



Articolo / Article

La salamandra di Aurora, *Salamandrina atra aurorae*: il monitoraggio del vertebrato più raro in Trentino

Antonio Romano^{1,2*}, Luca Roner^{1,2}, Matteo Trenti¹, Aaron Iemma¹, Karol Tabarelli de Fatis¹, Andrea Costa³, Sebastiano Salvidio³, Paolo Pedrini¹

¹ MUSE-Museo delle Scienze, Ufficio Ricerca e collezioni museali, Biologia della Conservazione, Corso del Lavoro e della Scienza 3, 38122 Trento

² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la BioEconomia, Via dei Taurini 19, 00100 Roma

³ Department of Earth, Environment and Life Sciences (DISTAV), University of Genova, Genova

Parole chiave

- *Salamandrina atra aurorae*
- Alpi
- Anfibi
- Urodela
- Ecologia
- Monitoraggio
- Altopiano di Vezzena
- Trentino

Key words

- *Salamandrina atra aurorae*
- Alps
- Amphibians
- Urodela
- Ecology
- Monitoring
- Vezzena plateau
- Trentino

* Autore corrispondente:
 e-mail: antonio.romano@ibe.cnr.it

Riassunto

Nell'ambito del piano di monitoraggio per la Rete Natura 2000, dal 2017 il MUSE ha intrapreso delle ricerche sulla popolazione di *Salamandrina atra aurorae* dell'Altopiano di Vezzena (Trentino). Questa rara salamandra vive esclusivamente in habitat forestali in un'area geografica molto ristretta (Altopiano dei Sette Comuni) ed è considerata a rischio estinzione. Nel 2017, nell'area di presenza nota in Trentino, sono stati utilizzati due differenti approcci: cattura-marcatura-ricattura (CMR) e occupancy, in 50 plot di 400 mq distribuiti su 9 ha. L'analisi modellistica, attraverso 6 variabili sito-dipendenti, ha consentito di identificare i due parametri ecologici più importanti per la distribuzione i) distanza dal margine forestale ii) quantità di cataste di ramaglia fine. Nel 2018, con lo stesso approccio metodologico del 2017, è stato effettuato un campionamento in altre aree limitrofe a quella nota di presenza per verificare l'eventuale popolamento. Sono state pertanto esplorate 14 nuove aree, ognuna contenente 5 plot. Le ricerche del biennio 2017/2018 hanno svolto un ruolo chiave nella definizione delle esigenze ecologiche e della distribuzione della specie in Trentino, permettendo di stabilire un protocollo di campionamento ed importanti linee guida per la gestione forestale e la conservazione.

Summary

Since 2017 Muse carried out specific studies on *Salamandrina atra aurorae* population located in Vezzena plateau (Trentino), as a part of Rete Natura 2000 monitoring plan. This rare and threatened salamander lives exclusively in forest environments in a very restricted area (Sette Comuni plateaux). In 2017 has been employed both a capture-mark-recapture (CMR) and an occupancy approach in 50 plots (400 square meters) included in 9 hectares. Modelling salamander occupancy as a function of 6 site-specific habitat features, allowed to identify the two most important ecological requirements of this salamander i) distance from open pasture edge ii) fine brushwood piles abundance. In 2018 a sampling protocol, based on the knowledge acquired over 2017, has been planned on the Vezzena plateau (Trentino) in order to verify how widespread this taxon is in Trentino. Therefore, 14 new areas, each containing 5 plots, were sampled. Research carried out on 2017/2018 played a pivotal role in establishing ecological requirements and distribution of Golden Alpine Salamander in Trentino, allowing to define a sampling protocol and providing precise guidelines for forest management and conservation.

Introduzione

La salamandra di Aurora

La salamandra di Aurora, *Salamandra atra aurorae* (Trevisan 1982), è una delle quattro sottospecie di salamandra alpina (*Salamandra atra*) di cui tre vivono in Italia. Come le altre salamandre alpine *Salamandra atra aurorae* è completamente terrestre e le femmine, dopo un periodo di gestazione di due-tre anni, danno alla luce solo uno o due piccoli completamente sviluppati (Bonato & Fracasso 2000). La salamandra di Aurora è endemica dell'Italia settentrionale e vive in una piccola porzione del sud-est delle Prealpi (Riberon et al. 2001; Bonato & Steinfartz 2005). Più dettagliatamente la sua distribuzione è limitata alle foreste montane che coprono parte dell'altopiano dei Sette Comuni in provincia di Vicenza (Veneto) e Trento (Trentino-Alto Adige). La sottospecie fu formalmente distinta dalle altre salamandre alpine nel 1982 (Trevisan 1982) localizzandone la presenza nel Bosco del Dosso (Altopiano di Asiago, VI) a pochi km dal confine trentino. Successivamente Bonato & Grossenbacher (2000) ne segnalano la presenza anche nella Valle Sparavieri, che costituisce il limite orografico su cui è tracciato il confine tra il Veneto e il Trentino. Otto anni dopo, la presenza venne finalmente accertata anche per la Provincia di Trento sull'Altopiano di Vezzena, territorio confinante con Valle Sparavieri. Il sito in Val Postesina costituisce attualmente la località nota di presenza più interna al Trentino, a partire dal confine veneto (Beukema & Brakels 2008). Più recentemente, Romanazzi & Bonato (2014) forniscono un importante aggiornamento e revisione della distribuzione della salamandra di Aurora su tutto l'Altopiano di Asiago, ma non vengono aggiunti nuovi dati distributivi per il Trentino. Questo anfibio, considerato demograficamente in declino (Grossenbacher 1995) con una distribuzione geografica limitata (area di distribuzione inferiore a 20 kmq) e soggetto a minacce di vario tipo, è pertanto valutato taxon in pericolo (ad es. Romanazzi et al. 2012). In particolare le pratiche forestali, che negli ultimi tempi prevedono sempre più l'impiego di attrezzature pesanti, responsabili del compattamento del terreno e dell'eliminazione di cavità e potenziali rifugi, sono considerate tra le minacce che potrebbero condurre questa salamandra all'estinzione in un periodo di tempo molto breve, come valutato dalla Lista rossa IUCN italiana (Rondinini et al. 2022). Questa salamandra è anche inclusa come "taxon prioritario" nell'Allegato II della direttiva 92/43/CEE dell'Unione europea, nota come "Direttiva Habitat", la più importante legislazione sulla biodiversità emanata in Europa. A scala locale, è la prima in assoluto nella graduatoria di valutazione delle specie a priorità di conservazione redatta da Brambilla & Pedrini (2013). Nonostante il suo alto valore conservazionistico, le informazioni sull'ecologia di *S. atra aurorae* erano piuttosto scarse; i primi studi condotti nell'areale Veneto hanno evidenziato l'importanza delle caratteristiche strutturali della superficie del suolo e della composizione forestale che ne influenzano la presenza, con foreste miste di abete bianco (*Abies alba*) e faggio (*Fagus sylvatica*) che offrono l'habitat più adatto rispetto alle piantagioni di abete rosso (*Picea abies*) (Bonato & Fracasso 2015).

Nell'ambito del piano di monitoraggio provinciale (Life T.E.N.; www.life.ten.tn.it; Azione A5), nel 2017 sono stati avviati dal MUSE (Sezione di Zoologia dei Vertebrati) primi studi sistematici nel settore trentino dell'Altopiano di Vezzena, finalizzati a: definire il protocollo di campionamento della specie nell'areale trentino per fornire solide stime demografiche; approfondire le conoscenze sulle esigenze ecologiche della specie (2017); effettuare ricerche mirate per delimitare l'areale della salamandra di Aurora in Trentino (2018); fornire indicazioni utili alla gestione selvicolturale e conservazione del suo habitat. Nel presente contributo vengono ripresi e ridiscussi in maniera organica i principali risultati ottenuti con le suddette ricerche nel biennio 2017/2018 (Romano et al. 2018a, 2018b).

Materiali e metodi

Demografia, ecologia e conservazione della salamandra di Aurora sull'Altopiano di Vezzena (2017)

L'Altopiano di Vezzena è adibito principalmente a pascolo e a

foresta gestita, dominata da impianti di abete rosso (*Picea abies*) e foreste miste di faggio (*Fagus sylvatica*) e abete bianco (*Abies alba*). La porzione dell'Altopiano in cui è nota la presenza della salamandra è quella sud-orientale, al confine con il Veneto. In quest'area nella primavera del 2017 abbiamo selezionato, delimitato, georeferenziato ed etichettato individualmente 50 quadrati (plot; 20x20 m = 400 mq). La dimensioni dei plot era tale da essere considerevolmente più ampia dell'home range noto per gli individui di *S. a. aurorae* calcolata da Bonato & Fracasso (2003) come mediamente di 8 mq (range 0-32 mq). I plot erano situati lungo due transetti sub-paralleli sopra e sotto una strada forestale (Fig. 1). Venticinque di essi situati in foresta dominata dall'abete rosso, 10 in siti dominati da abete bianco e 15 in una porzione di foresta mista di abete bianco e faggio (Fig. 1).

