

Ann. Mus. civ. Rovereto	Sez.: Arch., St., Sc. nat.	Vol. 28 (2012)	209-223	2013
-------------------------	----------------------------	----------------	---------	------

GIONATA STANCHER & CATERINA QUARESMINI

## ALLE RADICI DELLA CONOSCENZA MATEMATICA: UN'INDAGINE SULLE ABILITÀ NUMERICHE DEGLI ANFIBI ANURI

**Abstract** - GIONATA STANCHER & CATERINA QUARESMINI - The roots of mathematical knowledge: An investigation of numerical abilities in anuran amphibians.

Traditionally, mathematical ability has been considered a prerogative of human beings, subject to cultural transmission and associated to linguistic faculties. However, recent studies demonstrate that pre-verbal infants and non-human animal species manifest rudimental mathematical and numerical abilities. These findings suggest that language might not be a fundamental hallmark for accessing to the most basilar mathematical competences, supporting the hypothesis that these abilities emerged, as an adaptive response, from a common vertebrate ancestor. The current study aims to assess numerical discrimination ability in an anuran species, in order to shed more light on the underlying phylogenetic pathway.

**Key words:** Mathematic - Numerical ability - Amphibians - Behavior.

**Riassunto** - GIONATA STANCHER & CATERINA QUARESMINI - Alle radici della conoscenza matematica: un'indagine sulle abilità numeriche degli anfibi anuri.

Tradizionalmente, la matematica viene ritenuta un'abilità esclusiva dell'essere umano soggetta a trasmissione culturale e associata alle facoltà linguistiche. Studi recenti dimostrano tuttavia come non solo i bambini in età preverbale ma anche le specie animali non umane dispongano di abilità numeriche e matematiche rudimentali. Queste scoperte suggeriscono da una parte che il linguaggio non sia un requisito fondamentale per l'accesso alle forme basilari delle competenze matematiche, dall'altra che tali abilità siano emerse come risposta adattiva in un antenato comune all'intero subphyum dei vertebrati. In questo articolo viene presentata una ricerca sulle abilità di discriminazione numerica in una specie di anfibio anuro, quale contributo alla comprensione del percorso filogenetico seguito dalla suddetta capacità cognitiva.

**Parole chiave:** Matematica - Abilità numerica - Anfibi - Comportamento.

## 1. INTRODUZIONE

L'origine della matematica viene storicamente fatta risalire a testi provenienti dall'antico Egitto e risalenti ad oltre 4000 anni fa <sup>(1)</sup>, anche se vi sono reperti datati attorno al 35.000 a.C. che sanciscono i primi tentativi di quantificare il trascorrere del tempo <sup>(2)</sup>. L'antichità di tali datazioni non manca di destare in noi un certo stupore, soprattutto considerando la matematica come un'invenzione umana particolarmente sofisticata e dunque ritenendola un'acquisizione recente della nostra cultura.

Il concetto di numero, necessario per identificare le grandezze, esprimere quantità o la posizione in un insieme di elementi, si è sviluppato gradualmente e parallelamente al progresso delle conoscenze matematiche, finendo per designare delle etichette verbali che vengono applicate agli oggetti del mondo esterno secondo una precisa successione <sup>(3)</sup> – ad esempio «uno», «due», «tre», «quattro» e così via – indipendentemente dalle caratteristiche degli oggetti stessi (DAVIS & PERUSSE, 1988). Implicito a tale sistema di quantificazione vi è il principio secondo il quale l'ultima etichetta applicata corrisponde al numero totale di oggetti presenti in un gruppo <sup>(4)</sup> (HAUSER, 2000). Tra tutte le caratteristiche che possono accomunare due gruppi di oggetti (ad es.: colore, forma, materiale etc.), la proprietà numerica è probabilmente quella contraddistinta dal grado maggiore di astrazione, tanto che anche insiemi contenenti oggetti che nulla hanno a che fare l'uno con l'altro possono condividere la medesima numerosità – ad esempio il fatto di contenere 5 elementi. L'operazione del contare, quindi, si riferisce all'atto di enumerare gli elementi di un insieme applicando ad essi tali etichette verbali imparate precedentemente.

È interessante notare, a questo proposito, come la parola stessa «matematica» (derivata dalla parola greca *màthema*), stia ad indicare una forma di conoscenza che viene acquisita attraverso apprendimento: questo punto risulta per noi particolarmente critico.

