

Influenza dei cambiamenti climatici sulle migrazioni riproduttive di rana agile (*Rana dalmatina*) nel Delta del Po*

STEFANO MAZZOTTI

SARA LEFOSSE

DANIO MISEROCCHI

Museo civico di Storia Naturale di Ferrara, Via Filippo De Pisis 24 - 44121 Ferrara (Italy) - E-mail: s.mazzotti@comune.fe.it

LUCIANO MASSETTI

Istituto di Biometeorologia, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Via Giovanni Caproni 8 - 50145 Firenze (Italy) - E-mail: l.massetti@ibimet.cnr.it

RIASSUNTO

Le variazioni climatiche stagionali sono alla base di una serie di eventi fisiologici che determinano la fenologia degli Anfibi. Con questo lavoro abbiamo esaminato quanto le variabili climatiche influiscano sulla attività riproduttiva e sullo sviluppo larvale di rana agile (*Rana dalmatina*) nel Parco del Delta del Po e quale incidenza potrebbero avere sulla popolazione studiata i cambiamenti climatici. Lo scopo è quello di individuare un modello predittivo di correlazione temperatura-giorno di arrivo degli adulti ai siti riproduttivi e di sviluppo larvale di rana agile in funzione di un monitoraggio a medio-lungo termine delle influenze climatiche sui cicli vitali di questa specie. Le rane agili iniziano a spostarsi alla fine dell'inverno nei giorni con una temperatura media dell'aria superiore ad 8°C, unitamente a condizioni di presenza di precipitazioni e ad una minore escursione termica. L'aumento della temperatura dell'acqua, favorisce a sua volta l'inizio e la durata dello sviluppo larvale. Un effetto diretto dell'innalzamento delle temperature potrebbe essere quindi l'anticipo dell'attività riproduttiva. I modelli climatici mostrano negli ultimi 50 anni un trend di aumento delle temperature e un decremento della piovosità nei mesi in cui la rana agile si riproduce, determinando una minore durata dell'idroperiodo. Ciò potrà rappresentare un fattore critico per la sopravvivenza delle popolazioni di rana agile nel Delta del Po. Se i trend climatici riscontrati nel Delta del Po dovessero essere confermati nei prossimi anni, ci si attende un anticipo del periodo riproduttivo della rana agile.

Parole chiave: *Rana dalmatina*, fenologia, riproduzione, cambiamenti climatici, Delta del Po.

ABSTRACT

Climatic changes impact on timing of movement events to pond-breeding by agile frog *Rana dalmatina* in the Po River Delta (Northern Italy).

The seasonal weather changes are the basis of physiological events that determine the phenology of amphibians. With this work we have examined how climate variables affect the reproductive activity and larval development of agile frog (*Rana dalmatina*) in the Park of the Po River Delta and what impact they would have on the population studied climate change. The aim is to identify a predictive model of correlation-temperature day of arrival at the breeding sites of adult and larval development of agile frog in terms of a medium to long-term monitoring of climatic influences on the life cycle of this species.

The agile frogs begin to move to the end of winter days with an average air temperature above 8 ° C, together with the conditions of the presence of precipitation and the lower temperature range. The increase of the water temperature, in turn enhances the beginning and the duration of larval development. A direct effect of rising temperatures could thus be the advance of reproductive activity. Climate models show the last 50 years a trend of rising temperatures and a decrease in rainfall in the months when the agile frog playing, resulting in a shorter duration hydroperiod. This may be a critical factor for the survival of the agile frog populations in the Po River Delta. If climate trends observed in the Po River Delta might be confirmed in the coming years, may be expected in advance of the breeding season of the agile frog.

Key word: *Rana dalmatina*, breeding, phenology, climatic changes, Po River Delta

INTRODUZIONE

Le variazioni climatiche stagionali sono alla base di una serie di eventi fisiologici che determinano la fenologia degli Anfibi. Alle nostre latitudini questi vertebrati eterotermi sono per lo più

inattivi durante i periodi con temperature estreme come quelli invernali ed estivi e iniziano l'attività riproduttiva dopo l'aumento delle temperature alla fine dell'inverno. Anche lo sviluppo embrionale e larvale è legato in buona parte all'andamento delle temperature (ULTSCH & BRADFORD, 1999). Le variabili climati-

* Studio finanziato nell'ambito del Progetto Climaparks, Programma per la cooperazione transfrontaliera Italia/Slovenia 2007-2013.

che possono incidere sugli habitat riproduttivi degli Anfibi quali ad esempio stagni e laghetti, la cui esistenza è strettamente connessa alla piovosità e alle temperature. Ciò rende questi habitat particolarmente sensibili ai cambiamenti climatici in corso con forti ripercussioni sui cicli vitali degli Anfibi. Secondo BLAUSTEIN *et al.* (2010) gli effetti dei mutamenti climatici possono incidere in modo diretto ed indiretto su questi Vertebrati, per esempio modificando i ritmi di attività stagionali, riducendo la disponibilità trofiche o rendendoli più vulnerabili alle malattie. I cambiamenti climatici in atto che stanno interessando anche l'Italia, unitamente alle alterazioni degli habitat e all'introduzione di specie alloctone, sono responsabili della crisi delle popolazioni di Anfibi in Europa e in Italia (CRUCITI, 2012). Sul totale delle specie batracologiche italiane almeno quattordici sono ritenute in una situazione di rischio, fra le minacce che rendono vulnerabili le popolazioni di questi Anfibi risulta esservi sempre una causa climatica (D'AMEN *et al.*, 2009).