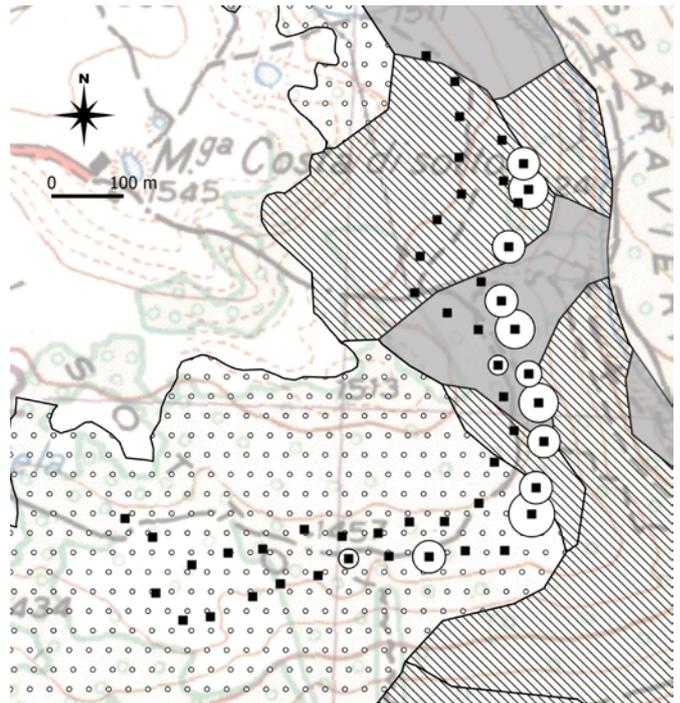


Fig. 1 – Distribuzione spaziale dei siti di campionamento (quadrati neri) di salamandra di Aurora sull'altopiano di Vezzena (Italia settentrionale). L'abbondanza di salamandre (da 1 a 6 incontri) in ogni plot è proporzionale alla dimensione dei cerchi bianchi. Area punteggiata: abete rosso; area grigia: Abete bianco; area ombreggiata: bosco misto di abete bianco e faggio; area vuota: pascolo aperto. / **Fig. 1** – Spatial distribution of sampling sites (black squares) of Golden Alpine Salamander on the Vezzena plateau (Northern Italy). Abundance of salamanders (from 1 to 6 records) in each plot is proportional to the size of white circles. Dotted area: Norway spruce (*Picea abies*); grey area: Silver fir (*Abies alba*); shaded area: Beech and Silver fir (*Abies alba* and *Fagus sylvatica*); blank area: open pasture.

I due transetti subparalleli erano distanti da 30 a 100 m e la distanza tra i plot lungo un transetto era di circa 50 m (media = $45 \pm 7,9$ m, intervallo 24 - 62 m). Di conseguenza l'area totale campionata era di 2,0 ettari, parcellizzati su una superficie complessiva di 9,5 ha.

Durante lo studio sono stati applicati due approcci: *occupancy* e *cattura-marcatura-ricattura* (CMR) in tutti i 50 plot. Le salamandre catturate all'interno di essi sono state individualmente identificate utilizzando immagini digitali del pattern delle macchie dorsali, che in questa salamandra è unico e persistente per ogni individuo (Bonato & Fracasso 2003). Gli stessi plot, contestualmente al CMR, sono stati utilizzati come siti per rilievi di *occupancy* replicati nello spazio e nel tempo (ad esempio, gli osservatori hanno registrato il rilevamento / non rilevamento di salamandre). Durante l'estate 2017 (fine giugno - inizio luglio) tutti i siti sono stati visitati sette volte da squadre di lavoro costituite da 4-8 osservatori. Durante ogni replica due osservatori hanno campionato ciascun plot per quattro minuti prima di

passare al successivo. Ogni replica aveva la durata di circa 2-3 ore in totale per coprire tutti i plot. Per le analisi di *occupancy* abbiamo utilizzato solo i dati ottenuti da repliche eseguite in condizioni climatiche ottimali per salamandre (ad esempio pioggia consistente o leggera e vento limitato, tre rilevamenti in totale) al fine di massimizzare la probabilità di rilevamento delle salamandre e ridurre al minimo l'eterogeneità stocastica nella sequenza di contatti con le salamandre (Lefosse et al. 2016). Al contrario, per il CMR sono stati utilizzati i dati raccolti da tutte e sette le repliche. Il sesso delle salamandre è stato determinato sul campo osservando sia la regione cloacale, che è gonfia nei maschi, sia l'eventuale gonfiore addominale indice di gravidanza per le femmine (Klewen 1988). Sono stati considerati adulti gli individui con lunghezza totale maggiore di 90 mm (Klewen 1986).

Per ogni plot abbiamo misurato 6 variabili sito-dipendenti inerenti la struttura forestale. La maggior parte delle variabili sono state rilevate sul campo, mentre una è stata derivata da GIS. Sul campo abbiamo registrato il numero totale di alberi per ogni plot, specificando il numero di alberi per le tre specie più frequenti: *Abies alba*, *Picea abies* e *Fagus sylvatica*, e derivato l'abbondanza relativa della specie dominante. In ogni plot abbiamo anche misurato la superficie (in mq) del suolo forestale occupata da rocce e cataste di ramaglie. Abbiamo anche contato il numero di ciocchi di legno morti più lunghi di 30 cm e più larghi di 10 cm. Queste variabili forniscono informazioni sia sulla struttura forestale (Weller 1987) che sulla disponibilità di potenziali rifugi per le salamandre (Piraccini et al. 2016, Basile et al. 2017). Infine, abbiamo misurato la distanza minima dal centro di ogni plot al margine della foresta utilizzando immagini satellitari implementate sul software QGIS. Durante delle analisi preliminari abbiamo valutato anche l'importanza di altre variabili legate all'esposizione e inclinazione dei plot, ma esse sono risultate non importanti nel condizionare la presenza delle salamandre (si veda Romano et al. 2018b per dettagli).

I dati ripetuti di presenza/assenza sono stati elaborati con i modelli di *occupancy* che, tenendo conto del rilevamento imperfetto, consentono di stimare la proporzione di area occupata dalla specie (MacKenzie et al. 2004). I modelli di *occupancy* forniscono le stime di due parametri: la variabile di stato, ovvero la probabilità che la specie sia presente nel sito (*occupancy*; Ψ) e la probabilità di rilevamento (p), ovvero la probabilità di rilevare la specie, qualora presente nel sito (MacKenzie et al. 2017). I dettagli su standardizzazione delle variabili, correlazioni tra esse, costruzione del modello globale e i criteri di selezione dei derivanti modelli candidati sono consultabili in Romano et al. (2018a). Per elaborare i dati di CMR e dunque stimare l'abbondanza, abbiamo prima eseguito il test di chiusura utilizzando il software CAPTURE (Otis et al. 1978) e, poiché la popolazione è risultata essere chiusa, abbiamo utilizzato lo stesso software per stimare l'abbondanza delle salamandre durante il nostro periodo di rilevamento, considerando i seguenti modelli per popolazioni chiuse (White et al. 1982, Pollock et al. 1990): il modello di uguaglianza di catturabilità (*equal catchability*, M_0), il modello di eterogeneità (*heterogeneity model*, M_{th}), il modello di comportamento (*behavior model*, M_{tr}), il modello di probabilità di cattura variabile con il tempo (*time variation model*, M_t) e altri modelli basati su diverse combinazioni delle tre principali fonti di variazione nelle probabilità di cattura (M_{th} , M_{tr} , M_{tb} , M_{trb}). La bontà dell'adattamento di ciascun modello, la selezione del modello migliore e la stima della dimensione della popolazione sono state eseguite come implementato nel software CAPTURE (Otis et al. 1978, White et al. 1982).

La Sex Ratio (SR), seguendo i criteri raccomandati da Wilson & Hardy (2002), è stata calcolata come la proporzione di maschi maturi:

$$SR = \frac{\text{maschi}}{\text{maschi} + \text{femmine}}$$

Scostamenti significativi dall'equilibrio della SR sono stati verificati con il test binomiale a due code.

In base a questo rapporto e al numero di individui di entrambi i sessi è stata calcolata la *Effective population size* (N_e). Infatti, il nu-

mero di individui che conta effettivamente nella riproduzione di una popolazione (N_e) generalmente non coincide con gli individui censiti o stimati (N), ed in alcuni casi è molto minore. La stima di N_e avviene o tramite metodi di analisi genetica o tramite formule empiriche basate sul rapporto dei sessi:

$$N_e = (4 * N_m * N_f) / (N_m + N_f)$$

(N_m = numero di maschi, N_f = numero di femmine, Wright 1938), che è una equazione ampiamente usata per ottenere stime demografiche di N_e (e.g. Jehle et al. 2001, Schmeller & Merila 2007). Inoltre, per valutare la stabilità della popolazione è stato calcolato il rapporto N_e/N (Nunney 1993).

Ricerche per ampliare l'areale di distribuzione della salamandra di Aurora in Trentino (2018)

Nonostante *S. a. aurorae* sia ritenuta una specie particolarmente elusiva e di difficile contattabilità, dagli studi condotti da Lefosse et al. (2016) e da Romano et al. (2018a) emerge che la *detection probability* aumenti notevolmente durante le piogge o subito dopo di esse, particolarmente se abbondanti, in linea con quanto noto per altre salamandre alpine (Klewen 1988, Andreone et al. 1999). In particolare, in queste condizioni meteorologiche favorevoli per le salamandre, la *detection probability* risulta essere piuttosto alta, di circa 0,63 (I.C. 95% = 0,46-0,77; Romano et al. 2018a), ovvero se la specie è presente in un sito, si dovrebbe riuscire a rilevarla con 2-3 campionamenti. Tenendo conto di queste informazioni di base, è stato pianificato un programma di ricerche sul campo atto a verificare la presenza della salamandra considerando anche i seguenti fattori: (I) esigenze ecologiche e di habitat (ovvero le tre tipologie forestali in cui la salamandra è presente: abetina, pecceta e bosco misto faggio-abete), (II) range altitudinale noto per la *S. a. aurorae*, (III) percentuale di plot in cui è stata rilevata in un'area in cui è certamente presente (Romano et al. 2018a), (IV) alta *detection probability* in condizioni meteo idonee (Lefosse et al. 2016, Romano et al. 2018a), (V) prossimità dei siti di presenza accertata della salamandra. Con questi presupposti sono state dunque identificate due macroaree di ricerca (Fig. 2) dove applicare ricognizioni in zone ritenute potenzialmente idonee: Macroarea A (zone limitrofe all'areale noto ma sempre sull'altopiano di Vezzena) e Macroarea B (altopiano della Marcesina).