L'idea che le competenze matematiche vengano acquisite esclusivamente attraverso un processo di apprendimento reso possibile dalla trasmissione culturale si scontra infatti con alcune scoperte che hanno interessato in anni recenti le specie animali e i bambini in età preverbale (WYNN, 1992; FEIGENSON *et alii*, 2002). La questione risulta in special modo interessante in quanto, se il numero

---

<sup>(1)</sup> Il papiro di Rhind datato 1650 a.C. - un manuale di istruzioni di aritmetica e geometria – e il papiro di Moscow, datato 1890 a.C. (BOYE & MERZBACH, 1991)

<sup>(2)</sup> Il cosiddetto «Lebombo bone» scoperto in Svizzera, più altri reperti rinvenuti in Francia e Africa (APOSTOLOU & CRUMBLEY, 2008)

<sup>(3)</sup> Stabilendo una corrispondenza uno-a-uno tra gli elementi dell'insieme e l'insieme numerico  $\{1, 2, \dots, n\}$

<sup>(4)</sup> Dovendo enumerare un insieme composto da X elementi, l'emissione della successione ordinata dei numeri 1-2-3-4 mi porta a concludere che gli elementi sono 4.

viene definito come un'etichetta numerica verbale applicata agli oggetti, non dovremmo aspettarci di trovare abilità numeriche in quelle specie nelle quali sono del tutto assenti le proprietà linguistiche, e ciò significa in tutte o quasi le specie animali. D'altra parte, l'eventuale presenza, in queste ultime, anche solo di rudimenti delle competenze matematiche o numeriche ci imporrebbe di ripensare e riformulare, allo stesso tempo, il significato di numero, il processo di acquisizione delle competenze matematiche e l'origine stessa della matematica. Se per ipotesi dovessimo riconoscere la presenza di abilità numeriche negli scimpanzé, dovremmo spostare la data di origine della matematica da 35.000 a circa 5-6 milioni di anni fa <sup>(5)</sup>.

### 1.1 Numeri più «speciali» di altri

I numeri non sono tutti uguali: non sono solo le osservazioni compiute in popolazioni primitive che vivono nei nostri giorni – ad esempio gli zulu, i pigmei africani e i kamilarai australiani – a spingerci a ritenere questa affermazione plausibile, ma pure le notazioni da noi stessi utilizzate, e con esse quelle di altre popolazioni moderne o antiche. I dati storici e scientifici che abbiamo a disposizione ci inducono a ritenere che i primi tre numeri posseggano qualche proprietà speciale, tale da distinguerli da tutti quelli successivi. Nella notazione romana, ad esempio, solo i primi tre numeri si scrivono ripetendo il simbolo dell'unità tante volte quanto è necessario – l'origine di tale notazione è secondo alcuni da rintracciarsi nell'abitudine primitiva ad incidere su un bastone o su un osso tanti segni quanti erano gli oggetti contati, al fine di conservare la testimonianza di un conteggio passato (DEHAENE, 1997). Curiosamente, lo stesso principio viene seguito dalla cultura cinese, da quella indiana, da quella etrusca e pure da quella maya: quasi tutte le civiltà abbandonano la notazione analogica primitiva solo dopo i numeri 3 o 4 (Fig. 1). Pure la natura arbitraria delle cifre arabe da noi usate sarebbe solo apparente, ed anche esse non fanno eccezione rispetto alla regola appena citata: è infatti facile accorgersi come i primi tre numeri riproducano altrettante righe verticali (nel caso dell'1) o orizzontali (nel caso del 2 e del 3), che hanno modificato il loro aspetto solo successivamente nel corso dell'evoluzione della scrittura manoscritta (DEHAENE, 1997).

Per quale motivo in primi tre numeri della successione numerica sono più «speciali» di altri? Perché culture così diverse hanno sviluppato un medesimo limite nella notazione analogica dei numeri?

Una plausibile risposta, sorprendentemente, perviene non tanto dagli studi antropologici o archeologici, bensì dalle ricerche effettuate nel campo della psi-

---

<sup>(5)</sup> Tale è la distanza, in anni, delle due specie *Homo sapiens* e *Pan troglodytes* dal loro più prossimo antenato comune.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
			 ←--	 ←--		 ←--	 ←--	 ←--
•	••	•••	••••	—	—•	—••	—•••	—••••
—	=	≡	+	h	4	7	5	9
१	२	३	४	५	६	७	८	९
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Fig. 1 - Notazioni numeriche utilizzate da diverse culture. Dall'alto verso il basso: cultura romana, egiziana (aramaica), maya, indiana (brahmi), indiana (nagari), araba (elaborazione grafica di Gionata Stancher e Caterina Quaresmini).

