

## INDIVIDUAZIONE DI UNA FORMULA EURISTICA PER DETERMINARE IL PERIODO RIPRODUTTIVO DELLA LAMPREDA DI MARE NEL BACINO DEL MAGRA-VARA (SP)

ATTILIO ARILLO<sup>1</sup>, LUCA CIUFFARDI<sup>1\*</sup>, ENRICO MONACI<sup>1</sup>, ANDREA BALDUZZI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi di Genova, Dip.Te.Ris; Corso Europa 26, 16132 Genova

\* Referente per la corrispondenza: luca.ciuffardi@unige.it

### Riassunto

Al fine di ottimizzare l'applicazione di idonee misure di conservazione nei confronti della popolazione di lampreda di mare (*Petromyzon marinus*) del bacino del Magra-Vara, si è resa necessaria l'elaborazione di un'apposita formula euristica capace di determinare il periodo di inizio e fine dei fenomeni riproduttivi della specie. Il presente studio costituisce un'evoluzione di quello illustrato nel 2009 al 70° Congresso Nazionale dell'Unione Zoologica Italiana.

I dati di osservazione delle risalite degli adulti e degli eventi riproduttivi (freghe) raccolti tra il 2006 e il 2009 sono stati raggruppati in undici periodi stagionali, a cui sono stati associati i relativi parametri ecologici come la durata del giorno, la temperatura dell'acqua e il livello idrico. Questo tipo di organizzazione dei dati ha permesso innanzitutto di accertare i valori preferenziali dei parametri ambientali per la riproduzione della lampreda di mare.

L'impiego delle tecniche statistiche dell'Anova, dell'Analisi di Regressione e dell'Analisi Discriminante ha inoltre permesso di valutare le possibili correlazioni fra eventi riproduttivi e parametri ambientali, ed ha portato all'individuazione di una formula euristica capace di pervenire ad una predittività del periodo riproduttivo altamente significativa, con una proporzione di previsioni corrette pari al 97 %.

### Abstract

Reproductive phenology of *Petromyzon marinus* was studied throughout five years in the Vara-Magra basin (La Spezia, NW Italy). Some environmental variables were also investigated. Results show that the reproduction timing of sea lamprey is mainly influenced by photoperiod and by meteorological conditions, while water temperatures are playing a minor role. On the base of our results, we propose an empiric index able to satisfactorily predict the reproduction period of *P. marinus* migrating in this watershed (proportion correct = 0.98 under discriminant analysis). Such an index is helpful for monitoring, management and conservation purposes.

### Introduzione

La lampreda di mare è un pesce anadromo. Il periodo della risalita dei fiumi e della deposizione delle uova è variabile, anche se generalmente si situa fra la tarda primavera e l'inizio dell'estate con possibili modificazioni dovute a particolari eventi meteorologici (Guimarães, 1988; Machado-Cruz et al., 1990; Almeida et al., 2000). Il picco di deposizione avviene a temperatura di circa 17-19° C (Applegate, 1950; Beamish, 1980; Ciuffardi et al., 2007).

La comprensione dei parametri ambientali che scatenano (o fanno terminare) i fenomeni riproduttivi è importante non solo per motivi strettamente scientifici, ma anche per motivi legati alla biologia conservazionistica di questa specie. Una previsione probabilistica dei periodi di frega permette infatti di razionalizzare i campionamenti e di ottimizzare le azioni di monitoraggio che, per le specie di interesse comunitario, sono necessarie al fine di ottemperare alle disposizioni della direttiva 92/43 Ce.

Per tale motivo, nell'ambito di un progetto LIFE plus concernente azioni di conservazione della Lampreda di mare (che in Italia si riproduce solo nel bacino Vara-Magra; cfr. Ciuffardi e Bassani, 2005), è stato condotto uno studio quinquennale relativo al monitoraggio degli eventi riproduttivi di questa specie osservabili nel fiume Vara-Magra e di alcuni parametri ambientali ad essi associati.