Nella Macroarea A sono state individuate 14 aree in ambiente forestale (Fig. 2) distribuite su un'area complessiva di 1195 ha: 6 aree in abetina, 5 aree in bosco misto di abete bianco e fag-

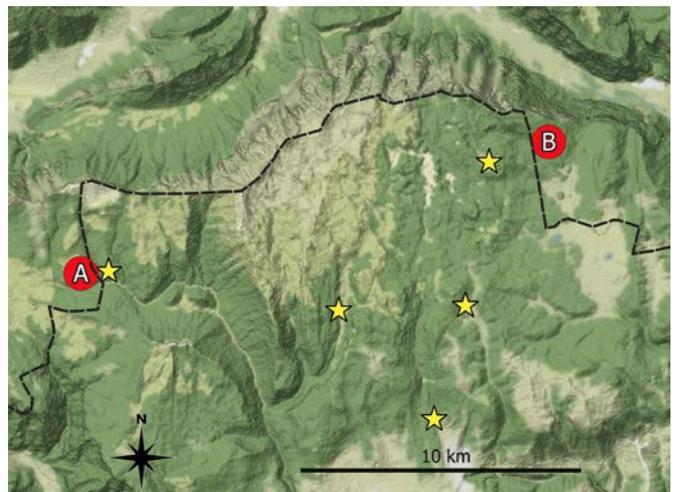


Fig. 2 – Le macroaree A e B (in rosso) entro i confini della Provincia Autonoma di Trento, prossime ad aree di presenza certa di *S. atra aurorae* nella regione Veneto (stelle gialle). La linea tratteggiata indica il confine regionale. / **Fig. 2** - The two areas A and B (red) in Autonomous Province of Trento, close to *S. atra aurorae* known sites in the Veneto Region (yellow stars). The dashed line indicates the border between Veneto and Trentino.

gio, 3 aree in ambiente di pecceta secondaria. In ogni area sono stati delimitati 5 plot di 400 mq ciascuno (20x20 m), per un totale di 70 plot e un'area effettiva di campionamento di 2,8 ha (1,2 ha in abetina, 1 ha in bosco misto, 0,6 ha in pecceta; Fig. 3). I plot di ogni area sono distanti tra loro da un minimo di 30 m ad un massimo di 100 m. Le aree potenziali che si ritenevano con più elevata probabilità di presenza erano ovviamente quelle prossime ai siti già noti per la salamandra (Fig. 4). La metodologia di ricerca è stata quella adottata per gli studi demografici e di *occupancy* (dettagli nel paragrafo precedente e in Romano et al. 2018a). Per ogni sito (plot) erano previste un massimo di 4 repliche di campionamento. I campionamenti sono stati effettuati nei mesi di giugno, luglio e agosto 2018, in coincidenza con i presunti picchi di attività di *S. a. aurorae* in considerazione delle condizioni meteorologiche favorevoli all'attività delle salamandre.

La Macroarea B è stata individuata, sebbene lontana dai siti noti in Trentino, perché molto prossima a siti noti in Veneto. Dalla recente letteratura infatti è noto che la salamandra di Aurora è presente anche per un'altra area limitrofa ai confini del Trentino, presso l'altopiano della Marcesina e più precisamente al M.te Fossetta, in Veneto (Romanazzi & Bonato 2014), distante 1.6 km dal confine trentino. Le ricerche pertanto si sono concentrate nel comune di Grigno, in loc. "Bosco Lagonsin di Sotto" che è in continuità di habitat forestale con i siti più prossimi di presenza (Fig. 5). Nella macroarea B l'impostazione del campionamento è stata più opportunistica, prevedendo 2-3 sopralluoghi con numero di almeno 2 rilevatori, in condizioni idonee.

Risultati

Demografia, ecologia e conservazione della salamandra di Aurora sull'Altopiano di Vezzena (2017)

Durante le 7 repliche sono state contattate 40 salamandre, con un numero di individui per plot variabile da 0 a 3. La marcatura ha permesso di individuare, entro le 40 catture, 33 differenti individui (18 maschi e 15 femmine). Le salamandre risultavano presenti in 13 plot (il 26% dei totali) con una distribuzione non uniforme (Fig. 1). Il modello di probabilità di cattura variabile con il tempo (M_t) è risultato essere il modello migliore e lo stimatore suggerito dal *software Capture*, in base ai dati inseriti, è stato il Darroch (Darroch 1958). La probabilità di cattura è variata tra 0,03 e 0,15 e la stima del numero di individui è risultata essere 79 (I. C. 95% = 52-150). Considerando l'area effettivamente campionata (2 ha) la densità delle salamandre può essere stimata in 39 individui / ha (C.I. 95% = 28-50).

La sex ratio è risultata pari a 0,516. Il test binomiale ($p > 0,05$) indica che la popolazione è bilanciata nel rapporto dei sessi. La *Effective population size* ($N_e = 32,72$) e il rapporto con il totale degli adulti è prossimo a 1 ($N_e/N = 0,99$).

I dati raccolti sono stati anche analizzati attraverso i modelli di *occupancy*, considerando solo le 3 sessioni più favorevoli. Tuttavia, i plot in cui sono state rilevate le salamandre in queste 3 sessioni non sono risultati inferiori a quelli considerati nelle 7 sessioni del CMR. Durante le 3 sessioni di *occupancy* sono state contattate 30 salamandre. Il coefficiente di correlazione di Spearman per covariate sito-specifiche non ha mostrato una correlazione significativa ($p_s < 0,7$; $P > 0,05$) il che ha permesso di includere tutte le covariate nel modello globale (Dormann et al. 2013). Il *goodness of fit* di MacKenzie & Bailey (2004) per il nostro modello globale mostrava un buon adattamento ($P = 0,31$) e una bassa sovra-dispersione dei dati ($c\text{-hat} = 1,1$). Tra i 126 modelli candidati costruiti da combinazioni di covariate e struttura della *detection probability*, i migliori modelli sono risultati essere quelli con probabilità di rilevamento costante (per dettagli cfr. Romano et al. 2018a). Dal modello migliore abbiamo ottenuto una stima di *occupancy* complessiva di 0,28 (IC 95%=0,20-0,37), il che suggerisce che 14 siti su 50 erano occupati dalla specie (IC 95%=10-19) e una probabilità di rilevamento di 0,63 (IC 95%=0,46-0,77). Questo modello suggerisce anche che la probabilità di *occupancy* è influenzata positivamente da due fattori: la quantità di cataste di ramaglie nel sottobosco, che in ogni plot (400 mq) coprivano una superficie compresa tra 0 e 110 mq [17,5 (30,6)

mq] e la distanza dal margine della foresta, che variava da 71 a 305 m [205 (54) m] (si veda Fig. 2 in Romano et al. 2018a).

Ricerche per ampliare l'areale di distribuzione della salamandra di Aurora in Trentino (2018)

Dato che le 14 aree erano relativamente distanti tra loro e imponevano dei tempi di spostamento con mezzi motorizzati dall'una all'altra e avendo come obiettivo il campionamento in condizioni ottimali o subottimali (pioggia lieve o subito dopo pioggia), non è stato possibile visitarle con numero uniforme di repliche. Pertanto, sono state effettuate per ogni area da un minimo di 1 replica ad un massimo di 3 repliche in condizioni ottimali o subottimali, o a un massimo di 5 repliche considerando anche quelle in condizioni non ottimali. In condizioni idonee sono state dunque effettuate un totale di 23 repliche per la ricerca della salamandra nelle 14 aree selezionate della Macroarea A e 3 repliche nella Macroarea B (Tabella 1 e Fig. 6). In nessuna delle aree dove sono stati effettuati sopralluoghi è stata rilevata la presenza di *S. atra aurorae*, che al contrario è stata confermata contestualmente per la zona nota dell'altopiano di Vezzena già monitorata nel 2017.

Discussione

Demografia, ecologia e conservazione della salamandra di Aurora sull'Altopiano di Vezzena

Romano et al. (2018a) hanno fornito un contributo, qui parzialmente sintetizzato e rielaborato, che conferma come l'applicazione di modelli gerarchici (*site occupancy*) possa rivelarsi un metodo efficiente per risolvere problematiche legate alla gestione forestale, soprattutto considerando che lo sforzo di campionamento è nettamente inferiore a quello necessario per gli approcci basati sul CMR. I dati ottenuti con il CMR tuttavia forniscono informazioni aggiuntive, come ad esempio stime di densità. Per la salamandra di Aurora sull'altopiano di Vezzena, in una zona che è il limite noto della distribuzione di questo taxon, risulta essere di circa 40 individui/ha. Le densità di *S. atra aurorae* nelle Prealpi venete (cioè la *core area* di questo taxon) risulta variare da 95 a 475 individui/ha (95% CI = 97-120 e 291-659, rispettivamente) in due ambienti: dove è dominante l'abete rosso e con bassa densità di rifugi rocciosi oppure, per le densità massime, dove la foresta è sostanzialmente composta da abete bianco e faggio e i rifugi sono abbondanti (Bonato & Fracasso 2003). Le nostre stime sono inferiori ma in qualche modo prossime a quelle ottenute da Bonato & Fracasso (2003) per gli ambienti meno idonei. È inoltre da considerare che le densità locali e le dimensioni delle popolazioni generalmente decrescono gradualmente spostandosi dalle zone centrali dell'areale alle zone prossime ai limiti di distribuzione (Hengeveld & Haeck 1982, Brown 1984). Inoltre, i livelli di *occupancy* decrescono nelle aree marginali anche a causa di distribuzioni più frammentate e non spazialmente omogenee (Gaston 2003, Yakhimowski & Eckert 2007). Pertanto, le variazioni di densità osservate potrebbero essere il risultato di cambiamenti nei livelli di *occupancy* piuttosto che variazioni effettive nella densità della popolazione su piccola scala (Gaston 2009). In ogni caso la popolazione di *S. atra aurorae* dell'Altopiano di Vezzena sembra essere in una condizione di stabilità demografica considerando che ha un rapporto N_e/N prossimo a 1. Come regola generale infatti, popolazioni animali stabili mostrano valori di N_e/N variabili tra 0,5 e 1 (Nunney & Elam 1994, Nunney 1995), mentre popolazioni fluttuanti assumono valori inferiori a 0,5 (Frankham 1995, Kalinowski & Waples 2002).