cologia sperimentale. È noto da alcuni anni, infatti, che l'essere umano possiede la capacità di enumerare «percettivamente» gli elementi di un insieme, quindi di farlo senza contarli: detto in altre parole, ciò significa che per riportare il numero di un insieme di elementi non è necessario l'accesso alle facoltà linguistiche (KAUFMAN *et alii*, 1949). Il fatto notevole sta nel limite di tale meccanismo di quantificazione percettiva (chiamato *subitizing*, in italiano «subitizzazione»), che non sembra essere in grado di enumerare più di 3-4 elementi: ovvero la stessa quantità che abbiamo detto corrispondere a numeri «speciali» sulla base delle osservazioni compiute sulle notazioni scritte utilizzate da popolazioni moderne e antiche. Se dunque la capacità di discriminare fino a 3-4 elementi è determinata da abilità cognitive di tipo percettivo piuttosto che linguistiche, è opportuno chiedersi se anche altre specie animali, filogeneticamente lontane dall'uomo, possano manifestare simili facoltà intellettive al fine di incrementare le probabilità di sopravvivenza. Attraverso opportune tecniche sperimentali utilizzate dalla psicologia che studia le capacità cognitive delle diverse specie animali è possibile

verificare se la discriminazione numerica – e con essa la capacità di rappresentare le numerosità presenti nell’ambiente – sia da considerarsi una prerogativa dell’uomo o piuttosto il prodotto di un percorso evolutivo e quindi sottoposto ad un processo di selezione naturale.

### 1.2 *Gli studi sugli animali non umani*

Per motivi di spazio evitiamo in questa sede di citare nel dettaglio i lavori sperimentali che sono stati realizzati negli ultimi anni e ci limitiamo a riportare come varie forme di abilità proto-matematiche – in molti casi si tratta di discriminazioni di quantità – siano state individuate nelle classi dei Mammiferi, degli Uccelli, degli Anfibi e dei Pesci (per una rassegna, vedi ad esempio VALLORTIGARA *et alii*, 2010). Una ricerca in particolare ha dimostrato che il pulcino di pollo domestico è anche in grado di intuire il risultato di semplici addizioni e sottrazioni (RUGANI *et alii*, 2009).

Come abbiamo già sottolineato, l’opportunità di individuare competenze numeriche e matematiche spontanee, sia pure rudimentali, in specie animali diverse da quella umana porta con sé, quale diretta conseguenza, uno spostamento all’indietro dell’origine della matematica di vari milioni di anni <sup>(6)</sup>, nonché una radicale ri-definizione del concetto stesso di matematica. Quest’ultimo punto riflette la necessità di riconoscere in essa una significativa componente innata, geneticamente ascrivibile e dunque completamente svincolata da qualsivoglia forma di conoscenza appresa. Tali «istruzioni» matematiche codificate nel patrimonio genetico della specie sarebbero dunque presenti anche nell’essere umano, quali retaggio della sua origine evolutiva, anche se il loro utilizzo è stato ampiamente sostituito da quella parte della matematica implementata dal linguaggio, della quale facciamo uso quotidiano.

### 1.3 *Le abilità proto-matematiche negli anfibi*

Il presente lavoro di ricerca, realizzato grazie alle strutture messe a disposizione dal Museo Civico di Rovereto (Sperimentarea), vuole essere un contributo alla comprensione delle abilità proto-matematiche nella classe degli Anfibi, con particolare riferimento alle loro abilità di discriminazione numerica (STANCHER *et alii*, 2013).

Per abilità di discriminare tra differenti quantità si intende la capacità di emettere giudizi di non-eguaglianza di grandezza – ovvero di realizzare valuta-

---

<sup>(6)</sup> Abilità di discriminazione numerica sono state ad esempio riconosciute in varie specie di pesci teleostei, i quali si sono separati dalla linea filogenetica che ha poi portato all’uomo più di 500 milioni di anni fa.

zioni del tipo «più di...» o «meno di...» – e di effettuare scelte coerenti con le informazioni così acquisite. La discriminazione di numerosità relative viene ritenuta la forma più elementare e antica di conoscenza numerica (DAVIS & PERUSSE, 1988).

Una precedente ricerca (ULLER *et alii*, 2003) ha messo in luce come una specie di salamandra (*Plethodon cinereus*) appartenente al gruppo tassonomico degli anfibi urodeli presentasse l'innata capacità di discriminare tra piccole quantità di stimoli di tipo alimentare, scegliendo la quantità maggiore nel caso dei confronti 1 vs. 2, 2 vs. 3 ma non 3 vs. 4. Il nostro obiettivo è stato quindi quello di estendere le osservazioni su un diverso Ordine di anfibi, utilizzando nuovi confronti numerici. Inoltre, è stato effettuato un diretto controllo sulle variabili dimensionali degli stimoli al fine di stabilire se le discriminazioni osservate avvenivano sulla base di una reale capacità di codificare, da parte dell'animale, la variabile numerica.