Con questo lavoro abbiamo esaminato, sulla base dei dati meteorologici a nostra disposizione (MASSETTI & MAZZOTTI, 2013 in questo volume), quanto le variabili climatiche influiscano sulla fenologia della popolazione di rana agile (*Rana dalmatina*) nel Parco del Delta del Po, in particolare sulla sua attività riproduttiva e sullo sviluppo larvale, e quale incidenza potrebbero avere sulla popolazione studiata i cambiamenti climatici. La specie oggetto dell'indagine è stata scelta in quanto è tra le prime a riprodursi, infatti, la migrazione degli adulti nei siti riproduttivi inizia tra febbraio e marzo (LANZA *et al.*, 2007). Come diverse specie di Anuri (OSEN & WASSERSUG, 2002; TIMM *et al.*, 2007), presenta una elevata sensibilità alle condizioni climatiche. Gli adulti, soprattutto i maschi, sono fedeli al corpo idrico in cui sono nati e in questo sito continuano a riprodursi nel corso degli anni (HACHTEL *et al.*, 2003). Durante le migrazioni riproduttive possono coprire anche oltre un chilometro di distanza per raggiungere il sito di accoppiamento e deposizione delle uova (LANZA *et al.*, 2007). La strategia riproduttiva di questa specie è definibile come monomodale esplosiva (ANDREONE, 1992), caratterizzata da periodi di accoppiamento e deposizione delle uova compresi tra pochi giorni a qualche settimana (DUELLMAN & TRUEB, 1986; WELLS, 1977). Lo sviluppo dei girini si completa dopo circa due-tre mesi dalla deposizione. La maturità sessuale è raggiunta al terzo anno di età e gli adulti vivono mediamente 5-6 anni (LANZA *et al.*, 2007). La rana agile, essendo di abitudini per lo più terrestri e legata alla presenza del bosco, ha subito notevolmente le alterazioni antropiche degli habitat della Pianura Padana dove ormai è localizzata nelle aree boschive relitte. Questa specie è inserita nell'allegato II della Convenzione di Berna e nell'allegato D della Direttiva Habitat. Lo scopo di questo lavoro è quello di individuare un modello predittivo di correlazione temperatura-giorno di arrivo degli adulti ai siti riproduttivi e di sviluppo larvale di rana agile in funzione di un monitoraggio a medio-lungo termine delle influenze climatiche sui cicli vitali di questa specie.

MATERIALI E METODI

Per lo studio delle comunità degli Anfibi del Parco del Delta del Po sono stati individuati due siti di campionamento: il Bo-

sco della Mesola, nella provincia di Ferrara, e a circa 60 Km più a sud, la Pineta di Classe in provincia di Ravenna. I due siti sono caratterizzati da boschi retrodunali costituiti da alternanza di specie vegetali igrofile e xerofile che presentano una ricca batracocenosi (MAZZOTTI *et al.*, 2007). All'interno dei due siti si è individuato uno stagno nel quale si sono effettuate le osservazioni e i campionamenti sulle attività riproduttive di rana agile. Nello stagno di Bosco Mesola dal 2010 è segnalata la presenza del crostaceo alloctono *Procambarus clarkii*. Per i monitoraggi si sono seguiti protocolli proposti da HEYER *et al.* (1994). Per il monitoraggio dell'inizio dell'attività riproduttiva nei due laghetti abbiamo compiuto osservazioni dirette utilizzando retini e guadini con maglie di 0,5 cm per campionamento di adulti e di girini, operando l'ascolto dei canti riproduttivi subacquei dei maschi mediante idrofoni Aquarian Audio (AQ-15 e H12-15) ed effettuando conteggi delle ovature deposte. Sono stati confrontati i monitoraggi effettuati durante il programma Climaparks (2011-2012) con la banca dati relativa alla popolazione di rana agile di Bosco Mesola implementata attraverso campionamenti effettuati dal 2001 al 2010 secondo identici protocolli (MAZZOTTI *et al.*, 2007). Ciò ha permesso di calcolare il rapporto maschi/femmine e stimare la dimensione della popolazione riproduttiva. Quando non sono stati intercettati direttamente gli adulti in migrazione riproduttiva, si è effettuato il conteggio delle ovature deposte. Considerando che a ciascuna ovatura corrisponde una femmina, ad ognuna di esse abbiamo computato 1,5 maschi. Al Bosco della Mesola i campionamenti si sono svolti anche mediante l'istallazione di dispositivi con barriere e trappole a caduta (CORN, 2005; HEYER *et al.*, 1994). Si è operato con una recinzione completa del laghetto con barriere di polipropilene dell'altezza di circa 60 cm, sorretti da paletti di legno e interrati al suolo, posti a circa 1,5 m di distanza dall'acqua. A contatto della barriera sono state collocate trappole a caduta, di cui la metà poste all'esterno le altre all'interno del recinto, a circa 5 m di distanza le une dalle altre. Queste sono costituite da coni in PVC (PANKAKOSKI, 1979) di 36 cm di altezza e di 12 cm di diametro massimo, inserite nel terreno sino all'orlo. Le trappole e le barriere sono rimaste attive dal 21 febbraio al 10 marzo 2012; le trappole sono state controllate almeno una volta al giorno e gli esemplari rinvenuti sono stati misurati (lunghezza apice del muso-cloaca, SVL), pesati e rilasciati all'interno della barriera per consentire l'accesso all'acqua.