I nostri risultati suggeriscono inaspettatamente che le covariate che tipicamente spiegano i modelli di presenza in altre salamandre forestali (ad es., indice di umidità topografico, numero di alberi, quantità di legno morto; si vedano ad esempio Otto et al. 2013, Romano et al 2017), hanno un effetto insignificante sul determinare la presenza della salamandra di Aurora. In questo caso, la distanza dal margine della foresta e la quantità di cataste di ramaglia sono risultati molto più importanti nello spiegare le osservazioni di presenza/assenza. Intuitivamente, queste due variabili agiscono a due scale spaziali molto diverse: la prima a livello di scala di paesaggio

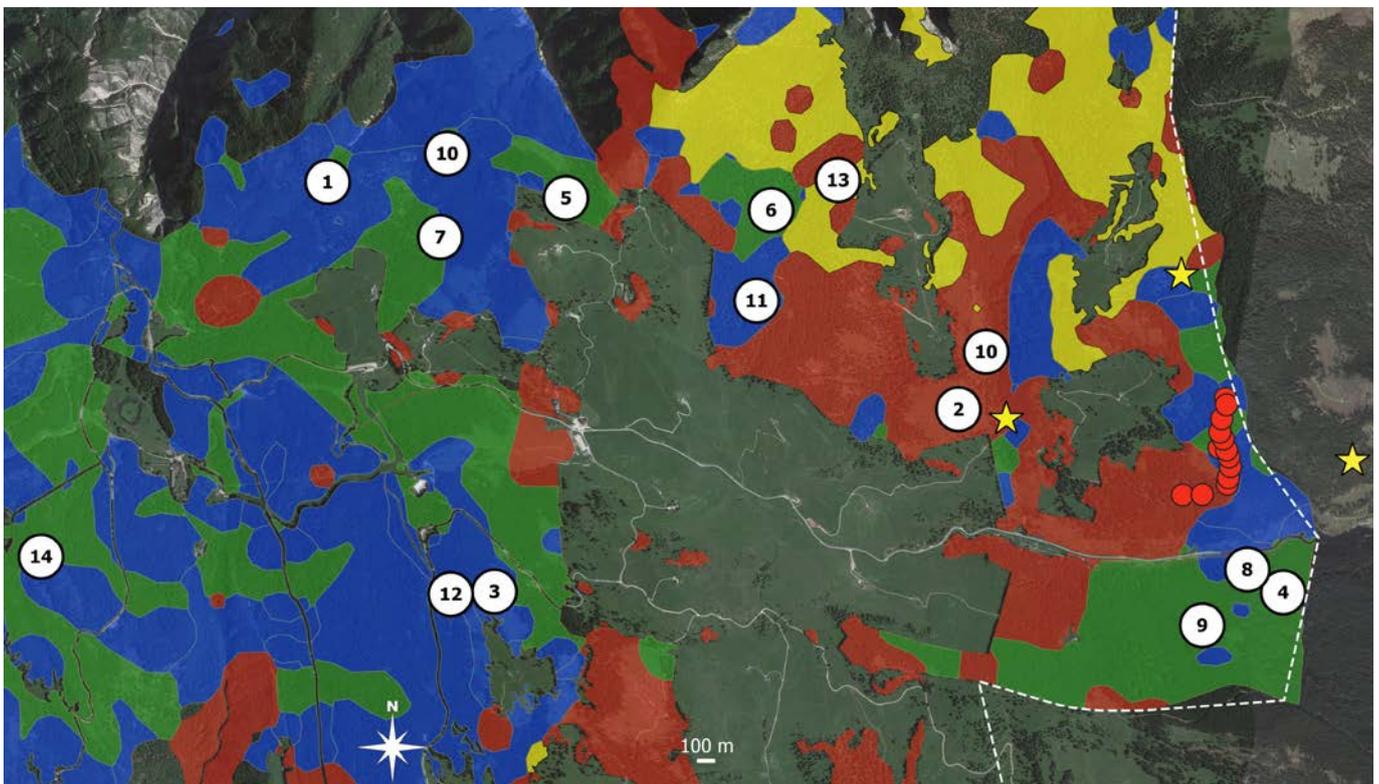
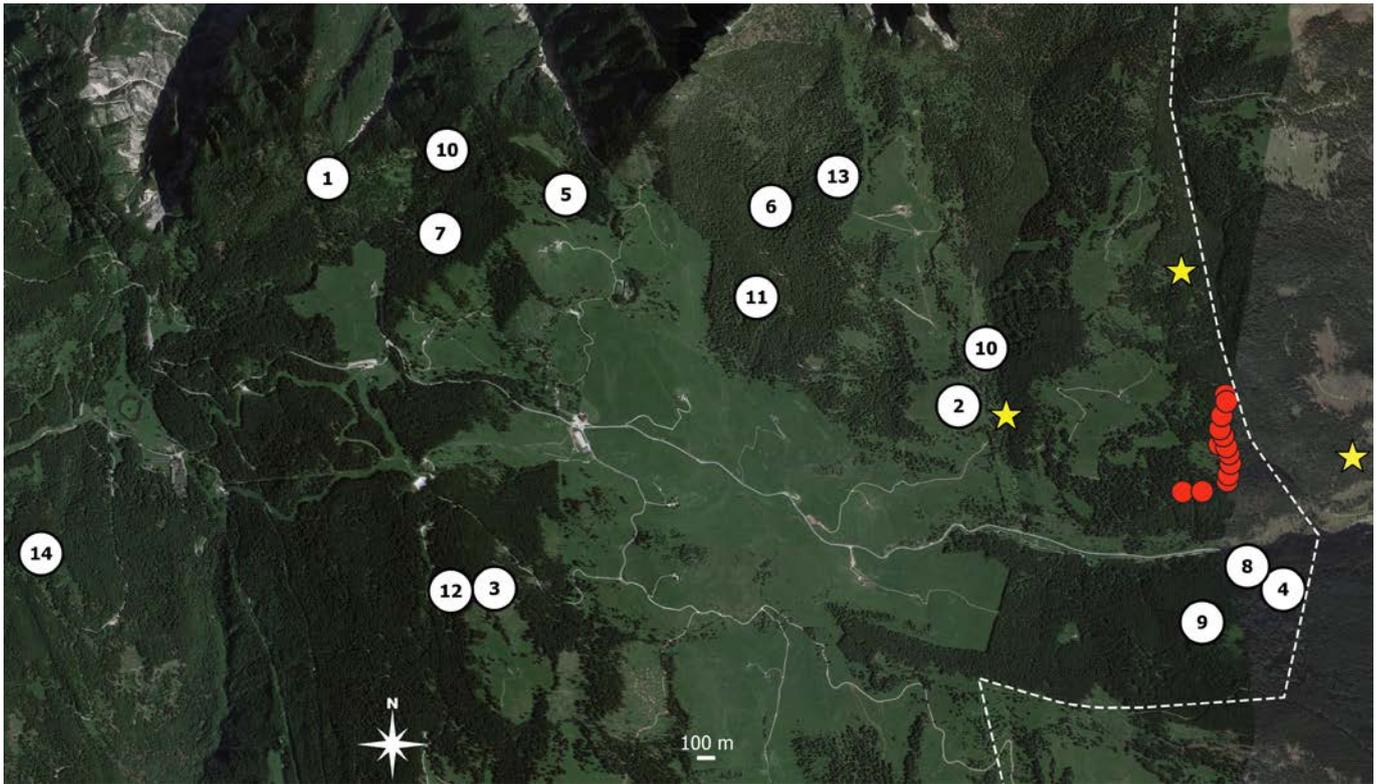


Fig. 3a-3b – MACROAREA A. ALTOPIANO DI VEZZENA. Localizzazione delle 14 aree per la ricerca della *S. atra aurorae* sull'altopiano di Vezzena (Trentino). Stelle gialle: siti di presenza della specie da Baukema & Brakels (2008); cerchi rossi: siti di presenza della specie da Romano et al. (2018a). I cerchi bianchi con numeri all'interno indicano le 14 aree di campionamento nel 2018. La linea tratteggiata indica il confine con la regione Veneto. Fig. 3a: veduta aerea della macroarea A. Fig. 3b: veduta aerea con sovrapposto un layer indicante le principali componenti vegetazionali forestali. Area in rossiccio: pecceta secondaria (*Picea abies*); area verde: abetina (*Abies alba*); area azzurra: bosco misto (*Abies alba* e *Fagus sylvatica*); area gialla: pecceta altomontana xerica. / **Fig. 3a-3b** – AREA A. VEZZENA PLATEAU. White circles show potential 14 areas located in Vezzena plateau and selected in 2018 for *S. atra aurorae* research. Yellow stars: known sites from Baukema & Brakels (2008); red circles: known sites from Romano et al. (2018a). The dashed line indicates the border between Veneto and Trentino. Figure 3a: aerial view of Area A. Figure 3b: aerial view of Area A with main forestry vegetal component. Red: Norway spruce (*Picea abies*); Green: Silver fir (*Abies alba*); Light blue: Beech and Silver fir (*Abies alba* and *Fagus sylvatica*); Yellow: xeric high-mountain spruce forest.

