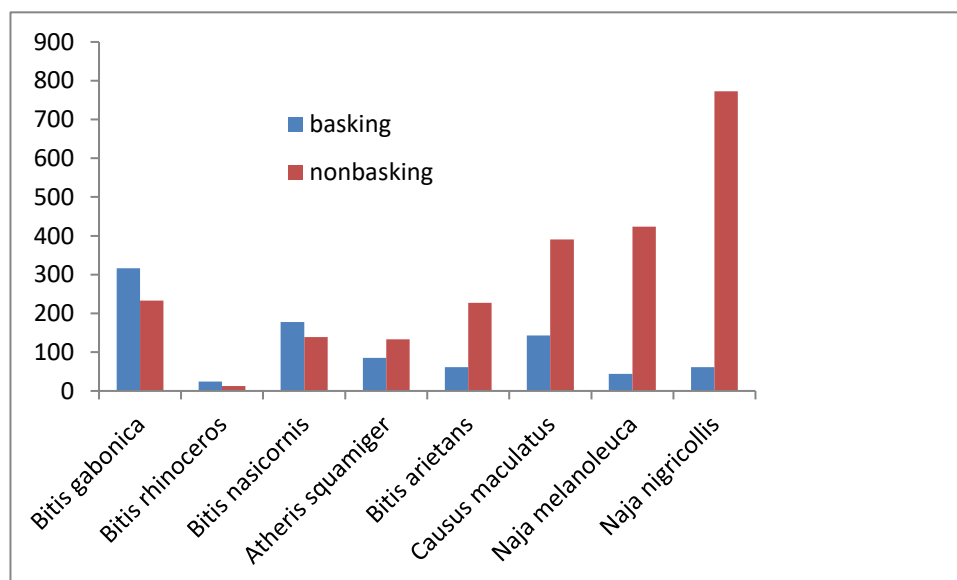
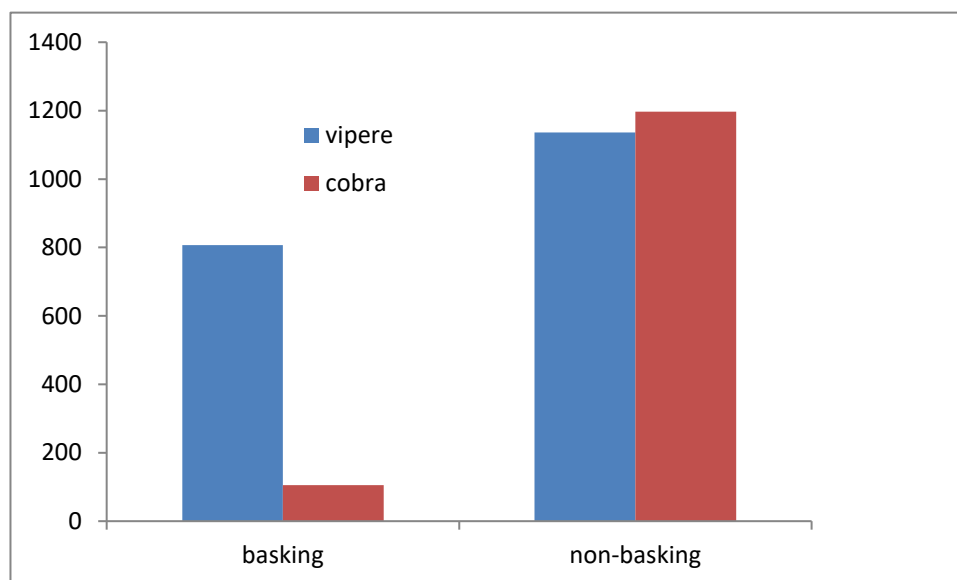


Figura 3. Comportamenti termoregolatori delle specie raggruppate nelle famiglie Viperidae e Elapidae in natura.



Analizzando le strategie di termoregolazione di ogni specie singolarmente e raggruppata nelle famiglie Viperidae e Elapidae, emergono chiaramente due pattern: 1) i viperidi termoregolano per un tempo maggiore rispetto agli elapidi (tabella 11); 2) all'interno dei viperidi le specie di foresta termoregolano maggiormente rispetto a quelle di savana mentre non è stata trovata differenza nel comportamento di termoregolazione negli elapidi provenienti da ambienti diversi (tabella 12).