Ad ogni campionamento sono stati associati i dati delle temperature giornaliere dell'aria; a Bosco Mesola questi sono stati rilevati dalla stazione meteorologica della Provincia di Ferrara e da quella installata durante il monitoraggio Climaparks; a Pineta di Classe si sono utilizzati i dati della Regione Emilia Romagna (Ermes Dexter). Per i dati pregressi valgono le informazioni riportate in MASSETTI & MAZZOTTI (2013, in questo volume). Per misurare le temperature dell'acqua nel sito di Bosco Mesola sono stati utilizzati due dataloggers, nel sito di Pineta di Classe la registrazione delle temperature è stata effettuata durante ciascun giorno di campionamento. Ogni dato meteorologico è riportato al giorno giuliano DOY (Day Of the Year) corrispondente; nel caso di dati associati al conteggio delle ovature abbiamo assunto come DOY di deposizione quello dello spostamento delle femmine. Oltre agli adulti sono stati campiona-

	BM 2011	PC 2011	BM 2012	PC 2012
N. adulti	175	116	86	507
N. femmine	69	46	34	200
N. maschi	106	70	52	307
Tot ovature	69	46	34	200
Peso medio (min-max) maschi (g)			12,11 (6,9-23,4)	
Peso medio(min-max) femmine (g)			25,92 (15,6-32,8)	
SVL media (min-max) maschi (mm)			47,04 (37,1-64,9)	
SVL media (min-max) femmine (mm)			57,52 (53,0-60,8)	
Notti pitfall			17	
Giorni sopralluoghi	20	9	31	25
Minuti idrofono			30	30

Tab. 1. Quadro riassuntivo dei monitoraggi e dei dati raccolti nei due anni di monitoraggio Climaparks (2011 - 2012). BM = Bosco della Mesola; PC = Pineta di Classe; SVL = lunghezza apice muso-cloaca.

ti anche i girini per testare la correlazione tra lo sviluppo larvale e la temperatura dell'acqua. Per l'analisi degli stadi di sviluppo larvale di *Rana dalmatina* è stato preso come riferimento lo studio di CAMBAR & MARROT (1954); pertanto sono stati esaminati gli stadi post embrionali che vanno dallo stadio larvale 39 a quello 54, quando si completa la metamorfosi. Anche le larve sono state misurate (punta del muso-cloaca) e correlate allo stadio di sviluppo corrispondente.

RISULTATI

Nel corso dei due anni di monitoraggio Climaparks (2011-2012) sono state eseguite in totale 115 giornate di campionamento durante le quali sono state censite 349 ovature deposte tra febbraio e marzo nei due siti selezionati (Tab. 1). Attraverso la banca dati dei monitoraggi dei ritmi riproduttivi della rana agile di Bosco Mesola possiamo estrapolare nove anni di osservazioni effettuate dal 2001 al 2012.

Anno	Prima cattura	25% delle catture	Picco delle catture
2001	55	66	68
2002	44	47	102
2003	60	64	78
2004	-	-	-
2005	-	-	-
2006	46	53	97
2007	39	44	52
2008	44	62	73
2009	35	43	63
2010	-	-	-
2011	46	59	86
2012	58	65	87

Tab. 2. Indicatori della fase di riproduzione espressi in giorni giuliani (DOY).

Al fine di caratterizzare l'inizio della fase di riproduzione della specie sono stati utilizzati tre indicatori (Tab. 2) corrispondenti alle date espresse in giorno giuliano (DOY).

Gli indicatori sono stati analizzati per determinare eventuali trend annuali e possibili relazioni con le temperature invernali. Infine è stato applicato un modello di previsione precedentemente definito (MAZZOTTI *et al.*, 2008) alla serie di catture 2001-2012. In questo studio, i giorni precedenti il 25% della catture erano caratterizzati da un aumento progressivo delle temperature. Prendendo a riferimento il 2008 è stata identificata una soglia di circa 8 °C per la temperatura media giornaliera dell'inverno che può essere considerata come valore di predizione dell'inizio della stagione riproduttiva. Il modello sviluppato ha previsto la data corrispondente al 25 % delle catture secondo la seguente formula: $DOY_{25\%} = DOY > 8^{\circ}C + 3$. Nessun trend annuale significativo è stato rilevato per i tre indicatori analizzati.