### Materiali e metodi

Le rielaborazioni statistiche (Anova, Analisi discriminante, Regressione) sono state effettuate con Minitab 16 Statistical software. Ai fini di queste rielaborazioni, i dati raccolti negli anni 2006, 2007, 2008, 2009 e 2010 sono stati raggruppati in 13 periodi di 10 giorni come sotto specificato:

periodo 1 = 20 marzo- 1 aprile; periodo 2 = 2-10 aprile; periodo 3 = 11-20 aprile; periodo 4 = 21-30 aprile; periodo 5 = 1 aprile-10 maggio; periodo 6 = 11-20 maggio; periodo 7 = 21-30 maggio; periodo 8 = 31 maggio-10 giugno; periodo 9 = 11-20 giugno; periodo 10 = 21-30 giugno; periodo 11 = 1 luglio -10 luglio; periodo 12 = 11 luglio-20 luglio; periodo 13 = 21 luglio-30 luglio.

I dati, riportati nella tabella 1 e nelle figure 1-2, sono espressi come segue:

**1) data** = ultimo giorno del periodo considerato; **2) gruppo** = i periodi sono stati suddivisi in due gruppi a seconda se nel periodo siano state osservate freghe o meno. In particolare i periodi in cui non sono state osservate le freghe sono stati attribuiti al gruppo **a**, quelli durante i quali sono avvenute osservazioni di freghe al gruppo **b**. **3) N° freghe** = numero totale di eventi riproduttivi osservati nel periodo e individuati attraverso le operazioni di costruzione del nido; **4) giorno** = numero di ore (con i minuti espressi in frazioni di ore) fra alba e tramonto rilevate nel giorno di fine periodo; **5) delta** = differenze (in minuti, espressi come frazione di ora) fra la lunghezza del giorno riscontrata nel giorno di fine periodo e la lunghezza del giorno riscontrata 15 giorni prima; **6) T** = temperatura dell'acqua (media del periodo considerato).

### Risultati e discussione

L'esame dell'intera serie di dati (colonna A di tabella 3) suggerisce che gli eventi riproduttivi (gruppo **b**) avvengono di preferenza quando l'acqua raggiunge una temperatura sufficientemente elevata ( $T = 18^{\circ}\text{C}$ ) e quando il fotoperiodo è elevato (giorno = circa 15 ore). Per questi due parametri infatti il test Anova mostra differenze statisticamente significative fra i due gruppi (**b** *versus* **a**). Tale risultato è confermato anche dall'analisi della regressione (freghe *versus* T e freghe *versus* giorno) che risulta essere altamente significativa ( $P < 0.01$  in entrambi i casi).

Tuttavia i parametri "giorno" e "T", a dispetto dell'elevatissima significatività delle differenze, non costituiscono parametri capaci di discriminare con buona predittività il gruppo **a** dal gruppo **b**. Infatti l'analisi discriminante (gruppo *versus* T oppure *versus* giorno) mostra una predittività non soddisfacente e le osservazioni erroneamente classificate sono numerose (*proportion correct* = 0.7 per entrambi i parametri).

Un altro fatto degno di interesse emerge dall'analisi dei dati raccolti all'inizio e alla fine del periodo riproduttivo per i quali si ottengono risultati differenti per i due periodi (colonne B e C di tabella 1).

Tabella 1 – valori (media±deviazione standard) relativi ai parametri T, delta, giorno. In colonna A sono riportati i risultati ottenuti utilizzando i dati raccolti in tutti i 13 periodi esaminati; in colonna B e C sono riportati i risultati ottenuti utilizzando, rispettivamente, i dati raccolti all’inizio (aprile-maggio) e alla fine del periodo riproduttivo (giugno-luglio). I due asterischi indicano differenze altamente significative (P<0.01) al test ANOVA fra il gruppo **a** e quello **b**.