## 2. MATERIALI E METODI

La specie scelta per questo lavoro sperimentale, *Bombina orientalis* (BOULENGER, 1890), è un piccolo anfibio anuro appartenente alla famiglia delle Bombinatoridae distribuito in Cina e in Corea.

L'utilizzo di una specie alloctona, sia pure filogeneticamente prossima all'autoctona *B. variegata*, è giustificata da una serie di ragioni di carattere metodologico, e non ultima dalla possibilità di disporre di animali di allevamento con un impatto nullo sulle popolazioni naturali dell'una e dell'altra specie. D'altra parte le conclusioni tratte sulla prima specie, essendo legate a funzioni molto basilari del sistema cognitivo dell'intera classe dei vertebrati (DEHAENE, 1997), possono essere verosimilmente estese anche alla seconda.

La famiglia delle Bombinatoridae è un gruppo tassonomico di anuri caratterizzato dalla presenza di molti caratteri ancestrali (GISSI *et alii*, 2006; REN *et alii*, 2009), tali da aver spinto i tassonomi a definire il sub-ordine di riferimento Archaeobatrachia<sup>(?)</sup>: per questo motivo studiare un membro di tale famiglia offre una possibilità unica per individuare strutture cognitive arcaiche, con l'intento di ricostruire l'origine evolutiva delle abilità proto-numeriche nei vertebrati.

La risposta predatoria negli anfibi anuri è caratterizzata da un utilizzo predominante della funzione visiva (INGLE, 1968; LETTVIN, 1968; EWERT *et alii*, 1979). Varie ricerche (INGLE, 1968; LETTVIN *et alii*, 1968; INGLE, 1971) hanno inoltre messo in luce come venga scatenata solamente in presenza di particolari configu-

---

(?) Letteralmente, «rane primitive».

razioni di stimoli, che fungono quindi da *releaser*. Il movimento dello stimolo, in particolare, sembra imprescindibile allo scopo di evocare una risposta di attacco predatorio.

Il paradigma sperimentale utilizzato vedeva *Bombina orientalis* emettere delle risposte comportamentali di tipo alimentare quando posta nelle condizioni di scegliere tra stimoli di differente numerosità e/o differente conformazione. Il contesto nel quale tali risposte venivano rilasciate è dunque quello di un compito di scelta spontanea, quindi nella totale assenza di procedure di addestramento e limitando al minimo l'intervento dello sperimentatore. Al fine di evitare anche forme di addestramento implicite, gli animali non ricevevano rinforzo durante il test.

Ciascun soggetto dei 7 utilizzati per ciascun confronto numerico veniva introdotto singolarmente al centro di un apparato sperimentale costituito da uno spazio rettangolare delle dimensioni di 20 x 24 x 20 cm (Figg. 2a/2b). Due gruppi di larve vive del coleottero *Tenebrio molitor* erano state precedentemente disposte lungo due diagonali parallele al piano di orientamento degli occhi delle rane, sul lato destro e su quello sinistro del lato visivo rispettivamente, ed equidistanti dal soggetto (10 cm). I due gruppi di larve differivano tra loro per la numerosità degli elementi e la scelta del soggetto veniva registrata e codificata quando espressa nella forma di un avvicinamento ad uno dei due gruppi associato ad un primo tentativo di predazione.



Figg. 2a/2b: Apparato sperimentale utilizzato negli esperimenti e disposizione degli stimoli nel confronto 2 vs. 3.

Ogni soggetto è stato sottoposto a 15 test nel corso dei quali la posizione reciproca dei due gruppi veniva scambiata secondo una sequenza semirandom (L-R-L-R-L-L-R-R-L-R-L-R-L-L-R-R-L-R dove L= sinistra; R= destra), in modo tale da impedire ai soggetti di apprendere la posizione relativa di uno dei due gruppi. L'intervallo temporale tra un test e l'altro per lo stesso soggetto è stato  $\geq 60$  min.

Le risposte sono state computate calcolando un indice percentuale per ciascun soggetto secondo la formula: (numero di scelte per il gruppo più numeroso)/(numero di scelte totale)\*100. Il valore massimo indicava una scelta assoluta per il gruppo più numeroso, mentre il valore 50 indicava l'assenza di scelta. È stato inoltre condotto un t-test one-sample (two-tailed) sulla media degli indici percentuali così ottenuti ponendo il valore di probabilità  $p < 0.05$  come valore significativo.