Tabella 11. Risultati del test del Chi quadrato applicato con una tabella di contingenza confrontando le frequenze di attività (basking versus non basking) nei due gruppi studiati (Viperidae versus Elapidae) in natura.

Tabella di contingenza 2x2	Basking	Non basking	Righe - Totali
Frequenze, Vipere	807	1136	1943
Percentuali	24.87%	35.01%	59.88%
Frequenze, Cobra	105	1197	1302
Percentuali	3.24%	36.89%	40.12%
Attività, totali	912	2333	3245
Percentuali	28.11%	71.90%	
Chi-quadro corretto di Yates	430.54	P = 0.0000	

Figura 4. Osservazioni in natura sul comportamento termoregolatorio dei serpenti appartenenti alle famiglie Viperidae e Elapidae provenienti da ambienti diversi (foresta *versus* savana)

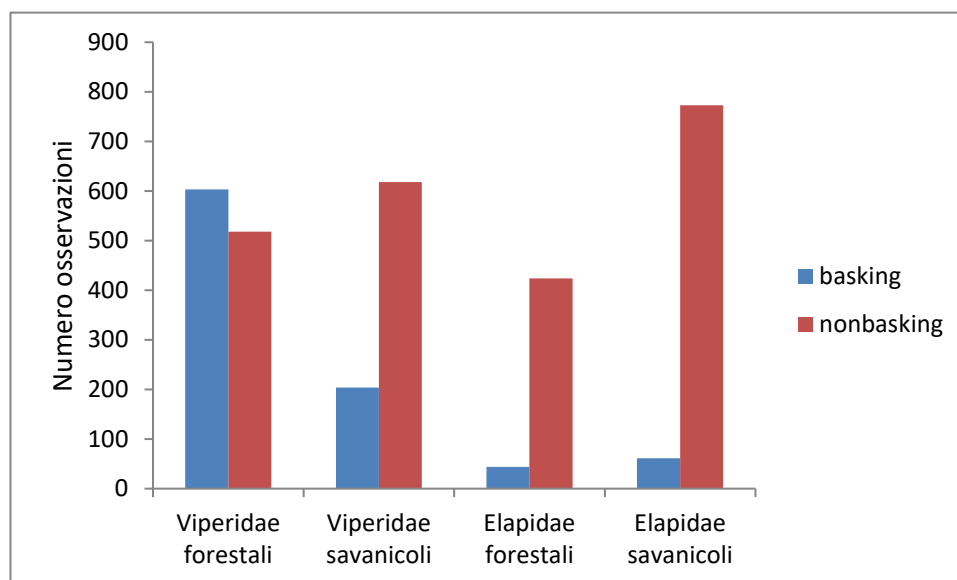


Tabella 12. Risultati del test del Chi quadrato applicato con una tabella di contingenza confrontando le frequenze di attività (basking *versus* non basking) nei due gruppi studiati (Viperidae *versus* Elapidae) in natura confrontando i serpenti provenienti dall'ambiente di foresta con quelli di savana.

Tabella di contingenza 2x2	Vipere			Cobra		
	Baskin g	Non basking	Righe - Totali	Baskin g	Non basking	Righe - Totali
Frequenze, Foresta	603	518	1121	44	424	468
Percentuali	31.03 %	26.66%	57.69%	3.38%	32.57%	35.95%
Frequenze, Savana	204	618	822	61	773	834
Percentuali	10.50 %	31.81%	42.31%	4.69%	59.37%	64.06%
Attività, totali	807	1136	1943	105	1197	1302
Percentuali	41.53 %	58.47%		8.07%	91.94%	
Chi-quadro corr. di Yates	162.76	P = 0.000		1.49	P = 0.222	

