



Articolo / Article

Il monitoraggio della salamandra alpina (*Salamandra atra*) nel Parco di Paneveggio – Pale di San Martino

Luca Roner^{1,2*}, Matteo Trenti¹, Paolo Pedrini¹, Piergiovanni Partel³, Antonio Romano^{1,2}

¹ MUSE - Museo delle Scienze, Ufficio Ricerca e collezioni museali, Ambito 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 Ente Parco Naturale di Paneveggio Pale di San Martino, Località Castelpietra, 2, 38054 San Martino di Castrozza (TN)

Parole chiave

- Alpi
- Anfibi
- Demografia
- Distribuzione
- Abbondanza di popolazione
- Trentino

Riassunto

Nell'ambito del piano di monitoraggio per la Rete Natura 2000, a partire dal 2017 il Muse e il Parco di Paneveggio - Pale di San Martino hanno avviato una collaborazione per lo studio della popolazione di *Salamandra atra* presente nell'area protetta. Dal 2019 le ricerche si sono focalizzate sull'implementazione di un protocollo di monitoraggio da applicare con cadenza annuale in diversi siti. Le informazioni riguardo l'abbondanza e la distribuzione della specie sono infatti piuttosto scarse a causa delle difficoltà di campionamento: tali criticità sono legate all'accessibilità dei siti, al riconoscimento individuale e alle condizioni meteorologiche di operatività. Nel 2019 sono stati individuati 10 potenziali percorsi la cui idoneità al monitoraggio è stata verificata tramite uno score che ha tenuto in considerazione 3 fattori principali i) idoneità ambientale ii), accessibilità iii), sicurezza del transetto. Nel 2020 è stato invece effettuato il monitoraggio attraverso la tecnica del Doppio Osservatore Dipendente (DOD) in 3 siti identificati nel 2019. I risultati ottenuti indicano un'ottima efficacia di tale metodologia con un'importante riduzione dello sforzo di campionamento ed una standardizzazione delle condizioni meteorologiche di rilevamento. L'applicazione annuale del protocollo di monitoraggio implementato nel biennio 2019/2020 consentirà di stimare l'abbondanza di *S. atra* in vari siti permettendo nel tempo una valutazione più ampia sullo stato di conservazione della specie.

Key words

- Alps
- Amphibians
- Demography
- Distribution
- Population abundance
- Trentino

Abstract

Since 2017 Muse and Paneveggio – Pale di San Martino National Park carried out specific studies on *Salamandra atra* population, as a part of Rete Natura 2000 monitoring plan. From 2019 research has focused on the development of a monitoring protocol to be applied in different sites annually. Due to several sampling difficulties, including morphological and ethological salamander characteristics, distribution and abundance of this species are poorly known. The suitability of 10 potential transects detected in 2019 was tested by a score that considered i) environmental suitability, ii) affordability, iii) sites security. In 2020 alpine salamander monitoring was performed in 3 suitable sites by Dependent – Double Observer technique for the first time. The high performance of this method is confirmed by our results: in addition, this technique provides an important reduction of sampling effort and lead to a weather conditions standardisation in different sites. The annual enforcement of this monitoring protocol in different sites will allow to estimate the individual abundance and density leading to a better evaluation of alpine salamander conservation.

* Autore corrispondente:

luca.roner@muse.it, lucaroner@gmail.com

Redazione: Valeria Lencioni e Marco Avanzini

pdf: <https://www.muse.it/home/ricerca-e-collezioni/editoria-muse/riviste-e-collane/studi-trentini-di-scienze-naturali/volumi-e-articoli-stsn-dal-2016/stsn-vol-102-2023/>

Roner L., Trenti M., Pedrini P., Partel P., Romano A., 2023 – Il monitoraggio della salamandra alpina (*Salamandra atra*) nel Parco di Paneveggio – Pale di San Martino. Studi Trentini di Scienze Naturali, 102: 15-22.