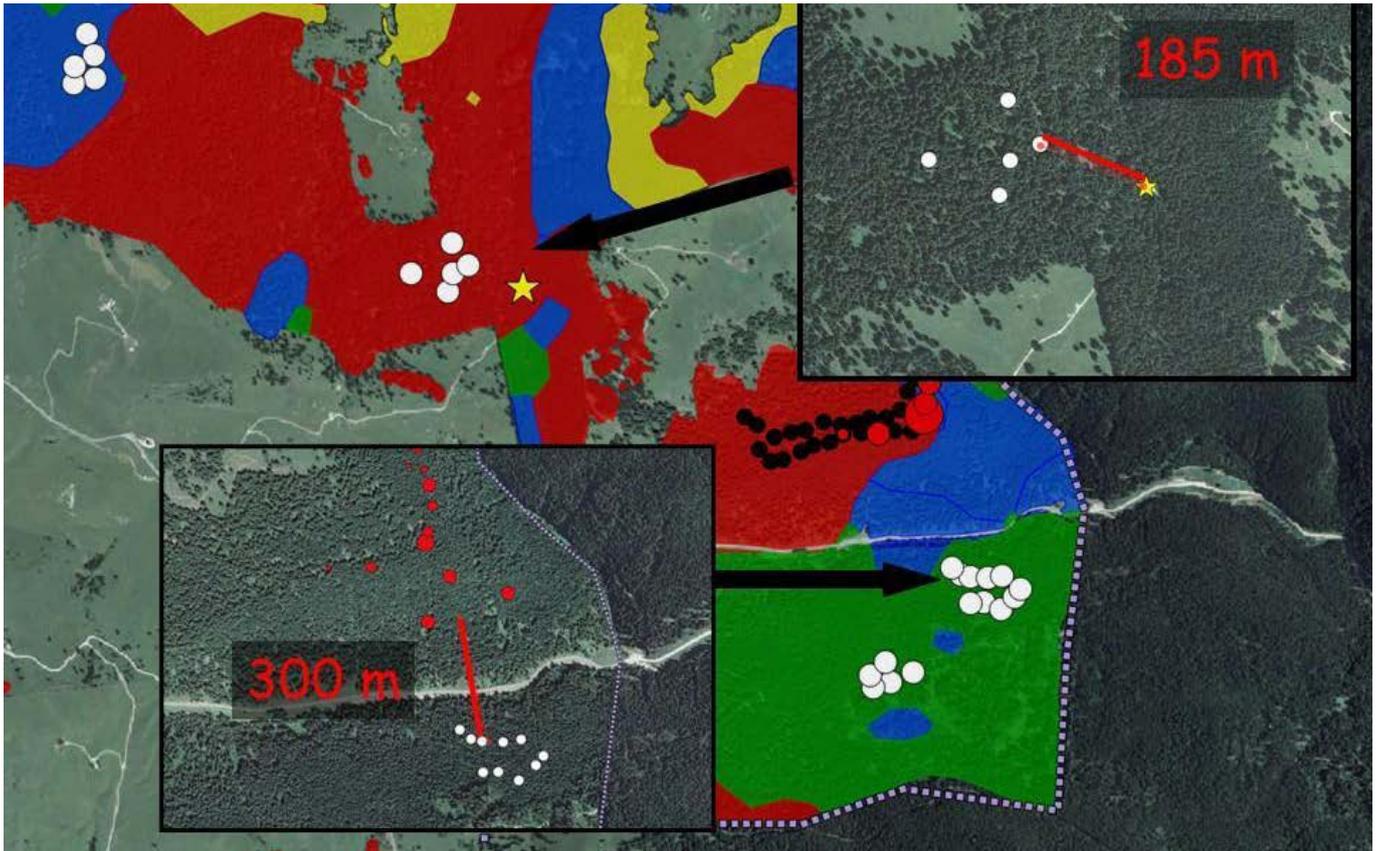


Fig. 4 – MACROAREA A. I plot ritenuti con maggiore probabilità di presenza della specie erano quelli più prossimi ad aree di già accertata presenza. Legenda delle aree colorate come in Fig. 3. / **Fig. 4** – AREA A. Plots close to known presence sites have high probability of salamander occurrence. Red: Norway spruce (*Picea abies*); Green: Silver fir (*Abies alba*); Light blue: Beech and Silver fir (*Abies alba* and *Fagus sylvatica*).

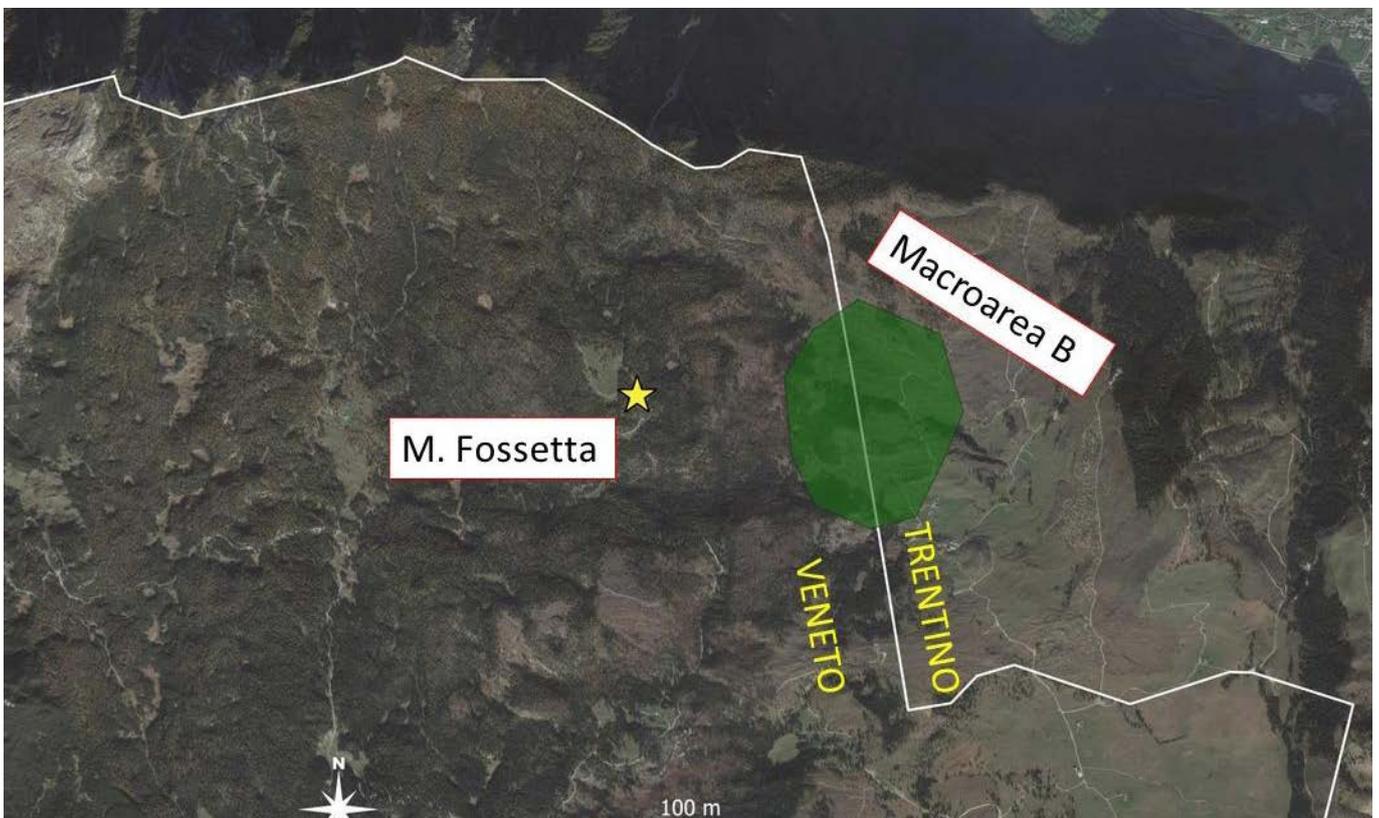


Fig. 5 – MACROAREA B. Zona della Marcesina. La stella gialla indica il sito di presenza di *S. atra aurorae* in Veneto più prossimo al confine trentino (1.6 km). Il poligono sovrainposto indica approssimativamente l'area in cui sono stati effettuati i sopralluoghi. / **Fig. 5** – AREA B. Marcesina plateau. The yellow star in Veneto shows the known *S. atra aurorae* closest site to the border with Trentino (1.6 km). Investigated area is approximately represented by the polygon.

mentre la seconda in una dimensione spaziale dell'ordine di decine o centinaia di metri quadrati.

S. atra aurorae è nota per essere strettamente associata agli ambienti forestali maturi (Bonato et al. 2007) e i dati emersi in Romano et al. (2018a) confermano l'effetto negativo della vicinanza al margine forestale su questo taxon particolarmente sensibile al livello elevato di umidità (Bonato & Fracasso 2015, Lefosse et al. 2016). La distanza dai bordi forestali o dal pascolo influenza significativamente la distribuzione di diverse specie di anfibi, in particolare quella delle salamandre forestali (deMaynadier & Hunter 1998). L'effetto marcatamente positivo fornito dalle cataste di ramaglie è stato probabilmente il risultato meno atteso. I depositi di detriti legnosi sono una risorsa multifunzionale poiché gli anfibi vi possono trovare sia riparo che cibo (Indermaur et al. 2009, Davis et al. 2010, Otto et al. 2013). Tuttavia, la vasta letteratura a supporto di questa evidenza si riferisce prevalentemente a detriti legnosi grossolani (si veda Romano et al. 2018a per una breve discussione sull'argomento). Le cataste di ramaglie nei nostri siti di studio invece sono ascrivibili ai detriti legnosi fini (FWD; seguendo la classificazione di Harmon & Sexton 1996, Harmon et al. 1999). Il ruolo svolto da FWD nell'ecologia della conservazione dei vertebrati è stato scarsamente studiato (ad esempio, Goszcożyński et al. 2007, Indermaur & Schmidt 2011). L'umidità del terreno in cataste di ramaglie nel sottobosco supera i livelli di umidità del suolo dei microhabitat circostanti, mitigando gli effetti negativi dell'essiccazione dovuti alla raccolta del legname (Rittenhouse 2007, Rittenhouse et al. 2008). Questo effetto positivo è particolarmente importante per i taxa che richiedono un alto livello di umidità dell'habitat, come appunto la salamandra di Aurora.

Areale di distribuzione della salamandra di Aurora in Trentino

Presenza/assenza sull'Altopiano di Vezzena. La prima evidenza che pone una domanda chiave relativa alla distribuzione della salamandra di Aurora in Trentino è come mai essa sia presente esclusivamente sull'altopiano di Vezzena, o meglio, in una porzione molto ridotta di esso. L'altopiano di Vezzena è in continuità con l'Altopiano di Asiago (area elettiva per questa salamandra) e nel complesso formano l'Altopiano dei Setti Comuni. I fattori determinanti la distribuzione così localizzata della salamandra di Aurora, ed in particolare a dare conto della ridottissima diffusione in Trentino di questo anfibio, sono molto probabilmente quelli climatici, sebbene non possa essere esclusa la compartecipazione di altre variabili di tipo storico come l'uso del suolo o gli effetti delle devastazioni del territorio durante la Grande Guerra.