La temperatura media del mese di febbraio causa un significativo anticipo della data di prima cattura (-4,5 giorni per +1 °C, $p=0,013$). La data di picco delle catture ha mostrato una forte dipendenza dall'andamento delle temperature medie invernali, tanto che un aumento della temperatura media di 1°C per tutta la stagione comporterebbe un anticipo di quasi 13 giorni ($p=0.003$) (Tab. 3).

Il trend delle temperature invernali registrato a Bosco Mesola potrebbe giocare un ruolo importante. Secondo questi risultati, l'assenza di un trend annuale significativo nella serie storica delle catture corrisponde all'assenza di un trend nelle temperature medie invernali di Bosco Mesola. Dobbiamo tuttavia considera-

	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Inverno
Prima cattura	1,8	-1,0	-4,5*	-2,3
25 % delle catture	0,8	0,8	-3,9	-1,7
Picco delle catture	-6,7*	-7,8**	-4,1	-12,8**

Tab. 3. Regressione lineare tra date di cattura (2004 solo data inizio e 2010 solo data di picco) e temperatura (medie mensili e invernali). Il trend è espresso in giorni giuliani GG/°C e la significatività: * $p<0,05$ e ** $p<0,01$).

Anno	DOY _o	DOY _s	N _e
2001	66	68	2
2002	47	41	6
2003	64	65	1
2006	53	54	1
2007	44	44	0
2008*	62	62	0
2009	43	39	4
2011	59	52	7
2012	65	58	7

Tab. 4. Date osservate (DOY_o) e previste dal modello (DOY_s) ed errore espresso in numero di giorni (N_e) corrispondenti al 25% delle catture. * = anno di calibrazione del modello.

	rho	p-value
T max	0,3877	0,1534
T med	0,2486	0,3717
T min	0,3301	0,2295
Umidità	0,6333	0,0113*

Tab. 5. Incidenza delle variabili climatiche sulle catture del 2012. La relazione è stata testata attraverso la correlazione per ranghi di Spearman. Applicando il metodo di Bonferroni la significatività è per $p < 0,0125$.

re che le temperature medie invernali di questo sito sono pressoché invariate per l'effetto contrapposto della diminuzione delle massime e di aumento delle minime (MASSETTI & MAZZOTTI, 2013, in questo volume). Sarà pertanto importante verificare nel futuro se questi due effetti contrastanti continueranno a bilanciarsi oppure uno dei due prevarrà sull'altro con conseguenze significative sui ritmi riproduttivi della popolazione di rana agile di Bosco Mesola.

Lo scarto quadratico medio tra le date con il 25 % di catture osservate (DOY_o) e previste (DOY_s) dal modello calibrato con i valori del 2008 (MAZZOTTI *et al.*, 2008) e applicato ai dati disponibili nel periodo 2001-2012 è risultato essere di 4,4 giorni (Tab. 4).

È stata testata per Bosco Mesola la correlazione tra variabili climatiche e frequenze degli esemplari intercettati durante la migrazione riproduttiva del 2012. Il test di Spearman evidenzia

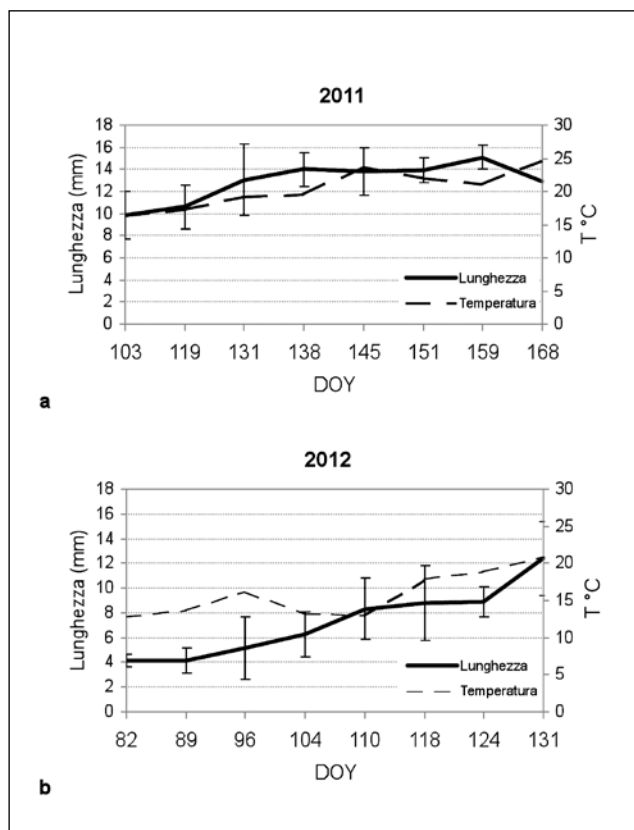


Fig. 1. Lunghezza media apice muso-cloaca con deviazione standard (barre) delle larve di rana agile, temperatura dell'acqua e giorni giuliani (DOY) nel 2011 (a) e nel 2012 (b) campionati nel sito di Bosco Mesola.