### 3. RISULTATI

#### 3.1 Esperimento 1: Confronti tra piccole quantità

In questa prima serie di esperimenti, i 7 soggetti della specie *B. orientalis* sono stati posti nelle condizioni di esprimere una scelta tra due gruppi di larve vive delle medesime dimensioni. I confronti proposti sono stati: 1 vs. 2, 2 vs. 3 e 3 vs. 4. La Tab. 1 riassume i risultati ottenuti per ciascun confronto.

Confronto	Media	Errore standard della media	t(n-1)	p
1 vs. 2 (rapp. 0.5)	73.332	3.849	t(6)= 6.0619	0.0009 *
2 vs. 3 (rapp. 0.66)	63.809	5.607	t(6)= 2.4627	0.0489 *
3 vs. 4 (rapp. 0.75)	54.284	5.714	t(6)= 0.7499	0.4816

Tab. 1 - Risultati delle analisi statistiche (one-sample t-test) condotte sulle scelte dei soggetti (vedi testo).

Le analisi statistiche indicano la presenza di una preferenza significativa per il gruppo più numeroso (identificata con l'asterisco nella tabella) nei confronti 1 vs. 2 e 2 vs. 3 ma non nel confronto 3 vs. 4.

*Bombina orientalis* sembra quindi in grado di distinguere tra 1 e 2 elementi, 2 e 3 elementi, ma non 3 e 4 elementi.

#### 3.2 Esperimento 2: Confronti tra quantità maggiori di 3 unità

Negli esperimenti precedenti le quantità confrontate differivano per una sola unità, e dunque il rapporto numerico tra le coppie di stimoli proposti tendeva ad aumentare di pari passo con la grandezza numerica, passando da un rapporto di  $\frac{1}{2}$  ad uno di  $\frac{3}{4}$ . In tali condizioni è stato individuato un netto limite discriminativo posto attorno a 3 unità, coerente con i risultati ottenuti nei bambini in età

preverbale (FEIGENSON *et alii*, 2002) e in altre specie animali (HAUSER *et alii*, 2000; ULLER *et alii*, 2003; STANCHER *et alii*, 2013). Al fine di verificare se questo limite discriminativo posto in corrispondenza del numero 3 fosse assoluto o piuttosto potesse essere superato variando il rapporto tra le quantità confrontate, quindi diminuendolo per confronti con grandezze numeriche maggiori, sono stati proposti due confronti che superavano le 3 unità aventi un rapporto di  $\frac{1}{2}$  e un confronto, sempre oltre le 3 unità, contraddistinto da un rapporto di  $\frac{2}{3}$ .

I risultati delle analisi statistiche sono riassunti nella Tab. 2:

Confronto	Media	Errore standard della media	t(n-1)	p
3 vs. 6 (rapp. 0.5)	74.285	5.526	t(6)= 4.3948	0.0046 *
4 vs. 8 (rapp. 0.5)	67.618	4.224	t(6)= 4.1715	0.0059 *
4 vs. 6 (rapp. 0.66)	56.190	4.567	t(6)= 1.3553	0.2241

Tab. 2 - Risultati delle analisi statistiche (one-sample t-test) condotte sulle scelte dei soggetti (vedi testo).

Le analisi statistiche indicano che *Bombina orientalis* è in grado di superare il limite discriminativo di 3 elementi, a patto di diminuire il valore del rapporto tra le quantità confrontate. La preferenza risulta significativa per il gruppo più numeroso nel caso dei confronti 3 vs. 6 e 4 vs. 8, ma non nel confronto 4 vs. 6.

Il grafico che segue (Fig. 3) riassume i risultati ottenuti nel contesto dei confronti numerici fin qui analizzati: la linea tratteggiata indica la scelta causale; valori sopra di essa indicano la scelta per il gruppo più numeroso mentre quelli al di sotto indicano la scelta per il gruppo meno numeroso. Si noti in particolare la diminuzione delle prestazioni dei soggetti all'approssimarsi delle tre unità («piccole numerosità») e la ripresa delle stesse nei confronti tra quantità maggiori di 3 purchè aventi un rapporto di  $\frac{1}{2}$ .

### 3.3 Esperimento 3: Controllo delle variabili continue

Col termine «variabili continue» si intendono quelle variabili non numeriche, relative alle caratteristiche degli stimoli utilizzati, che purtuttavia possono influenzare la discriminazione numerica. Alcune di esse sono: il volume, la densità, il perimetro e la quantità di moto degli stimoli. Dato che dette variabili continue aumentano nei loro valori di pari passo con l'incremento della numerosità degli oggetti, può risultare difficile capire se una discriminazione numerica volta a massimizzare il guadagno energetico si basi su queste o sul numero degli elementi presenti.