Fattori climatici. Questa salamandra è strettamente associata a boschi molto umidi e freschi a differenza della sottospecie nominale, essendo la salamandra alpina (*S. atra atra*) diffusa anche in ambienti aperti e rocciosi. L'altopiano di Vezzena sembra soddisfare le richieste ecologiche della salamandra soprattutto in termini di umidità. Infatti Eccel & Saibanti (2005) affermano testualmente che "*Passo Vezzena district can be framed into a general climatic context of an alpine mountain region, quite humid compared to the average condition of Trentino, but not different from the standard of mountain areas close to the Venetian pre-alpine region*" e inoltre che solo sull'altopiano di Vezzena, tra le stazioni monitorate in Trentino, si manifesta la tendenza a una distribuzione delle precipitazioni leggermente più vicina a un regime continentale. Si assiste cioè a un progressivo aumento delle piogge nel corso della stagione calda (massimo relativo a luglio), mentre in autunno i valori del numero di giorni di pioggia non raggiungono mai quelli estivi. Eccel & Saibanti (2005) dunque separano nettamente dal punto di vista climatico la zona dell'altopiano di Vezzena dal resto del Trentino, considerandolo un'unità organica con le Prealpi venete (dove questa salamandra è abbondante e molto più diffusa). È dunque probabile che le ristrette condizioni climatiche richieste da questo taxon siano disponibili in Trentino probabilmente solo nella zona dell'altopiano di Vezzena.

Per quanto riguarda la Macroarea B (altopiano della Marcesina) la prossimità con siti piuttosto vicini (1,6 km, Fig. 5) e la continuità ambientale con essi, poneva come altamente probabile la presenza della salamandra nell'area di ricerca trentina (Bosco Lagonsin di Sot-

to). Interviste ai locali sembrano supportare la presenza della specie in aree molto prossime al confine trentino (loc. Valle Gozza e loc. Scoglio Bianco, distanti dal confine ca. 200-300 m) rispetto a quelle note e pubblicate (M.te Fossetta; Romanazzi & Bonato 2014). Lo sforzo di ricerca per la macroarea B è stato tuttavia inferiore a quella per la macroarea A e questo potrebbe essere uno dei motivi del mancato rilevamento della specie, che potrebbe essere fortemente localizzata nell'area con una distribuzione aggregata e quindi non spazialmente omogenea come d'altronde avviene sull'altopiano di Vezzena. Inoltre, l'area di ricerca (Bosco Lagonsin di Sotto) sovrasta l'altopiano della Marcesina che è considerato tra i luoghi più freddi d'Italia potendo la temperatura raggiungere picchi molto bassi con notevoli inversioni termiche. Tali fenomeni sono sorprendentemente più rilevanti nel dominio prealpino esterno in cui le caratteristiche climatiche tendono a passare a quelle mediterranee (Fazzini & Renon 2007). Pertanto, una effettiva assenza della salamandra potrebbe essere imputabile al rigido microclima dell'area di ricerca, essendo questa zona - sebbene limitrofa a siti di presenza - marcatamente più fredda.

Esposizione dei versanti. La presenza della salamandra in tutta la Val d'Assa è segnalata esclusivamente in sinistra orografica della valle, come sembra suggerire la sua assenza (almeno in base ai nostri rilievi) dalle aree 4, 8 e 9 prospicienti al versante di accertata presenza (cfr. Romano et al. 2018a). La presenza della salamandra nel settore veneto della Val d'Assa mostra la stessa configurazione distributiva: ad esempio nel complesso forestale del Dosso (sinistra orografica) la salamandra è particolarmente abbondante ma risulta assente sul versante di fronte (ad es. Bosco Longalaita e M. Porrecchie). Lungo la Val d'Assa i versanti della sinistra orografica hanno esposizione rivolta principalmente a Sud o Sud-Sud-Est e Sud-Sud-Ovest oppure nelle valli secondarie che immettono in Val d'Assa dalla sinistra orografica esposizione Sud-Est o Sud-Ovest. Tale preferenza della salamandra per versanti con una esposizione a mezzogiorno sembra corroborata dai nostri rilievi. Si consideri infatti che le aree 4, 8 e 9 sul versante destro (rivolto a Nord) sono distanti in linea d'aria dalle aree di fronte - dove è presente la salamandra (sul versante esposto a Sud) - meno di 300 m e presentano un habitat altamente idoneo (Fig. 4): una copertura forestale di abete bianco e abbondanza di rifugi stabili (grossi affioramenti calcarei ricchi di anfratti). Il bosco non appare particolarmente più giovane o coevo se paragonato al bosco di fronte dove la salamandra è presente. Quello che varia radicalmente è l'esposizione. L'orientamento delle pendenze rispetto al sole ha un profondo effetto sul clima. Come variabile topografica, l'orientamento dei versanti influisce sulla quantità e sul ciclo giornaliero della radiazione solare ricevuta in diversi periodi dell'anno e ha un'influenza sul microclima, in particolare sulla temperatura dell'aria, sulla sua umidità e su quella del suolo (Rosenberg et al. 1983). Nell'emisfero settentrionale, i versanti rivolti a Sud sono molto più soleggiati e supportano comunità ecologiche completamente diverse rispetto ai versanti esposti a Nord. Il lato meridionale di una montagna può sperimentare infatti effetti primaverili alcune settimane o addirittura mesi prima del suo lato settentrionale. La mancanza di luce solare diretta durante il giorno nei pendii esposti a Nord, sia in inverno che in estate, li rende significativamente più freddi rispetto ai pendii esposti a Sud. Durante i mesi invernali, vaste porzioni di pendenze esposte a Nord possono rimanere ombreggiate durante il giorno a causa dell'angolo basso di incidenza dei raggi solari. Questo fa sì che la neve sui versanti esposti a Nord si scioglia più lentamente di quelli esposti a Sud. Versanti più freschi e umidi come quelli esposti a Nord sono prediletti dalle salamandre in paesi mediterranei come l'Italia (es. Romano et al. 2017). Tuttavia è da considerare che le Alpi - e l'altopiano di Vezzena - appartengono appunto alla regione biogeografica alpina e pertanto, al contrario di quanto ad esempio avviene sull'Appennino (regione biogeografica mediterranea), dove i fattori limitanti per un anfibio possono appunto essere le scarse precipitazioni, l'umidità e le alte temperature, la variabile più importante nel determinare pattern distributivi è la temperatura ma in senso opposto, ovvero il limite può essere determinato dalle temperature più basse. Peraltro, proprio in un contesto come quello della zona dell'altopiano di Vezzena, particolarmente

ricco di precipitazioni (Eccel & Saibanti 2005) la quantità di umidità è un fattore non limitante mentre potrebbe assumere maggiore importanza il microclima eccessivamente rigido. Nella zona di Vezzena lo scioglimento nivale primaverile avviene settimane dopo sui versanti esposti a Nord e in autunno i versanti esposti a meridione beneficiano di un mantenimento di temperature medie più alte per altrettante settimane. La salamandra di Aurora ha una fenologia di alcuni mesi, generalmente tra aprile-maggio e settembre. Pertanto una popolazione di salamandre che viva su versanti esposti a Sud beneficia della possibilità di un periodo di attività di almeno un mese in più rispetto a quella che potrebbe avere sul versante opposto. Un mese in più significa un aumento di circa il 20%-25% dell'attività annuale: un tempo considerevole per nutrirsi, accoppiarsi e riprodursi.

Influenza della componente forestale. I risultati di alcuni recenti studi condotti in Veneto (Bonato & Fracasso 2015) evidenziano che le caratteristiche strutturali della superficie del suolo e la composizione forestale sono variabili significative che influenzano la sua presenza, considerando le foreste di abeti bianchi (*Abies alba*) e faggi (*Fagus sylvatica*) come gli habitat più idonei rispetto alle piantagioni di abete rosso (*Picea abies*). In effetti la presenza nell'altopiano di Vezzena è prevalentemente associata ad aree ad abetina o abetina mista a faggio (Romano et al. 2018a). La salamandra è relegata ad una piccola porzione della sinistra orografica dell'altopiano di Vezzena (Fig. 4). La sua assenza dalle aree 2-6-11-13 (Figure 4, 6), ed in particolare dall'area 2 - vicina meno di 200 m dal sito più prossimo di presenza - appare sorprendente. Tuttavia, in questo caso probabilmente gioca un ruolo importante proprio la componente vegetazionale. Il sito 2 si trova in una pecceta secondaria di impianto. È noto che le peccete alterino l'umidità al suolo creando un microclima xerico e cambiando il pH del substrato acidificandolo. Questi due fattori comportano tra le altre cose una diminuzione importante della disponibilità trofica, facendola crollare in pecceta. La diversità di invertebrati infatti è molto più alta in foreste di abeti miste a faggi o faggete pure rispetto a monoculture di abete rosso (Elmer et al. 2004, Kula & Lazarik 2015, Schue et al. 2003), in particolare quando di impianto secondario (Pedley et al. 2014).

Possibile impatto della Grande Guerra. La Prima Guerra mondiale vide la zona del Vezzena - terra di confine - campo di battaglia per anni, martoriato da migliaia di bombe da mortaio come testimoniano i resti dei crateri da impatto (Magnini et al. 2017) e completamente disboscato in quanto, oltre agli effetti diretti delle battaglie,

va considerata l'enorme mole di legname prelevata a scopi bellici nelle zone prossime alle vie di comunicazione (Ermacora 2009). Il limitrofo bosco del Dosso (un bosco maturo con alberi centenari) è stato scarsamente toccato da questi interventi mentre sull'altopiano di Vezzena c'è stata grande distruzione di foreste e ampia asportazione di legname (come intuibile dai boschi relativamente giovani e dai numerosi impianti post-bellici principalmente di abete rosso). Pertanto, è plausibile che la salamandra fosse maggiormente diffusa sull'altopiano prima della grande guerra, con successiva contrazione dell'areale ed estinzioni locali ma si sia poi avviata, dalla popolazione "sorgente" del Dosso, una ricolonizzazione di territori che hanno portato ad occupare le aree contigue più idonee (abetina mista a faggio in sinistra orografica) dell'altopiano di Vezzena.

Conclusioni

Sull'altopiano di Vezzena gli studi condotti hanno permesso, oltre che di elucidare alcuni importanti aspetti dell'ecologia della salamandra di Aurora, di ottenere informazioni significative per una gestione forestale compatibile con la sua conservazione. Ad esempio, la distanza dal bordo forestale (almeno 200 m), che influenza positivamente la presenza della salamandra indica che le azioni di gestione forestale che riducono la zona boschiva e aumentano la frammentazione dovrebbero essere evitate. Inoltre, l'importante ruolo svolto dalle cataste di ramaglie suggerisce che un miglioramento dell'habitat forestale può essere facilmente ottenuto lasciando in loco le rimanenze di legname e ramaglie accatastandole in numerosi cumuli di medie dimensioni (piuttosto che poche grandi cataste). Infatti, Ober & Minogue (2007) suggerisce che il contributo alla biodiversità fornito dai residui di taglio lasciati al suolo può essere aumentato creando diverse pile di media grandezza (1,5-2,5 m x 3 m) piuttosto che una grande pila, dimensioni comparabili a quelle riscontrate nella nostra area di studio.