una significatività solo per l'umidità (Tab. 5). La consistenza del numero di animali intercettati mostra una correlazione significativa anche con la piovosità dell'anno precedente. Il test di correlazione per ranghi di Spearman calcolato sui dati disponibili nella banca dati dal 2006 al 2012 ($\rho = 0,9747$; $p\text{-value} = 0,0048$) presenta correlazione ($\rho > 0,95$) e significatività statistica ($p < 0,05$) elevate.

Nei siti di Bosco della Mesola e di Pineta di Classe nei due anni di monitoraggio Climaparks sono stati effettuati un totale di 30 campionamenti dove sono state raccolte 361 larve di rana agile (Tab. 6).

A Pineta di Classe, nei due anni di monitoraggio Climaparks il DOY che è risultato con il maggior numero di stadi è il 124; i primi metamorfosati compaiono rispettivamente al DOY 165

	BM 2011	PC 2011	BM 2012	PC 2012
Periodo campionamento	13/04-17/06	23/05-14/06	22/03-10/05	29/03-07/06
N. campionamenti	8	3	8	11
N. larve	76	21	101	163
N. tot. stadi di sviluppo determinati	13	12	15	15
DOY comparsa metamorfosati	168	165	n.r.	159

Tab. 6. Campionamenti delle larve di rana agile effettuati nei due anni di progetto Climaparks. DOY = Day Of the Year; BM = Bosco Mesola; PC = Pineta di Classe.

e 159. A Bosco Mesola invece il DOY con il maggior numero di stadi di sviluppo è risultato il 132 e la metamorfosi è sopraggiunta al DOY 168 (Tab. 6; Fig. 1 a); nel 2012 il monitoraggio dello sviluppo larvale si è interrotto al DOY 131 non raggiungendo lo stadio di metamorfosi (Fig. 1 b). Nell'insieme dei campionamenti lo sviluppo larvale ha impiegato una media di 45,3 giorni per il raggiungimento della metamorfosi.

La metamorfosi avviene solitamente con un trend di temperatura fra i 20 e i 25 °C, a Bosco Mesola nel 2011 la comparsa del primo metamorfosato è avvenuta con una temperatura media dell'acqua del giorno precedente di 24,9 °C (Fig. 2 a). Nel 2012 il ciclo di sviluppo larvale di rana agile non si è completato, infatti durante il periodo di sviluppo larvale si è verificata una sensibile moria di girini causata probabilmente dall'azione combinata di prosciugamento del laghetto con conseguente possibile alterazione delle caratteristiche chimiche dell'acqua rimasta, e predazione da parte del gambero alloctono *Procambarus clarkii*. Come si può osservare dalla figura 3 b, dove sono riportati anche gli ultimi stadi embrionali (28-33), l'ultimo stadio larvale rilevato è il 47. I girini pertanto non hanno raggiunto la metamorfosi (stadio 54) come invece si è verificato nell'anno precedente (Fig. 2 a). Osservando lo sviluppo larvale di rana agile a Bosco Mesola si evidenzia l'aumento delle di-

mensioni dei girini con l'avanzamento degli stadi di sviluppo. La crescita degli esemplari è piuttosto rapida durante le prime fasi di sviluppo che si susseguono con cambiamenti significativi nel corso di qualche giorno (Fig. 2 a, b).

DISCUSSIONE

Le prime catture e il picco di catture effettuate per ogni anno nei due siti di monitoraggio Climaparks risultano significativamente correlate alle temperature. Le rane agili iniziano a spostarsi alla fine dell'inverno nei giorni con una temperatura media dell'aria superiore ad 8 °C, unitamente a condizioni di presenza di precipitazioni e ad una minore escursione termica. L'aumento della temperatura dell'acqua, favorisce a sua volta l'inizio e la durata dello sviluppo larvale. Un effetto diretto dell'innalzamento delle temperature potrebbe essere quindi l'anticipo dell'attività riproduttiva, fenomeno già segnalato per diverse specie di anfibii (FORCHHAMMER *et al.*, 1988; GIBBS & BREISCH, 2001; READING, 1998; TERHIVUO, 1988; TRYJANOWSKI *et al.*, 2003). La serie di dati relativi alla fenologia della rana agile in nostro possesso, pur essendo ancora troppo breve per poter rilevare anticipazioni significative del periodo riproduttivo, può rappresentare un buon protocollo di lavoro per monitoraggi a medio-lungo termine. Infatti, sebbene le variabilità da noi registrate possano essere interpretate come variazioni stagionali episodiche (BEEBEE, 1995), sappiamo che cambiamenti climatici delle precipitazioni e delle temperature incidono sulla fisiologia (ad es. bilanciamento tra acqua persa per traspirazione e acquisita per osmosi), il comportamento (durata del periodo d'ibernazione) e l'ecologia di questi anfibii (BLAUSTEIN *et al.*, 2001). I risultati del nostro monitoraggio sembrano confermare gli effetti sopra descritti.