Introduzione

La salamandra alpina, *Salamandra atra* (Laurenti 1768), è un anfibio urodelo completamente terrestre. La specie è politipica, costituita da quattro sottospecie delle quali tre presenti in Italia. La sottospecie sulla quale è stato condotto lo studio è quella nominale, *S. atra atra*, in assoluto la più diffusa. L'areale della salamandra alpina comprende i maggiori rilievi alpini centro-orientali fino alle Alpi Dinariche, ad ovest fino alle Alpi Bernesi e Prealpi di Savoia (Guex & Grossenbacher 2004), ad est lungo la Penisola Balcanica fino alle Alpi Albanesi (Haxhiu 1994; Grossenbacher 1994, 1997) e a nord-est raggiunge la Stiria fino allo Schneeberg e al Wechsel, la Koralpe e le Caravanche (Klewen 1988; Cabela et al. 2001). La presenza e la distribuzione di *S. atra* sulle Alpi ricalca quella dei substrati alcalini e calcarei evidenziando una distribuzione frammentata che potrebbe rispecchiare reali lacune distributive come pure una carenza di indagini specifiche. Alcuni Autori (Grossenbacher 1994; Caldonazzi et al. 2002) sostengono che le differenze chimico-pedologiche tra i substrati potrebbero influenzare la presenza della salamandra alpina la quale sembra preferire quelli carbonatici, più ricchi di rifugi e tipici delle Prealpi, a quelli principalmente cristallini delle Alpi interne. In Italia l'habitat è costituito da boschi a prevalenza di faggio (*Fagus sylvatica*) o conifere (*Picea abies*, *Abies alba*), arbusteti a pino mugo (*Pinus mugo*) od ontano verde (*Alnus viridis*), praterie scorticate altomontane e substrati rupestri quali macereti e falde detritiche (Lanza et al. 2007). I siti di presenza si collocano ad un'altitudine compresa tra i 900 m (Lapini 1984) e i 2600 m s.l.m. (Pozzi 1980). La riproduzione è ovovivipara, interamente svincolata da ambienti acquatici a causa dell'adattamento all'alta quota, con una durata della gestazione che varia da due a quattro anni (Wunderer 1909, 1910; Vilter & Vilter 1960) e il parto di uno/quattro individui (generalmente due) per ciclo riproduttivo. L'attività è di norma concentrata nei mesi più caldi (aprile-ottobre), mentre nel resto dell'anno le salamandre risultano inattive (Klewen 1988).

La salamandra alpina rientra nell'Allegato IV della direttiva "Habitat" (92/43/CEE), che comprende le specie di interesse comunitario per le quali è prevista una protezione rigorosa e nell'appendice II della Convenzione di Berna. I fattori ecologici da tenere in considerazione per la conservazione di questa specie sono principalmente legati alla tutela dell'habitat elettivo; essendo infatti una specie stenoecia necessita di habitat con particolari caratteristiche e la sua diffusione è strettamente legata alla disponibilità di tali tipologie di ambienti (Di Cerbo et al. 2014). In Trentino l'habitat corrisponde ad ambienti a vegetazione semiaperta con substrati di macereti, ghiaioni e aree rocciose stabili, con condizioni climatiche e microclimatiche relativamente umide, scarsa copertura vegetale e abbondante presenza di rifugi naturali. La presenza di prati a sfalcio e pascoli non sembra avere influenze negative sulla sottospecie nominale (Geiger 2006). Le principali minacce alla conservazione della salamandra alpina sono rappresentate quindi dalla distruzione dell'habitat attraverso interventi quali costruzione di impianti sciistici o strutture turistiche con livellamento del terreno e asportazione del materiale roccioso o della copertura vegetale. Le informazioni riguardo la presenza e l'abbondanza di una specie all'interno del proprio areale sono indispensabili per valutare le azioni di conservazione da intraprendere e la loro efficacia (Seber 1982; Yoccoz et al. 2001; Williams et al. 2002). Nonostante la distribuzione della salamandra alpina sia, pur con qualche lacuna, nota a scala nazionale (cfr. Atlante nazionale), gran parte delle popolazioni non sono state oggetto di monitoraggi nemmeno nelle recenti ricerche e revisioni a livello regionale (Andreone & Sindaco 1999; Lapini et al. 1999; Caldonazzi et al. 2002; Grossenbacher 2004; Bonato 2007). Trattandosi inoltre di una specie di estremo interesse conservazionistico, valutata a scala provinciale fra quelle della Direttiva Habitat maggiormente meritevoli d'attenzione (Pedrini et al., 2013; LIFE T.E.N.) nel 2017 sono stati avviati, in collaborazione con il Parco Paneveggio - Pale di San Martino, una serie di ricerche nel settore dolomitico di quest'area protetta, ritenuta per i dati pregressi la più idonea e importante (cfr. Caldonazzi et al., 2002; Atlante provinciale