VARIABILE	GRUPPO	A MEDIA±StDev	B MEDIA±StDev	C MEDIA±StDev
T	Gruppo a	14.96±3.6	13.14±1.8	20.06±1.8
	Gruppo b	17.88±2.4**	16.48±1.8**	19.2±2.0
DELTA	Gruppo a	0.33±0.5	0.75±0.08	-0.28±0.1
	Gruppo b	0.30±0.3	0.56±0.02**	0.04±0.2**
GIORNO	Gruppo a	14.12±0.9	13.47±0.6	15.07±0.2
	Gruppo b	15.88±0.5**	14.67±0.6**	15.37±0.1**

All’inizio del periodo riproduttivo (1 aprile-30 maggio, colonna B) il gruppo **a** differisce in maniera statisticamente significativa dal gruppo **b** per tutte le variabili esaminate, risultato questo confortato anche dalle corrispondenti analisi della regressione altamente significative (P<0.01); alla fine del periodo riproduttivo (10 giugno-10 luglio, colonna C) sono rilevabili invece differenze statisticamente significative fra il gruppo **a** ed il gruppo **b** solo per il parametro “delta” ed il parametro “giorno”. Ciò significa che il peso della temperatura sugli eventi riproduttivi, all’inizio ed alla fine del periodo riproduttivo, è differente. Si rileva anche che alla fine del periodo riproduttivo il fotoperiodo resta l’unico parametro in grado di differenziare il gruppo **a** dal gruppo **b**. In pratica i processi riproduttivi si arrestano o diminuiscono fortemente quando le giornate iniziano ad accorciarsi e la durata del giorno, pur mantenendosi su valori alti, diminuisce. I risultati portano a concludere che gli eventi riproduttivi iniziano quando, contemporaneamente, i parametri “giorno” e “T”, superano rispettivamente le 12 ore ed i 10° C. (mese di aprile) e terminano quando il parametro delta diventa negativo (fine giugno);

Va comunque notato che nessun parametro, anche quando analizzato separatamente per il periodo riproduttivo iniziale e per quello finale, è in grado di assicurare buone predittività per la discriminazione del gruppo **a** dal gruppo **b** (*proportion correct* variabile fra 0.5 e 0.8). In altre parole esistono sfasature, talora consistenti, nelle date di inizio e di fine delle freghe (fig. 1) che non possono essere spiegate solamente dal fotoperiodo e dalla temperatura. Evidentemente altri parametri, variabili nei vari anni, influiscono sulla fenologia della lampreda di mare. I dati suggeriscono che la distribuzione e l’entità delle precipitazioni (tabella 3) possano assumere un ruolo importante nel determinare alcuni aspetti fenologici di questa specie. In particolare appare evidente che, quando si verificano basse precipitazioni nel periodo primaverile (anno 2007), gli eventi riproduttivi sono anticipati al mese di aprile, mentre con precipitazioni medie o elevate (tutti gli altri anni) le freghe iniziano a maggio. Gli eventi riproduttivi terminano alla fine di giugno, ma precipitazioni intense nel periodo maggio-luglio (anno 2010) spostano questo termine al mese di luglio.

Tabella 2 – Precipitazioni (mm cumulati nei mesi indicati) riscontrate dal 2006 al 2010. Fonte dei dati: ARPAL – Stazione S. Margherita Vara

MESI	2006	2007	2008	2009	2010
Marzo+Aprile	175,6	50	311	302,6	157,8
Aprile+Maggio	61,8	104	338,6	80,4	303

<b>Giugno</b>	9,2	43,4	210	32,2	133,2
<b>Maggio+Giugno+Luglio</b>	64,6	167,6	352,4	80,4	411,8

Queste caratteristiche fenologiche sono da mettersi in relazione a peculiari aspetti anatomici e fisiologici tipici di *Petromyzon marinus*. Per quanto riguarda il fotoperiodo, l'influenza di questo parametro sulla maturazione sessuale, nota per moltissimi taxa, è facilitata nella lampreda dalla presenza di fotorecettori extraoculari quali un complesso pineale particolarmente sviluppato e da una serie di recettori situati nel derma della coda (Young, 1935). La funzione di questi ultimi, pur essendo ancora oggetto di discussione, sembra essenzialmente quella di attivare i movimenti lucifughi tipici di adulti e ammoceti (Binder e McDonald, 2008), mentre il complesso pineale appare più direttamente coinvolto nel determinare i tempi della maturazione sessuale (Joss, 1973).