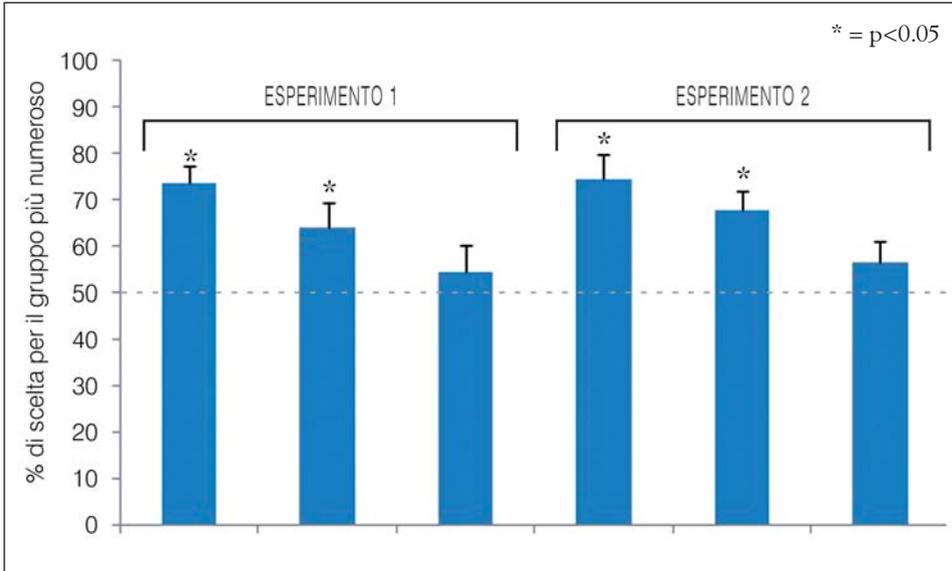


Fig. 3 - Percentuali di scelta per il gruppo di stimoli più numeroso per ciascuno dei sei confronti analizzati.

Un controllo sulle variabili continue è stato quindi messo in atto con lo scopo di evidenziare la reale natura delle discriminazioni osservate negli esperimenti precedenti, ovvero definire quale delle proprietà degli stimoli (compreso il loro numero) sia alla base della discriminazione stessa. In particolare, la possibilità che i soggetti riescano a codificare l'informazione numerica può emergere solo dopo aver escluso l'utilizzo delle altre variabili.

### 3.3.1 Controllo della densità (2 vs. 3)

Gli esperimenti precedenti sono stati condotti in condizioni di controllo dello spazio occupato dai due gruppi, e ciò al fine di fornire ai soggetti un'egualmente ampia stimolazione retinica tra i due gruppi presentati; in questo modo, tuttavia, la densità degli stimoli variava tra gli stessi gruppi, essendo maggiore in quello contenente più elementi. Al fine di porre sotto controllo quest'ultima variabile, e dunque escludere che la scelta dei soggetti si basasse su di essa anziché sulla proprietà numerica degli stimoli, è stato condotto un esperimento che vedeva lo spazio occupato dagli stimoli, ma non la loro densità, variare tra i due gruppi, contenenti rispettivamente 2 e 3 elementi (Fig. 4).

Le analisi statistiche evidenziano la presenza di una scelta significativa per il gruppo più numeroso (Media (n=7)= 57.142; Errore standard= 2.459; t(6)= 2.904;



Fig. 4 - Disposizione degli stimoli nell'esperimento 3 - controllo della densità.

$p=0.0272$ ). La scelta di *Bombina orientalis* non sembra pertanto essere influenzata dalla variabile relativa alla densità degli stimoli.

### 3.3.2 Controllo del movimento (1 vs. 2)

Dati presenti in letteratura (vedi ad esempio INGE, 1971) indicano che il movimento degli oggetti rappresenta la principale proprietà visiva degli stimoli che guida la risposta di predazione negli anfibii anuri. Scopo di questo esperimento è stato (a) verificare se il movimento, più nello specifico, guida anche la discriminazione numerica in un contesto predatorio oltre ad attivare la risposta predatoria stessa (b) proporre un primo tentativo di bilanciamento tra i due gruppi della variabile relativa al movimento. Come primo passaggio abbiamo dunque proposto ai soggetti un compito di discriminazione tra due gruppi di larve (confronto 1 vs. 2), nel più numeroso dei quali una delle due larve era morta e dunque immobile.