Riguardo alla distribuzione molto localizzata in Trentino, le ricerche finora condotte non hanno portato ad un ampliamento dell'areale, ma hanno tuttavia suggerito delle plausibili e almeno parziali ragioni che ne danno una spiegazione (microclima, esposizione, fattori storici). Ulteriori ricerche sull'ecologia, etologia e distribuzione di questa salamandra di eccezionale pregio biogeografico e conservazionistico sono in corso.

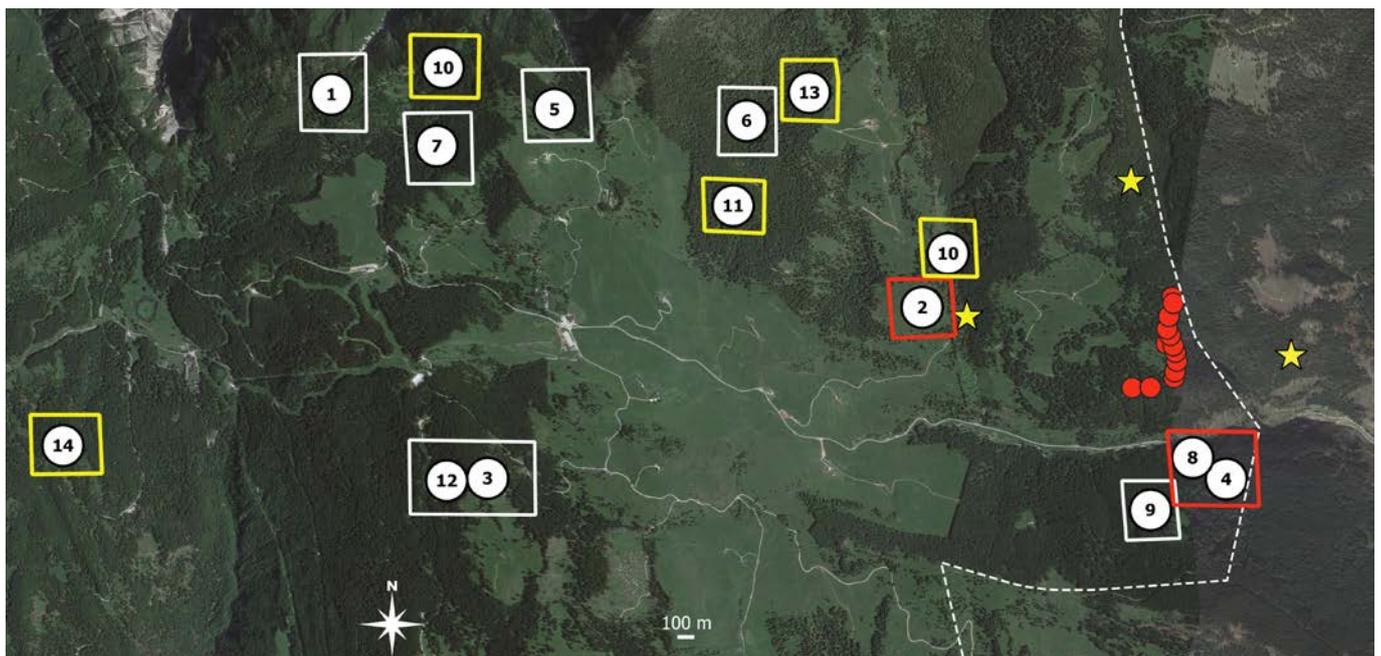


Fig. 6 – Numero di repliche (quadrati rossi: 3; gialli: 2; bianchi 1) per area di ricerca effettuate in condizioni ottimali o subottimali (durante precipitazioni o entro 1 ora dopo) nella Macroarea A (altopiano di Vezzena). / **Fig. 6** – Number of surveys in optimal and sub-optimal weather conditions (during rain or one hour later) performed in each research site located in Area A (Vezzena plateau).

Tab. 1 – Numero di repliche nelle aree di studio in ciascuna delle due macroaree (Altopiano di Vezzena e della Marcesina), effettuate in condizioni ottimali o subottimali (durante precipitazioni o entro 1 ora dopo) / **Tab. 1** – Number of surveys in the study areas within each of the two macro-areas (Vezzena Plateau and Marcesina Plateau), performed under optimal or suboptimal conditions (during precipitation or within 1 hour thereafter).

AREE	N REPLICHE
Altopiano di Vezzena	
2-8-4	3
10-11-13-14	2
1-3-5-6-7-9-12	1
Altopiano della Marcesina	3

Ringraziamenti

Si ringraziano il Comune di Levico Terme per il supporto logistico ed in particolare per la collaborazione tecnica sul campo ai custodi forestali Nicola Gozzer e Fabrizio Iori; il Direttore Dr. Giorgio Zattoni dell'Ufficio distrettuale forestale di Pergine Valsugana, con il personale della Stazione forestale di Levico, il dr. Alessandro Wolinsky del Servizio Foreste e la dr.ssa Elisabetta Romagnoni del Servizio Sviluppo Sostenibile e Aree Protette. Un grazie particolare a quanti hanno contribuito in varia misura alle ricerche di campo e in modo particolare a Elena Garollo, Michele Menegon e Danio Miserocchi. Le ricerche sono state cofinanziate da Provincia Autonoma di Trento, Servizio Sviluppo Sostenibile Aree Protette, LIFE T.E.N. e MUSE.

Bibliografia

- Andreone F., De Michelis S. & Clima V., 1999 - A montane amphibian and its feeding habits: *Salamandra lanzai* (Caudata, Salamandridae) in the Alps of northwestern Italy. *Italian Journal of Zoology*, 66: 45-49.
- Basile M., Romano A., Costa A., Posillico M., Scinti Roger D., Crisci A., Raimondi R., Altea T., Garfi V., Santopuoli G., Marchetti M., Salvidio S., De Cinti B. & Matteucci G., 2017 - Seasonality and microhabitat selection in a forest-dwelling salamander. *The Science of Nature – Naturwissenschaften*, 104: 80.
- Beukema W. & Brakels P., 2008 - Discovery of *Salamandra atra aurorae* (Trevisan, 1982) on the Altopiano di Vezzena, Trentino (Northeastern Italy). *Acta Herpetologica*, 3: 77-81.
- Bonato L. & Fracasso G., 2000 - *Salamandra alpina*, *Salamandra atra* Laurenti, 1768; *salamandra di Aurora*, *Salamandra atra aurorae* Trevisan, 1982. In: Gruppo Nisoria & Mus. nat. arch. Vicenza, Gilberto Padovan (eds.), *Atlante degli Anfibi e dei Rettili della provincia di Vicenza*. Vicenza: 43-47.
- Bonato L. & Fracasso G., 2003 - Movements, distribution pattern and density in a population of *Salamandra atra aurorae* (Caudata: Salamandridae). *Amphibia-Reptilia*, 24: 251-264.
- Bonato L. & Fracasso G., 2015. Epigeal habitat of a population of *Salamandra atra aurorae*: a preliminary analysis. In: Doria G., Poggi R., Salvidio S. & Tavano M. (eds.), *Atti X Congresso Nazionale Societas Herpetologica Italica*. Ianieri Edizioni, Pescara: 47-55.
- Bonato L. & Grossenbacher K., 2000 - On the distribution and chromatic differentiation of the Alpine Salamander *Salamandra atra* Laurenti, 1768, between Val Lagarina and Val Sugana (Venetian Prealps): an updated review. *Herpetozoa*, 13: 171-180.
- Bonato L. & Steinfartz S., 2005 - The evolution of the melanistic

colour in the Alpine Salamander *Salamandra atra* as revealed by a new subspecies from the Venetian Prealps. *Italian Journal of Zoology*, 72: 253-260.