Per quanto riguarda l'influenza delle precipitazioni nell'anticipare o ritardare il periodo in cui si verificano gli eventi riproduttivi, nonché i picchi nel numero di freghe osservato, occorre evidenziare che la Lampreda di mare è un nuotatore non particolarmente efficace sia per la velocità che per la resistenza allo sforzo. La velocità dipende dalla dimensione dell'animale e dalla temperatura. A titolo di esempio è stato riportato che lamprede di 18 cm a 15°C possono mantenere una velocità di 1 cm/secondo solo per 30 minuti (Beamish, 1974); nei tratti di fiume a corso lento possono arrivare alla velocità massima di 2.5 km/h (Quintella et al., 2009). La distanza giornaliera che percorrono è in ogni caso modesta, anche perché le migrazioni nel fiume avvengono praticamente solo di notte (Andrade et al., 2007; Binder e McDonald, 2008) e perché le lamprede, quando devono superare una corrente contraria di una certa entità, alternano brevi momenti di nuoto con lunghissimi periodi di riposo. Gli animali talora rimangono attaccati al substrato per varie settimane prima di riprendere il movimento (Almeida et al., 2002) e comunque il 43% del tempo impiegato nel superamento di passaggi difficoltosi è passato in riposo, nell'immobilità assoluta con il disco orale aderente al substrato (Quintella et al., 2009). Queste caratteristiche comportamentali possono spiegare agevolmente i motivi per cui le piogge, ed il conseguente rapido aumento della corrente fluviale, possono indurre un ritardo nella fenologia riproduttiva. E' interessante notare che la velocità della corrente rappresenta un fattore importantissimo nel determinare la velocità della migrazione. Infatti la corrente contraria costituisce lo stimolo per attivare il nuoto, per cui se la velocità dell'acqua è troppo bassa, le lamprede procedono molto lentamente; se però la velocità dell'acqua è troppo alta, gli animali restano fermi per lunghi periodi (Almeida et al., 2002; Quintella et al., 2009).

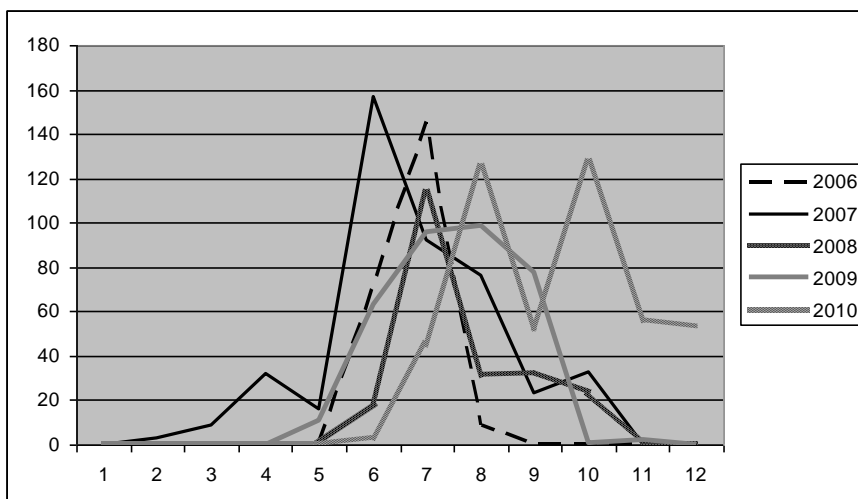


Figura 1 – numero di freghe (asse delle ordinate) in relazione ai 13 periodi stagionali (asse delle ascisse) osservate nei 5 anni studiati

Un attento esame delle osservazioni effettuate nei 5 anni di studio ha permesso di individuare una formula empirica in grado di prevedere la fenologia del periodo riproduttivo delle lamprede di mare presenti nel bacino del fiume Vara-Magra. La formula è la seguente:

$$PFc = (\Delta + G - 12) * 10 * \Delta / |\Delta| * C_1 * C_2 * C_3 * C_4 * C_5$$

in cui:

PFc = indice di predizione freghe corretto con i fattori C sotto indicati

$\Delta$  = valore del parametro delta (espresso in ore);  $|\Delta|$  = valore assoluto di  $\Delta$

G = valore del parametro giorno (con i minuti espressi in frazioni di ore)

$C_1 = 0.4$  per i dati relativi ai periodi 1-2-3-4 (aprile) qualora le precipitazioni cumulate in marzo-aprile siano superiori a 100mm;  $C_1 = 1$  in tutti gli altri casi.  $C_2 = 0.3$  per i periodi 9-10 qualora le precipitazioni del mese di giugno siano inferiori a 10 mm;  $C_2 = 1$  in tutti gli altri casi;  $C_3 = 0.4$  per il periodo 5, qualora le precipitazioni cumulate nei mesi di aprile-maggio siano superiori a 150 mm;  $C_3 = 1$  in tutti gli altri casi;  $C_4 = -0.5$  per i periodi 11-12-13 qualora le precipitazioni cumulate nei mesi di maggio-giugno-luglio siano superiori a 450mm;  $C_4 = 1$  in tutti gli altri casi;  $C_5 = 0.5$  se la temperatura dell'acqua è inferiore a 12° C.  $C_5 = 1$  in tutti gli altri casi

Si fa presente che l'artificio di moltiplicare per ( $\Delta$  diviso il valore assoluto di  $\Delta$ ) ha il significato di fare assumere a PF il segno di  $\Delta$  (se  $\Delta$  fosse zero, tale rapporto si considera convenzionalmente uguale a 1 in modo da consentire comunque il calcolo di PF)

Le analisi statistiche (Anova, Regressione) compiute su questo indice hanno mostrato differenze altamente significative fra il gruppo **a** ed il gruppo **b** ( $P < 0.001$ ). L'analisi discriminante ha infine mostrato che l'indice presenta una capacità predittiva altamente significativa che consente di discriminare il gruppo **a** da quello **b** con una proporzione di previsioni corrette pari a 0.98. In pratica l'indice fallisce in un solo caso, che riguarda l'osservazione compiuta il 3 luglio 2009 e che riveste un significato marginale rispetto al complesso di dati, poiché trattasi di un evento insolito avvenuto in stretta vicinanza al normale termine del periodo riproduttivo (30 giugno).

La figura 2 evidenzia che gli eventi riproduttivi si verificano solo quando l'indice assume un valore  $> 13$ . L'unico caso di predizione errata è indicato con la freccia. Nonostante che l'indice sia stato costruito grazie ad una lunga serie di osservazioni durate 5 anni, non si può ovviamente escludere che in futuro si manifestino eventi meteorologici diversi da quelli esaminati (esempio un forte periodo di siccità). Appare pertanto possibile che l'indice possa subire piccole modifiche se costruito includendo dati ottenuti in anni caratterizzati da eventi climatici insoliti.

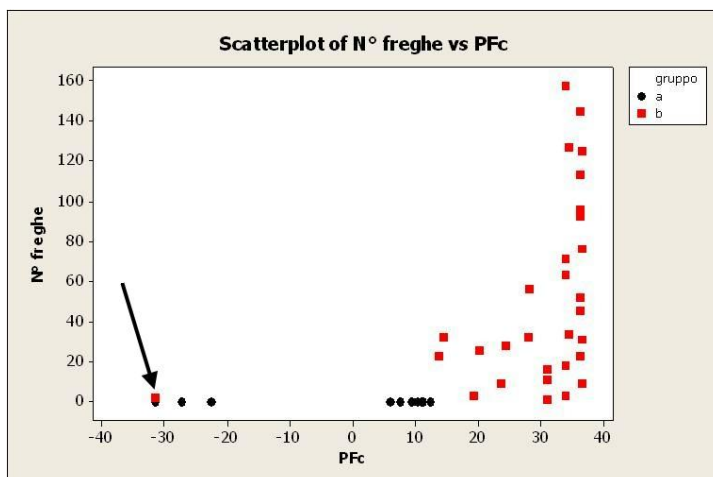


Figura 2 - indice PFC versus n° freghe (i quadrati indicano gli eventi riproduttivi)