Le analisi statistiche mostrano la completa assenza, da parte dei soggetti, di una preferenza per uno dei due gruppi (Media ( $n=7$ )= 52.380; Errore standard= 4.467;  $t(6)=0.533$ ;  $p=0.6132$ ). *Bombina orientalis* quindi, in presenza di uno stimolo immobile nel gruppo più numeroso, non risulta più in grado di discriminare le due quantità nemmeno nel confronto più semplice (1 vs. 2); il movimento si dimostra quindi una proprietà visiva indispensabile nel riconoscimento di un oggetto come preda.

### 3.3.3 Controllo del volume e del movimento (1 vs. 2)

I risultati ottenuti nel precedente esperimento ci hanno spinto alla progettazione di una procedura sperimentale che consentisse un controllo contemporaneo di movimento e volume degli stimoli nel contesto del confronto 1 vs. 2. Posto infatti che il movimento è una proprietà degli stimoli imprescindibile affinché essi vengano riconosciuti come prede, ci chiediamo se la scelta per il gruppo più numeroso osservato negli esperimenti delle sezioni precedenti si fosse basata su una valutazione della quantità complessiva di movimento, oppure su una valutazione della quantità complessiva del volume, risultando entrambi diversi tra i due gruppi.

Le larve del gruppo composto da due stimoli erano seminascolte da tre partizioni di colore bianco disposte come in Fig. 5. In particolare, essendo le larve fissate a terra, solamente metà del corpo di quelle del gruppo più numeroso era visibile dalla prospettiva del soggetto; la larva singola dal lato opposto era invece

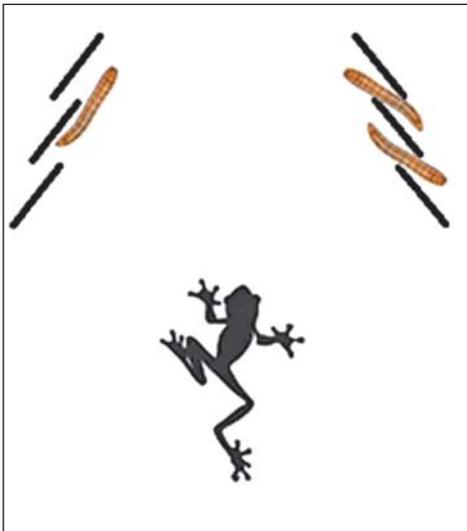


Fig. 5 - Disposizione degli stimoli e apparato utilizzato nell'esperimento 3 - controllo del volume e del movimento.

sempre completamente visibile. Si noti in particolare come le due porzioni di larva visibili nel gruppo da 2 larve vadano a comporre esattamente una larva intera.

L'analisi statistica mostra come i soggetti abbiano conservato una preferenza significativa per il gruppo più numeroso (Media (n=7)= 71.428; Errore standard= 4.979;  $t(6)= 4.303$ ;  $p= 0.0051$ ).

Poiché il controllo contemporaneo di volume e movimento non ha sortito effetti sulle prestazioni di discriminazione dei soggetti, possiamo escludere che

volume e quantità di movimento degli stimoli giochino un ruolo chiave nella discriminazione di quantità.

#### 4. DISCUSSIONE E CONCLUSIONE

La serie di esperimenti qui proposti ha avuto tre principali scopi: (a) determinare se una specie di anfibio anuro è in grado di realizzare delle discriminazioni numeriche; (b) individuare il limite di tali discriminazioni e confrontarlo con le prestazioni ottenute in specie diverse (compresa quella umana); (c) verificare se le prestazioni eventualmente osservate si basavano su una valutazione della variabile numerica («numero») oppure sulle variabili continue/dimensionali degli stimoli che co-variano col numero stesso.

Secondo i risultati ottenuti in questo studio possiamo stabilire quanto segue.

- a) In generale, *Bombina orientalis* ha dimostrato di essere in grado di discriminare in maniera significativa quantità numeriche diverse in un contesto di scelta alimentare. Tali prestazioni vanno chiaramente interpretate nell'ottica di un tentativo di massimizzazione dell'introito energetico e pertanto risultano profondamente radicate nella biologia della specie.
- b) *Bombina orientalis* presenta un limite nelle prestazioni di discriminazione numerica coerente con quello individuato in altre specie animali non umane (HAUSER *et alii*, 2000; ULLER *et alii*, 2003; VALLORTIGARA *et alii*, 2010 STANCHER *et alii*, 2013) e nella specie umana (FEIGENSON *et alii*, 2002). In particolare, è presente un limite alla discriminazione fissato attorno a 3 elementi, che tuttavia può essere superato aumentando la distanza tra le quantità confrontate (e quindi diminuendone il rapporto), con un margine fissato attorno al valore 0.5. La presenza di simili limiti discriminativi in specie filogeneticamente molto distanti, ed in particolare in un anfibio anuro che ha conservato caratteri ancestrali come *Bombina orientalis*, ci consente di formulare l'ipotesi circa un'origine molto antica delle abilità proto-numeriche nei Vertebrati.
- c) Sulla base dei controlli effettuati sulla densità degli stimoli e su due delle variabili continue maggiormente sospettate di guidare la scelta in ambito alimentare (volume e movimento), possiamo avanzare l'ipotesi che le discriminazioni osservate si siano basate effettivamente sulla variabile numerica. *Bombina orientalis* sembra quindi in grado di codificare le numerosità dell'ambiente circostante e di effettuare delle scelte coerenti basandosi su tali valutazioni.