A Bosco Mesola il basso numero di esemplari riproduttivi registrato nel 2012 rispetto all'anno precedente è probabilmente da mettere in relazione alla ridotta piovosità di quell'anno precedente e le scarse precipitazioni durante il periodo riproduttivo, come evidenziato dalla significatività delle relazioni migrazioni degli esemplari e umidità, numero di deposizioni e piovosità osservate in questo studio. Nella Pineta di Classe diverse condizioni meteorologiche locali (forte nevicata con copertura persistente del suolo per diversi giorni) che hanno mantenuto volumi d'acqua idonei in tutto il periodo di riproduzione, hanno determinato un buon successo riproduttivo di questa popolazione anche nel 2012. Ciò confermerebbe fenomeni analoghi dove si sono riscontrate interruzioni nella migrazione riproduttiva (CAPOZUCCA & FOCHETTI, 2003). L'influenza dell'umidità dell'aria sulle migrazioni riproduttive e delle deposizioni nel 2012. Inoltre una variazione del numero di esemplari riproduttivi nei diversi anni è stata riscontrata in altre popolazioni di rana agile e viene ricondotto a fluttuazioni della popolazione legate alla mortalità (HATCHER *et al.*, 2003). Una primavera secca o inverni più miti possono aumentare la mortalità delle femmine o diminuire le capacità riproduttive (READING, 2007), per esaurimento delle sostanze di riserva; l'aumento delle prede terrestri si potrebbe tradur-

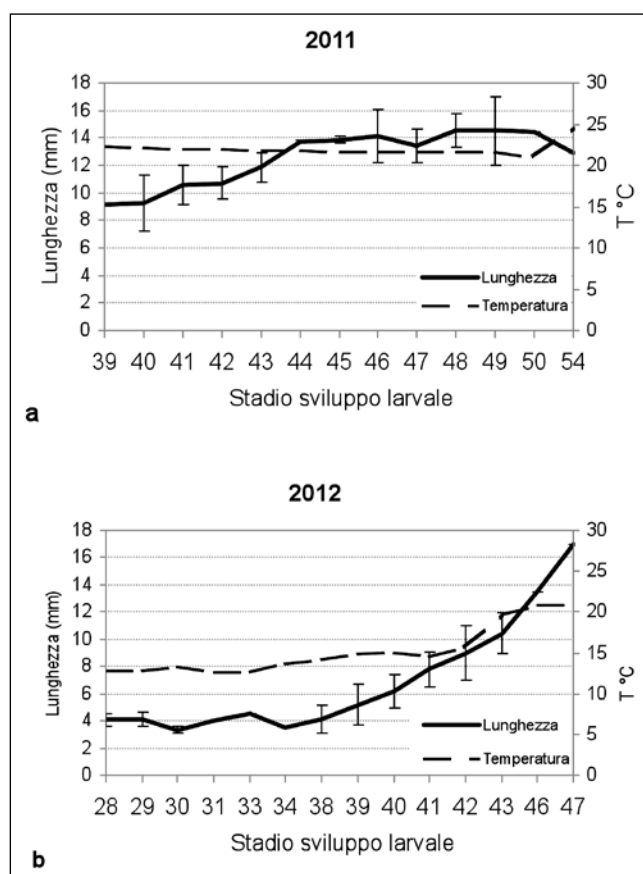


Fig. 2. Lunghezza media apice muso-cloaca con deviazione standard (barre) e stadio di sviluppo delle larve di rana agile, temperatura dell'acqua nel 2011 (a) e nel 2012 (b) campionati nel sito di Bosco Mesola. In b sono riportati gli ultimi stadi embrionali (28-33) e l'ultimo stadio larvale rilevato (47).

re direttamente come un aumento del successo riproduttivo (BLAUSTEIN *et al.*, 2010). Sebbene HARTEL (2008) nel suo caso studio non abbia trovato una corrispondenza diretta tra piovosità dell'anno precedente e numero di deposizioni in rana agile attribuendo un ruolo mitigatore all'ambiente forestale, nel caso del Bosco della Mesola le caratteristiche termofile e il sottobosco con scarsa vegetazione potrebbero aver limitato tale effetto mitigante della copertura arborea e reso determinate il fattore precipitazioni per il successo riproduttivo di quegli anni.