## Bibliografia

- Andrade N.O, B. R. Quintella , J. Ferreira , S. Pinela , I. Po´ Voa , S. Pedro , P. R. Almeida (2007) Sea lamprey (*Petromyzon marinus* L.) spawning migration in the Vouga river basin Portugal): poaching impact, preferential resting sites and spawning grounds. *Hydrobiologia* 582:121–132
- Almeida Pr, Quintella Br, Dias N.M. (2002) Movement of radiotagged anadromous sea lamprey during the spawning migration in the River Mondego (Portugal). *Hydrobiologia* 482:1–8
- Almeida, P. R., H. T. Silva, B. Quintella, 2000. The migratory behaviour of the sea lamprey *Petromyzon marinus* L., observed by acoustic telemetry in River Mondego (Portugal). In Moore, A. & I. Russel (eds), *Advances in fish telemetry*. CEFAS: Lowestoft, Suffolk, 99–108
- Applegate, V.C. 1950. Natural history of the sea lamprey, *Petromyzon marinus*, in Michigan. U.S. Fish and Wildlife Service Special Science Report. No. 55. 237 pp.
- Beamish F.W.H (1974) Swimming performance of adult sea lamprey in relation to weight and temperature. *Trans. Am. Fish Soc.* 103:355-358
- Beamish, F.W.H. 1980. Biology of the North American anadromous sea lamprey, *Petromyzon marinus*, *Can. Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.* 37:1924-1943.
- Binder T.R and McDonald D.G. - 2008 - The role of dermal photoreceptors during the sea lamprey (*Petromyzon marinus*) spawning migration. *J. Comp: Physiol.* 194:921-928
- Ciuffardi L., Bassani I., 2005. Segnalazione del successo riproduttivo della Lampreda di mare (*Petromyzon marinus*) in Provincia della Spezia. *Biologia Ambientale*, 19 (2): 15-16.
- Ciuffardi L., Monaci E., Balduzzi A., Mori M., Arillo A., 2007. Stato di conservazione della popolazione di Lampreda di mare nel bacino del Magra-Vara (Provincia della Spezia). *Biologia Ambientale*, 21 (2): 107-112
- Guimarães, M.T. 1988. Medidas para a protecção e fomento da lampreia do mar (*Petromyzon marinus* L.) no rio Mondego. *Actas do Colóquio Luso-Espanhol sobre Ecologia das Bacias Hidrográficas e Recursos Zoológicos*: 195-203.
- Joss J.M.P. (1973a) Pineal-gonad relationships in the lamprey *Lampetra Xuviatilis*. *Gen Comp Endocrinol* 21:118–122
- Kelso J.R.M., Gardner W.M. (2000) Emigration, upstream movement, and habitat use by sterile and fertile sea lampreys in three Lake Superior tributaries. *N Am J Fish Manage* 20:144–153
- Machado-Cruz, J.M., A.C.N. Valente, And P.J.B. Alexandrino. 1990. Contribuição para a caracterização ecológica e económica da pesca de migradores a jusante da barragem de Belver, Rio Tejo. *Actas 1º Congresso do Tejo. Que Tejo, que futuro?:* 189-200.
- Morita Y, Tabata M, Uchida K, Samejima M. (1992) Pineal-dependent locomotor activity of lamprey, *Lampetra japonica*, measured in relation to LD cycle and circadian rhythmicity. *J Comp Physiol A* 171:555–562
- Quintella B.R., I. Pòvoa, P. R. Almeida (2009) Swimming behaviour of upriver migrating sea lamprey assessed by electromyogram telemetry. *J. Appl. Ichthyol.* 25 (2009), 46–54
- Young J.Z. (1935) The photoreceptors of lampreys. II. The function of the pineal complex. *J Exp Biol* 12:254–270