## BIBLIOGRAFIA

- APOSTOLOU N. & CRUMBLEY D.L., 2008 - The tally stick: the first internal control? *ACFEI News*.
- BOYLE C.B. & MERZBACH U.C., 1991 - A history of mathematics. *Wiley*, NY.
- DAVIS H. & PERUSSE R., 1988 - Numerical competence in animals: definitional issues, current evidence, and new research agenda. *Behavioural and Brain Sciences*, 11: 561-615.
- DEHAENE S., 1997 - The Number Sense. *Oxford University Press*, New York.
- EWERT J.P., AREND B., BECKER V. & BORCHES H.W., 1979 - Invariants in configurational prey selection by *Bufo bufo* (L.). *Brain, Behaviour and Evolution*, 16(1): 38-51.
- FEIGENSON L., CAREY S. & SPELKE E., 2002. Infant's discrimination of number versus continuous extent. *Cognitive Psychology*, 44: 33-66.
- HAUSER M.D., 2000 - Wild minds: what animals really think. *Henry Holt and Company*, New York.
- HAUSER M.D., CAREY S. & HAUSER L., 2000 - Spontaneous number representation in semi-freeranging rhesus monkeys. *Proceedings of Royal Society of London B*, 267: 829-833.
- KAUFMAN E., LORD M., REESE, T. & VOLKMAN, J., 1949 - The discrimination of visual number. *American Journal of Psychology*, 62: 498-525.
- INGLE D., 1968 - Visual releasers of prey-catching behavior in frogs and toads. *Brain, Behaviour and Evolution*, 1: 500-518.
- INGLE D., 1971 - Prey-catching behavior of anurans toward moving and stationary objects. *Vision Research*, 3: 447-456.
- LETTVIN J.H., MATURANA H.R., MCCULLOCH W.S. & PITTS W.H., 1968 - What the frog's eye tells the frog's brain. Reprinted from: «The mind: Biological Approaches to its Functions». *W.C. Corning, M. Balaban*, 233-258.
- REN Z., ZHU B., MA E., WEN J., TU T., CAO Y., HASEGAWA M & ZHONG Y., 2009 - Complete nucleotide sequence and gene arrangement of the mitochondrial genome of crab-eating frog *Fejervarya cancrivora* and evolutionary implications. *Gene*, 441: 148-155.
- RUGANI R., FONTANARI L., SIMONI E., REGOLIN L. & VALLORTIGARA G., 2009 - Arithmetic in newborn chicks. *Proceedings of the Royal Society B*, 276: 2451-2460.
- STANCHER G., POTRICH D., SOVRANO A.V. & VALLORTIGARA G., 2013 - Discrimination of small numerosity by fish (redtail splitfin, *Xenotoca eisenii*). *Animal Cognition*, 16: 307-312.
- STANCHER G., RUGANI R., REGOLIN L., VALLORTIGARA G., 2013 - Numerical discrimination by frogs (*Bombina orientalis*). *Animal Cognition*, Submitted.
- ULLER C., JAEGER R. & GUIDRY G., 2003 - Salamanders (*Plethodon cinereus*) go for more: rudiments of number in an amphibian. *Animal Cognition*, 6: 105-112.

- VALLORTIGARA G., REGOLIN L., CHIANDETTI C. & RUGANI R., 2010 - Rudiments of minds: insights through the chick model on number and space cognition in animals. *Comparative Cognition & Behaviour Reviews*, 5: 78-99.
- WYNN K., 1992 - Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 27: 749-750.

---

Indirizzo degli autori:

Gionata Stancher: Centro Interdipartimentale Mente e Cervello - Università degli Studi di Trento; Fondazione MCR - Museo Civico di Rovereto - Borgo S. Caterina 41, I-38068 Rovereto (TN)

Caterina Quaresmini - Dipartimento di Psicologia e Scienze cognitive - Università degli Studi di Trento; Fondazione MCR - Museo Civico di Rovereto - Borgo S. Caterina 41, I-38068 Rovereto (TN)

---