Le temperature e la piovosità possono influire direttamente anche sulla sopravvivenza dei girini come abbiamo potuto constatare a Bosco Mesola nel 2012 dove un disseccamento anticipato dello stagno non ha permesso il completamento dello sviluppo larvale e il raggiungimento della metamorfosi. Le cause che concorrono allo sviluppo larvale sono molteplici, tra cui variazioni stagionali del chimismo e dell'elettroconduttività dell'acqua, predazione, risorse disponibili, competizione intraspecifica e interspecifica (ALFORD *et al.*, 1988, LAURILA & KUJASALO, 1999, ULTSCH & BRADFORD, 1999, DUELLMAN & TRUEB, 1986). La temperatura dell'acqua è però riconosciuta come determinante per la velocità dello sviluppo larvale (ÁLVAREZ & NICIEZA, 2002; LOMAN, 1999; LOMAN, 2002; MORAND *et al.*, 1997; PAKKASMAA & LAURILA, 2004; SMITH-GILL & Berven., 1979). L'aumento della temperatura accelera lo sviluppo larvale diminuendo la taglia degli esemplari alla metamorfosi (ULTSCH & BRADFORD, 1999) e probabilmente anche degli adulti (BLAUSTEIN *et al.*, 2010).

Se i trend climatici riscontrati nel Delta del Po (MASSETTI & MAZZOTTI, 2013, in questo volume) dovessero essere confermati nei prossimi anni, ci si potrà attendere un anticipo del periodo riproduttivo della rana agile. La fenologia riproduttiva di questa specie è correlabile alle temperature ed alla piovosità così come lo sviluppo larvale che risente anche dell'idroperiodo degli stagni. I modelli climatici a cui abbiamo fatto riferimento mostrano negli ultimi 50 anni un trend di aumento delle temperature e un decremento della piovosità nei mesi in cui la rana agile si riproduce, determinando una minore durata dell'idroperiodo. Ciò potrà rappresentare un fattore critico per la sopravvivenza delle popolazioni di rana agile nel Delta del Po. Questi fattori potranno in qualche misura essere mitigati dalla presenza di superfici boschive ma sarà necessario salvaguardare nel loro insieme gli ecosistemi oggi minacciati da diversi fattori quali la salinizzazione delle falde acquifere e la diffusione di specie alloctone.

BIBLIOGRAFIA

- ANDREONE F., 1992 - Valutazione e categorizzazione dello status della batracofauna (Amphibia) in Piemonte e Valle d'Aosta. *Quaderni Civica Stazione Idrobiologica*, 19: 27-40.
- ALFORD R.A., REID N. & HARRIS R.N., 1988 - Effects of larval growth history on anuran metamorphosis. *The American Naturalist*, 131 (1): 91-100.
- ÁLVAREZ D. & NICIEZA G., 2002 - Effects of temperature and food quality on anuran larval growth and metamorphosis. *Functional Ecology*, 16: 640-648.
- BEEBEE T.J., 1995 - Amphibian breeding and climate. *Nature*, 374: 219-220.
- BLAUSTEIN A.R., BELDEN L.K., OLSON D.H., GREEN D.M., ROOT TERRY L. & KIESECKER J.M., 2001 - Amphibian breeding and Climate Change. *Conservation Biology*, 15.6: 1804-1809.
- BLAUSTEIN A.R., WALLS S.C., BANCROFT B.A., LAWLER J.J., SEARLE C.L. & GERVASI S.S., 2010 - Direct and indirect effects of climate change on amphibian populations. *Diversity*, 2: 281-313.
- CAMBAR R. & MARROT B., 1954 - Table chronologique du développement de la grenouille agile (*Rana dalmatina* Bon.). *Bulletin Biologique Française Belgique*, 88:168-177.
- CAPOZUCCA F. & FOCHETTI R., 2003 - Aspetti della biologia riproduttiva di *Rana dalmatina* (Bonaparte, 1840) in una zona umida protetta del Lazio. *Annali Museo Civico di Storia naturale di Ferrara*, 6: 55-60.
- CORN P.S., 2005 - Climate change and amphibians. *Animal Biodiversity and Conservation*, 28 (1): 59-67.
- CRUCITTI P., 2012 - A review of phenological patterns of Amphibians and Reptiles in central mediterranean ecoregion, phenology and climate change. Xiaoyang Zhan (Ed.), Available from: <http://www.intechopen.com/books/phenology-and-climate-change/a-review-of-phenological-patterns-of-amphibians-and-reptiles-in-central-mediterranean-ecoregion>.
- D'AMEN M. & BOMBI P., 2009 - Global warming and biodiversity: Evidence of climate-linked amphibian declines in Italy. *Biological Conservation*, 142: 3060-3067.
- DUELLMAN W.E. & TRUEB L., 1986 - *Biology of Amphibians*. Johns Hopkins University Press, Baltimore and London: 670 pp.
- FORCHHAMMER M.C., POST E. & STENSETH N.C., 1998 - Breeding phenology and climate. *Nature*, 391: 29-30.
- GIBBS J. P. & BREISCH A. R., 2001 - Climate warming and calling phenology of frogs near Ithaca, New York, 1900-1999. *Conservation Biology*, 15 (4): 1175-1178.
- HACHTEL M., ORTMANN D., KUPFER A., SANDER U., SCHMIDT P. & WEDDELING K., 2003 - Return rates and long-term capture history of Amphibians in an agricultural landscape near Bonn (Germany): 146-149. In: Ananjeva N. & Tsinenko O. (Eds.), *Herpetologia Metropolitana* Proceedings of the 12th Ordinary General Meeting of the Societas Europaea Herpetologica 12-16 August 2003 Saint-Petersburg, Russia.
- HARTEL T., 2008 - Weather conditions, breeding date and population fluctuation in *Rana dalmatina* from central Romania *Herpetological Journal*, 18: 40-45.
- HEYER W. R., DONNELLY M. A., MCDIARMID R. W., HAYEK L.-A. C. & FOSTER M. S. (Eds.), 1994 - *Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Methods for Amphibians*. Smithsonian Institution Press, Washington and London: 364 pp.
- LANZA B., ANDREONE F., BOLOGNA M. A., CORTI C., RAZZETTI E., 2007 - *Fauna d'Italia. Amphibia*. Edizioni Calderini, Bologna.
- LAURILA A. & KUJASALO J., 1999 - Habitat duration, predation risk and phenotypic plasticity in common frog (*Rana temporaria*) tadpoles. *Journal of Animal Ecology*, 68: 1123-1132.
- LOMAN J., 1999 - Early metamorphosis in common frog *Rana temporaria* tadpoles at risk of drying: an experimental demonstration. *Amphibia-Reptilia*, 20: 421-430.
- LOMAN J., 2002 - Temperature, genetic and hydroperiod effects on metamorphosis of brown frogs *Rana arvalis* and *R. temporaria* in the field. *Journal of Zoology*, 258: 115-129.
- MASSETTI L. & MAZZOTTI S., 2013 - Clima, mutamenti climatici ed effetti sulle biocenosi. Il Progetto Climaparks. *Quaderni del Museo civico di Storia Naturale di Ferrara*, 1: 81-89.
- MAZZOTTI S., MANTOVANI S., PENAZZI R., CAVALIERI D'ORO A., GENTILE V., ROSSINI M., LIZZIO L., RIZZATI E., FRASSON F., MINGOZZI V. & NOFERINI A., 2007 - Le comunità degli Anfibi del Parco del Delta del Po. In: Mazzotti S. (Eds.). *Herp-Help. Status e strategie di conservazione degli Anfibi e dei Rettili del*