in prep.) L'abbondanza locale della specie ha permesso ai ricercatori di svolgere indagini che hanno apportato un importante contributo alla conoscenza della biologia e dell'ecologia della salamandra nera. Fin dall'inizio dell'attività le ricerche si sono infatti concentrate su aspetti poco noti, non solo a livello locale ma anche nazionale e internazionale. Nel 2017 Romano e colleghi (Romano et al. 2018) hanno realizzato in Val Venegia uno dei pochi studi italiani riguardo gli aspetti morfometrici e demografici di una popolazione di *S. atra* mentre nel 2018 i ricercatori del Muse hanno analizzato per la prima volta, in modo completo e rigoroso, la strategia trofica e la selezione delle prede della salamandra nera (Roner et al. 2020).

Nel biennio 2019/2021, è stato avviato il presente studio finalizzato a validare tecniche e modalità utili a definire un protocollo di monitoraggio della popolazione, applicabile e ripetibile negli anni, ai fini di effettuare un monitoraggio della specie per la Rete Natura 2000 della Provincia Autonoma di Trento (PAT) nell'area campione individuata nel Parco di Paneveggio - Pale di San Martino. Nel presente lavoro si descrive e discute il protocollo di indagine sperimentato e adottato, con i risultati conseguiti; tale protocollo metodologico, validato grazie al confronto con altre esperienze maturate negli studi citati, deve garantire la sua periodica ripetizione negli anni in uno sforzo di campo proporzionato alle risorse disponibili, a garanzia di una valutazione oggettiva dello stato di conservazione di questa specie in Trentino. Il presente contributo è focalizzato sulle indagini svolte nel biennio 2019/2021, le quali si sono concentrate principalmente sul monitoraggio delle popolazioni di salamandra alpina del Parco di Paneveggio - Pale di San Martino con i seguenti obiettivi:

- Individuazione di nuovi siti e percorsi idonei al monitoraggio della specie, con particolare riferimento all'accessibilità dei transetti e alla sicurezza degli operatori (2019).
- Testare e validare l'utilizzo di nuove tecniche di monitoraggio speditive e non invasive, atte a superare o mitigare le problematiche imposte dalle caratteristiche morfologiche ed ecologiche della specie (2020).
- Effettuare solide stime demografiche per i siti selezionati (2020) utilizzando le tecniche implementate per approfondire le esigenze ecologiche della specie a livello di microhabitat.

Materiali e metodi

Individuazione di nuovi siti idonei al monitoraggio (2019)

Per definire l'idoneità dei siti idonei al campionamento nel 2019 sono stati individuati, grazie a dati pregressi e sopralluoghi specifici, 10 potenziali siti idonei al monitoraggio delle popolazioni di salamandra alpina nel Parco Naturale di Paneveggio - Pale di San Martino. Sono stati dunque selezionati nell'area del Parco 10 potenziali percorsi, verificati in seguito da almeno un sopralluogo (Figura 1). L'idoneità complessiva di ogni transetto è stata valutata attraverso un punteggio considerando i seguenti fattori:

1. Idoneità ambientale. Valutata secondo i seguenti criteri:

- Esposizione: la salamandra sembra prediligere versanti con esposizione Sud (S-W o S-E) e considerando i pochi mesi di attività, è probabile che le temperature rigide e l'innevamento che si protraggono per molti mesi sui versanti esposti a Nord costituiscano un fattore limitante per la presenza della specie;
- Quota: tenendo in considerazione quella nota per la specie nel Parco e nelle aree limitrofe (1400-2300 m s.l.m.);
- Uso del suolo: in Trentino la salamandra alpina frequenta, in ordine di preferenza (i) aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota, (ii) aree marginali di boschi di conifere, (iii) aree a rocce nude; distanza e continuità orografica da siti noti di presenza: minore la distanza maggiore è stata considerata l'idoneità del sito;
- Valutazione sul campo: durante i sopralluoghi è stata valutata la presenza di rifugi erbosi (es: cuscinetti di Erica), inclinazioni delle scarpate lungo il transetto ed altri fattori favorevoli alla presenza della specie.