- Bonato L., Fracasso G. & Luiselli L., 2007 - *Salamandra atra* Laurenti, 1768. In Lanza B., Andreone F., Bologna M.A., Corti C. & Razzetti E. (eds.), *Fauna d'Italia*. Vol. XLII. Amphibia. Edizioni Calderini, Bologna: 197-211.
- Brambilla M., Pedrini P., Prosser F., Bertolli A., 2013. Individuazione delle priorità di conservazione per specie e habitat delle direttive "Uccelli" e "Habitat". LIFE+T.E.N - Azione A2. 46 pp.
- Brown J.H. 1984 - On the relationship between abundance and distribution of species. *American Naturalist*, 124: 255-279.
- Darroch J.N., 1958 - The Multiple-Recapture Census: I. Estimation of a Closed Population. *Biometrika*, 45: 343-359.
- DeMaynadier P. G. & Hunter M.L.J., 1998 - Effects of silvicultural edges on the distribution and abundance of amphibians in Maine. *Conservation Biology*, 12: 340-352.
- Davis J.C., Castleberry S.B. & Kilgo J.C., 2010 - Influence of coarse woody debris on herpetofaunal communities in upland pine stands of the southeastern Coastal Plain. *Forest Ecology and Management*, 259: 1111-1117.
- Dormann C.F., Elith J., Bacher S., Buchmann C., Carl G., Carré G., Marquéz J.R.G., Gruber B., Lafourcade B., Leitão P.J., Münkemüller T., McClean C., Osborne P.E., Reineking B., Schröder B., Skidmore A.K., Zurell D. & Lautenbach S., 2013 - Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36: 27-46.
- Eccel. E. & Saibanti S., 2005 - Inquadramento climatico dell'Altopiano di Lavarone-Vezzena nel contesto generale trentino. *Studi Trentini di Scienze Naturali Acta Geologica*, 82: 111-121.
- Elmer M., La France M., Förster G. & Roth M., 2004 - Changes in the decomposer community when converting spruce monocultures to mixed spruce/beech stands. *Plant and Soil*, 264: 97-109.
- Ermacora M., 2009. Lo sfruttamento delle risorse forestali in Italia durante il primo conflitto mondiale. *Venetica - Rivista degli Istituti per la storia della Resistenza di Belluno, Treviso, Venezia, Verona e Vicenza*, 20: 53-76.
- Frankham R., 1995 - Effective population size/adult population size ratios in wildlife: a review. *Genetic Research*, 66: 95-107.
- Gaston K.J., 2003 - *The structure and dynamics of geographic ranges*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Gaston K.J., 2009 - Geographic range limits: achieving synthesis. *Proceedings of the Royal Society Biology*, 276: 1395-1406.
- Goszczyński J., Postuszny M., Pilot M. & Gralak B., 2007 - Patterns of winter locomotion and foraging in two sympatric marten species: *Martes martes* and *Martes foina*. *Canadian Journal of Zoology*, 85: 239-49.
- Grossenbacher K., 1995 - *Was ist mit Salamandra atra aurorae los?* *Elaphe* (N.F.), 3: 6-8.
- Harmon, M.E. & Sexton J., 1996 - *Guidelines for Measurements of Woody Detritus in Forest Ecosystems*, US LTER Publication No. 20, Seattle, WA, USA: US LTER Network Office, University of Washington.
- Harmon M.E., Nadelhoffer K.J. & Blair, J.M., 1999 - *Measuring decomposition, nutrient turnover, and stores in plant litter*. In: Robertson G. P., Coleman D. C., Bledsoe C. S. et al. (eds.), *Standard Soil Methods for Long Term Ecological Research*, New York: Oxford University Press, 202-234.
- Hengeveld R. & Haeck J., 1982 - The distribution of abundance. I. Measurements. *Journal of Biogeography*, 9: 303-316.
- Indermaur L., Winzler T., Schmidt B.R., Tockner K. & Schaub M., 2009 - Differential resource selection within shared habitat types across spatial scales in sympatric toads. *Ecology*, 90: 3430-3444.
- Indermaur L. & Schmidt B.R., 2011 - Quantitative recommendations for amphibian terrestrial habitat conservation derived from habitat selection behavior. *Ecological Application*, 21: 2548-2554.
- Jehle R., Arntzen J.W., Burke T., Krupa A.P. & Hödl, W., 2001 - The annual number of breeding adults and the effective population size of syntopic newts (*Triturus cristatus*, *T. marmoratus*). *Mo-*

- Journal of Molecular Ecology*, 10: 839-850.
- Kalinowski S.T. & Waples R.S., 2002 - Relationship of effect to census size in fluctuating populations. *Conservation Biology*, 16: 129-136.
- Klewen, R. 1986 - *Untersuchungen zur Verbreitung, Öko-Ethologie und innerartlichen Gliederung von Salamandra atra (Laurenti 1768)*. Doctoral Thesis, Universität Köln, Köln, Germany, 1986.
- Klewen R. 1988 - *Die Landsalamander Europas 1: Die Gattungen Salamandra und Mertensiella*. Die Neue Brehm-Bücherei 584. Wittenberg Lutherstadt, Ziemsen Verlag.
- Kula E., Lazorik M., 2015 - Comparison of Myriapoda in beech and spruce forests. *Journal of Forest Science*, 61: 306-314.
- Lefosse S., Romanazzi E., Pedron V. & Bonato L., 2016 - Efficacia di diversi metodi di rilevamento della salamandra di Aurora, *Salamandra atra aurorae*, nell'Altopiano dei sette Comuni (Caudata). Bollettino del Museo di Storia Naturale di Venezia, 66 (suppl.): 76-81.
- MacKenzie D.I., Bailey L.L., 2004 - Assessing the fit of site-occupancy models. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 9: 300-318.
- MacKenzie D.I., Nichols J.D., Royle J.A., Pollock K.H., Bailey L. & Hines J.E., 2017 - *Occupancy estimation and modeling: inferring patterns and dynamics of species occurrence, 2nd Edition*. Elsevier.
- Magnini L., Bettinsechi C. & De Guio A., 2017 - Object-based Shell Craters Classification from LiDAR-derived Sky-view Factor. *Archaeological Prospection*, 24: 211-223.
- Nunney L., 1993 - The influence of mating system and overlapping generations on effective population size. *Evolution*, 47: 1329-1341.
- Nunney L., 1995 - Measuring the ratio of effective population size to adult numbers using genetic and ecological data. *Evolution*, 49: 389-392.
- Nunney L. & Elam D.R., 1994 - Estimating the effective population size of conserved populations. *Conservation Biology*, 8: 175-184.
- Ober H.K. & Minogue P.J., 2007 - *Dead wood: Key to enhancing wildlife diversity in forests, Wildlife Ecology and Conservation*. Gainesville, FL.
- Otis D.L., Burnham K.P., White G.C. & Anderson D.R., 1978 - Statistical inference from capture data on closed animal populations. *Wildlife Monographs*, 62: 1-135.
- Otto C.R., Kroll A.J. & McKenny, H.C., 2013 - Amphibian response to downed wood retention in managed forests: a prospectus for future biomass harvest in North America. *Forest Ecology and Management*, 304: 75-285.
- Pedley S.M., Martin R.D., Oxbrough A., Irwin S., Kelly T.C. & O'Halloran J., 2014 - Commercial spruce plantations support a limited canopy fauna: Evidence from a multi taxa comparison of native and plantation forests. *Forest Ecology and Management*, 314: 172-182.
- Piraccini R., Cammarano M., Costa A., Basile M., Posillico M., Boitani L., Baschetto M., Matteucci G., De Cinti B. & Romano A., 2016 - Habitat trees and salamanders: Conservation and management implications in temperate forests. *Forest Ecology and Management*, 384: 17-25.
- Pollock K.H., Nichols J.D., Brownie C. & Hines J.E., 1990 - Statistical inference for capture-recapture experiments. *Wildlife Monographs*, 107: 1-97.
- Riberon A., Miaud C., Grossenbacher K. & Taberlet P., 2001 - Phylogeography of the Alpine salamander, *Salamandra atra* (Salamandridae) and the influence of the Pleistocene climatic oscillations on population divergence. *Molecular Ecology*, 10: 2555-2560.
- Rittenhouse T.A.G., 2007 - *Behavioral choice and demographic consequences of wood frog habitat selection in response to land use*. Unpubl. Ph.D. diss., University of Missouri, Columbia, Missouri.
- Rittenhouse T.A.G., Harper E.B., Rehard L.R. & Semlitsch R.D., 2008 - The role of microhabitats in the desiccation and survival of anurans in a recently harvested oak-hickory forest. *Copeia*, 2009: 807-814.
- Romanazzi E. & Bonato L., 2014 - Updating the range of the narrowly distributed endemites *Salamandra atra aurorae* and *S. atra pasubiensis*. *Amphibia-Reptilia*, 35: 123-128.
- Romanazzi E., Bonato L., Ficaretola G.F., Steinfartz S., Manenti R., Spilinga C., Andreone F., Fritz U., Corti C., Lymberakis L., Di Cerbo A.R., Gent T., Ursenbacher S. & Grossenbacher, K., 2012 - The golden Alpine salamander (*Salamandra atra aurorae*) in conservation peril. *Amphibia-Reptilia*, 33: 541-543.
- Romano A., Costa A., Basile M., Raimondi R., Posillico M., Scinti Roger D., Crisci A., Piraccini R., Raia P., Matteucci G. & De Cinti B., 2017 - Conservation of salamanders in managed forests: methods and costs of monitoring abundance and habitat selection. *Forest Ecology and Management*, 400: 12-18.
- Romano A., Costa A., Salvidio S., Menegon M., Garollo E., Tabarelli de Fatis K., Miserocchi D., Matteucci G. & Pedrini P., 2018a - Forest management and conservation of an elusive amphibian in the Alps: habitat selection by the Golden Alpine Salamander reveals the importance of Fine Woody Debris. *Forest Ecology and Management*, 424: 338-344.
- Romano A., lemma A., Tabarelli De Fatis K., Anderle M., Roner L., Garollo E., Matteucci G. & Pedrini P., 2018b. *Salamandra atra aurorae* in Trentino: pianificazione del metodo di campionamento per rilevarne la presenza ed estenderne l'areale di distribuzione. In Tripepi S., Bernabò I., Brunelli E., Macirella R. & Sperone E. - *Atti XII Congresso Nazionale Societas Herpetologica Italica* - Rende 1-5 ottobre 2018.
- Rondinini C., Battistoni A. & Teofili, C. (eds.), 2022 - *Lista Rossa IUCN dei vertebrati italiani 2022*. Comitato Italiano IUCN e Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, Roma.
- Rosenberg N.J., Blad B.L. & Verma S.B., 1983 - *Microclimate-the biological environment*. John Wiley and Sons, Inc., New York, New York
- Schmeller D.S & Merila, J., 2007 - Demographic and genetic estimates of effective population and breeding size in the amphibian *Rana temporaria*. *Conservation Biology*, 21: 142-151.
- Schue S., Albers D., Alpeh J., Buryr R., Klages U., Migge S., Platner C. & Salamon J.A., 2003 - The soil fauna community in pure and mixed stands of beech and spruce of different age: trophic structure and structuring forces. *Oikos*, 101: 225-238
- Trevisan, P., 1982 - A new subspecies of alpine salamander. *Bollettino di zoologia*, 49: 235-239.
- White G.C., Anderson D.R., Burnham K.P. & Otis D.L., 1982 - *Capture-recapture and removal methods for sampling closed populations*. Los Alamos, Los Alamos National Laboratory.
- Weller D.E., 1987 - A reevaluation of the 3/2 power rule of plant self-thinning. *Ecological monographs*, 57: 23-43.
- Wilson K. & Hardy I.C.W., 2002 - *Statistical analysis of sex ratios: an introduction*. In: Hardy, I.C.W. (eds.) - *Sex Ratios - Concepts and research methods*, Cambridge University Press, Cambridge: 48-92.
- Wright S., 1938 - Size of population and breeding structure in relation to evolution. *Science*, 87: 430-431.
- Yakimowski S.B. & Eckert C.G., 2007 - Threatened peripheral populations in context: geographical variation in population frequency and size and sexual reproduction in a clonal woody shrub. *Conservation Biology*, 21: 811-822.