- Parco Regionale del Delta del Po. *Quaderni del Museo civico di Storia Naturale di Ferrara*, 17: 49-58.
- MAZZOTTI S., MASSETTI L. & MARUZZI P., 2008 - Timing and thermal relation of movement events to pond- breeding by *Rana dalmatina* in the Po River Delta (Northern Italy). In: Corti C. (Ed.) - *Herpetologia Sardiniae. Societas Herpetologica Italica / Edizioni Belvedere, Latina, "Le Scienze" (8)*, 504 pp.
- MORAND A., JOLY P. & GROLET O., 1997 - Phenotypic variation in metamorphosis in five anuran species along a gradient of stream influence. *Comptes rendus de l'Académie des sciences, Science de la vie*, 320: 645-652.
- OSEEN, K.L. & WASSERSUG R.J., 2002 - Environmental factors influencing calling in sympatric anurans. *Oecologia*, 133:616-625.
- PAKKASMAA S. & LAURILA A., 2004 - Are the effects of kinship modified by environmental conditions in *Rana temporaria* tadpoles? *Annales Zoologici Fennici*, 41: 413-420.
- PANKAKOSKI E., 1979 - The cone trap, a useful tool for index trapping of small mammals. *Annales Zoologici Fennici*, 16: 144-150.
- READING C. J., 1998 - The effect of winter temperatures on the timing of breeding activity in the common toad *Bufo bufo*. *Oecologia*, 117: 469-475.
- READING C. J., 2007 - Linking global warming to amphibian declines through its effects on female body condition and survivorship. *Oecologia*, 151:125-131.
- SMITH-GILL S.J. & BERVEN K.A., 1979 - Predicting amphibian metamorphosis. *The American Naturalist*, 113 (4): 563-585.
- TERHIVUO J., 1988 - Phenology and spawning for the common frog (*Rana temporaria* Linnaeus, 1758) in Finland from 1846 to 1986. *Annales Zoologici Fennici*, 12: 165-175.
- TIMM B.C., MCGARIGAL K. & COMPTON B.W., 2007 - Timing of large movement events of pond-breeding amphibians in Western Massachusetts, USA. *Biological Conservation*, 136: 442-454.
- TRYJANOWSKI P., RYBACKI M. & SPARKS T., 2003 - Changes in the first spawning dates of common frogs and common toads in western Poland in 1978-2002. *Annales Zoologici Fennici*, 40: 459-464.
- ULTSCH G.R. & BRADFORD D.F., 1999 - *Physiology. Coping with the environment*. In: McDiarmid R.W. & Altig R. (Eds.). *Tadpoles: The biology of anuran larvae*. The University of Chicago Press, Chicago and London: 189-214.
- WELLS K.D., 1977 - The social behaviour of anuran amphibians. *Animal Behaviour*, 25: 666-693.