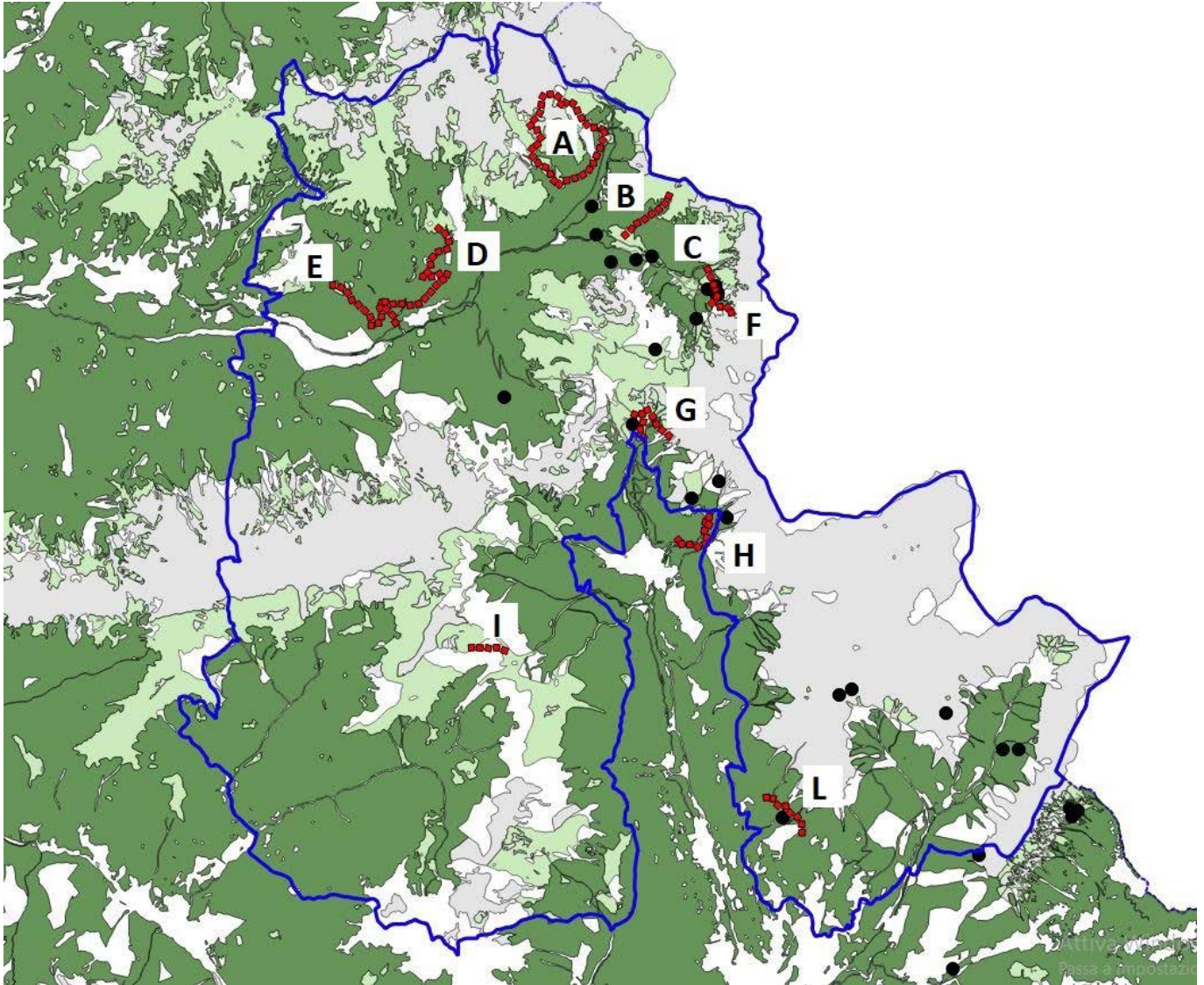


Fig. 1 - Panoramica e codice alfabetico (A-L) dei transesti effettuati per verificare l' idoneità dei siti alla presenza di nuove popolazioni di *S. atra* e al loro eventuale monitoraggio. / **Fig. 1** - Overview of transects (A- L) used to verify site suitability for presence and monitoring of *S. atra*.