## Discussione

I risultati dei nostri esperimenti mostrano risultati piuttosto consistenti tra la natura e la cattività e in particolare quando si tengono da conto le colorazioni naturali degli esemplari allevati (tra gli individui in cattività osservati sono presenti infatti due varietà albine, un crotalo e un cobra). In media abbiamo osservato una tendenza a spendere più tempo in termoregolazione nei viperidi piuttosto che negli elapidi e in entrambi i gruppi gli animali di savana tendono a trascorrere un tempo inferiore in attività di *basking* rispetto alle specie di foresta. Questa differenza comportamentale sembrerebbe legata a: 1) le divergenti strategie di *foraging* dei membri di queste due famiglie; in effetti i viperidi sono predatori all'agguato (*ambush foragers*) mentre gli elapidi sono predatori all'inseguimento (*active foragers*); 2) il tempo necessario a termoregolare in ambiente aperto o chiuso. In ambiente forestale (chiuso) la volta degli alberi non permette al sole di filtrare e quindi non offre aree di termoregolazione; in ambiente di savana (aperto) l'esposizione diretta ai raggi solari permette ai serpenti di riscaldare il corpo in un tempo più limitato. Questa differenza a livello di famiglia e di ambiente non può essere casuale dal momento che ha interessato tutte le specie studiate delle rispettive famiglie sia in natura sia in cattività. In ambiente controllato le differenze tra le due famiglie sono comunque attenuate e ciò è presumibilmente legato alla più lieve differenza di temperatura tra le aree di termoregolazione (riscaldate direttamente dalla lampada) e quelle di non termoregolazione (che ricevono comunque calore dalla lampada e beneficiano della mite temperatura ambientale del locale che ospita le teche). Le condizioni sperimentali quindi non presentando una netta separazione climatica delle due aree di attività non favoriscono la netta selezione di una o l'altra da parte dei serpenti. Ciononostante il pattern osservato in cattività ricalca abbastanza fedelmente quanto accade in natura, soprattutto se si tiene in considerazione che tutti i viperidi osservati sono di ambiente aperto (come le vipere di savana osservate in natura) e dovrebbero spendere un tempo limitato a termoregolare mentre tutti gli elapidi sono di ambiente forestale e conseguentemente spenderebbero un tempo consistente nell'attività di *basking*.

Dal punto di vista della biologia della conservazione il nostro studio ha anche apportato alcuni risultati molto significativi. In effetti risulta ben chiaro che la strategia di intensificata termoregolazione dei viperidi porta necessariamente ad aumentarne la cospicuità di fronte a potenziali predatori ed in particolare a *Homo sapiens*.

Pertanto il nostro studio fornisce una evidenza sperimentale e supplementare che i viperidi siano particolarmente vulnerabili a declino di popolazione dovuto a cause antropiche essenzialmente

per caratteristiche proprie ecofisiologiche che li costringono a termoregolarsi per tempi molto più lunghi degli altri serpenti.

Tale comportamento risulta ancora più evidente per quanto concerne le specie di foresta che spendono in *basking* un tempo maggiore di quelle savanicole. Ancora una volta questo fatto ha grossa rilevanza conservazionistica. Infatti le specie forestali sono quelle a distribuzione più ridotta e frammentata e quindi tendono a subire in modo più drammatico le attività antropiche.

Letteratura citata.

Adolph SC (1990) Influence of behavioral thermoregulation on microhabitat use by two *Sceloporus* lizards. *Ecology* 71:315–327.

Christian KA, Tracy CR (1981) The effect of the thermal environment on the ability of hatchling Galapagos land iguanas to avoid predation during dispersal. *Oecologia* 49:218–223.

Hertz PE (1992) Temperature regulation in Puerto-Rican *Anolis* lizards: a field test using null hypotheses. *Ecology* 73:1405–1417.

Huey RB (1974) Behavioral thermoregulation in lizards: importance of associated costs. *Science* 184:1001–1003.

Huey RB, Slatkin M (1976) Cost and benefits of lizard thermoregulation. *Q Rev Biol* 51:363–384.

Huey RB, Kingsolver JG (1989) Evolution of thermal sensitivity of ectotherm performance. *Trends Ecol Evol* 4:131–135.

Peterson CR, Gibson RA, Dorcas ME (1993) Snake thermal ecology: the causes and consequences of body temperature variation. In: Seigel RA, Collins JT (eds) *Snakes: ecology and behavior*. The Blackburn, Caldwell, pp 241–314.

Ruibal R (1961) Thermal relations of five species of tropical lizards. *Evolution* 15:98–111.

Shine R, Madsen T (1996) Is thermoregulation unimportant for most reptiles? An example using water pythons (*Liasis fuscus*) in tropical Australia. *Phys. Zool.* 69:252-269.