2. Accessibilità. Valutata secondo i seguenti criteri:

- Distanza dalle strade principali: distanza percorribile in auto per arrivare al sito.
- Condizioni del manto stradale: considerazione delle condizioni delle strade sterrate valutando la possibilità di percorrerle con diversi mezzi (auto "normale", "Suv") o necessità di un fuoristrada con 4x4 e ridotte.

3. Sicurezza. Considerando la necessità di effettuare i monitoraggi in condizioni di massima detection probability (ore serali o notturne, a seguito di piogge e durante le stesse) la sicurezza del transetto è stata valutata considerando:

- Scivolosità del substrato
- Ampiezza del sentiero
- Presenza di precipizi etc.

4. Esito della verifica. I sopralluoghi ai siti non sono avvenuti sempre in condizioni ottimali per l'attività delle salamandre. La verifica è stata effettuata in 3 differenti momenti e condizioni di idoneità:

- Verifica diurna in assenza di precipitazioni = condizioni non ottimali. In queste condizioni, dal momento che l'attività delle salamandre è molto bassa, l'esito negativo della verifica stessa è considerato poco informativo.
- Verifica notturna = condizioni sub-ottimali. Effettuata almeno dopo un'ora dal tramonto del sole e entro le ore 01:00, in con-

dizioni di cielo sereno o nuvoloso.

- Verifica notturna con pioggia = condizioni ottimali. Considerate ottimali anche in assenza di precipitazioni che tuttavia erano cessate non più di 3 ore prima e pertanto con un tasso di umidità al suolo molto elevato.

Mentre l'esito negativo di presenza delle salamandre in condizioni diurne è stato considerato come una possibile pseudo-assenza, al contrario l'esito negativo di verifica in condizioni ottimali (orari serali/notturni, in seguito a piogge o durante le stesse) è stato considerato altamente indicativo dell'assenza della specie. L'esito dei sopralluoghi notturni in condizioni di scarsa umidità (precipitazioni antecedenti le 12 ore) è stato considerato mediamente indicativo. Ad ognuno dei fattori sopra indicati è stato attribuito un punteggio tra 0 e 10 (dal peggiore al migliore). Il punteggio totale per ogni sito è stato calcolato in questo modo:

$$(1) \text{ Punteggio sito} = \frac{\text{Idoneità ambientale} + \text{Accessibilità} + \text{Sicurezza} + \text{Esito Verifica}}{4}$$

I sopralluoghi effettuati in condizioni ottimali, pur essendo altamente indicativi, potrebbero non rilevare la presenza della specie in caso di popolazioni a bassa densità. L'obiettivo tuttavia è di individuare i siti con la presenza di popolazioni più abbondanti, al fine di evitare una sottostima delle popolazioni e facilitare l'identificazione di

fluttuazioni positive o negative, ottenendo quindi informazioni quanto più veritiere possibili riguardo lo status di conservazione della popolazione all'interno del Parco. Per questo motivo, nel caso di mancato rilevamento della presenza delle salamandre in condizioni ottimali, all'esito della verifica è stato attribuito un punteggio pari alla somma dei primi 3 fattori ma con segno negativo, in modo da ottenere 0 come punteggio finale.

Monitoraggio della salamandra alpina (2020).

Il monitoraggio delle salamandre nella stagione 2020 rappresenta il naturale proseguimento del lavoro svolto nel 2019 il quale ha permesso di individuare siti idonei, sicuri e facilmente accessibili. Il metodo selezionato per la raccolta dati è noto come metodo *Multiple Observer* (Tabella 16 in Southwell 1996) è stato ampiamente utilizzato con animali facilmente osservabili a lunga distanza (eg. Vrtiska & Powell 2011) o con tracce quali ad esempio le uova di anfibio (e.g., Grant et al. 2005). Nell'approccio *Multiple Observer* gli individui vengono avvistati e registrati da due o più osservatori, dipendenti o indipendenti, con un protocollo che consente la suddivisione degli avvistamenti di ciascun operatore. I dati ottenuti utilizzando il metodo degli osservatori multipli vengono analizzati attraverso l'utilizzo dei *multinomial N-mixture models*, una generalizzazione dei *binomial N-mixture models* (Royle 2004 b) e che possono essere considerati una variante gerarchica di un modello CMR (Kéry 2018). I *multinomial N-mixture models*, recentemente applicati assieme al metodo del Doppio Osservatore Indipendente alle salamandre terrestri (*Speleomantes strinatii*), hanno dimostrato di essere molto efficaci nella stima dell'abbondanza di una popolazione anche in condizioni di densità e *detection probability* relativamente basse, con dati ottenuti in una singola sessione di campionamento e senza la necessità di manipolare gli animali (Costa et al. 2020). La provata efficacia di tale metodologia e il limitato sforzo sul campo necessario alla sua implementazione permettono di ridurre al minimo le inevitabili difficoltà da affrontare nel monitoraggio di una specie elusiva come la salamandra alpina. In questo studio, a causa delle caratteristiche dei siti di monitoraggio e della specie, sono stati utilizzati i *multinomial N-mixture models* con dati raccolti attraverso il metodo del Doppio Osservatore Dipendente (Cook & Jacobson 1979; Nichols et al. 2000) dal momento che risultava più pratica e adatta, al contesto in cui operava, la sua applicazione sul campo. Il metodo del Doppio Osservatore Indipendente è infatti inapplicabile nel caso di *S. atra*, poiché richiede che i due osservatori lavorino autonomamente, ma poi riescano a risalire a quali individui sono stati visti da entrambi e quali da uno solo degli osservatori (in Costa et al. 2020 i ricercatori hanno lavorato con piccoli plot da 9 mq, si vedano i metodi riportati nel loro lavoro). Nel nostro caso di studio invece, avendo plot (ovvero i sotto-transetti) in continuità, e osservando animali quasi sempre in movimento, la ricostruzione a posteriori degli individui osservati dai singoli rilevatori non era possibile.

Protocollo di campionamento e analisi dei dati

Per il campionamento sono stati selezionati tre siti idonei tra quelli testati nel 2019:

- Malga Venegia – Forcella Venegia (GIA)
- Malga Venegiota – Busa dei Laibi s. 749 (OTA)
- Malga Fosse s.712 (FOS)

Lungo i sentieri sono stati predisposti dei transetti di 300 m suddivisi in 30 sub-transetti da 10 m ciascuno, delimitati da paletti dipinti con vernice arancione fluo e con un numero identificativo progressivo su etichetta impermeabile. È stata inoltre rilevata per ogni sub-transetto la larghezza media, la copertura arborea e la presenza/assenza di rifugi, come cuscinetti di Erica e accumuli di massi di piccole/medie dimensioni. Ad agosto 2020, in condizioni di massima *detection probability*, sono stati effettuati i rilievi attraverso il metodo del Doppio Osservatore Dipendente (DOD). Due operatori (A e B) hanno percorso insieme ogni transetto alternando la propria posizione in fila (1 e 2). L'operatore 1 aveva il compito di contare e segnalare all'operatore 2 le salamandre avvistate all'interno di ogni singolo sub-transetto,

mentre l'operatore 2 si è occupato di rilevare gli individui non avvistati dall'operatore 1 (evitando qualsiasi commento). I rilievi sui transetti sono stati effettuati in un tempo compreso tra 30 e 45 minuti. I dati così raccolti sono stati analizzati mediante il software DOBSERV (Nichols et al. 2000) utilizzando l'opzione per osservatori dipendenti (*Dependent observers*). In questo programma le stime della probabilità di rilevamento (*detection probability* = p) vengono generate in base a diversi modelli. I modelli possibili e di interesse per i nostri dati sono molto ridotti dal momento che si stanno elaborando dati relativi ad una sola specie, e sono definiti come segue:

$P(.,.) \rightarrow$ la *detection probability* è la stessa per entrambi gli osservatori.

$P(., l) \rightarrow$ la *detection probability* è diversa tra gli osservatori.

Dalle stime di *detection probability* e considerando i numeri osservati di salamandre (X) il programma calcola le stime della dimensione della popolazione (N). Sebbene questo calcolo sia apparentemente banale ($N = X / p$; dove X = numero di singole salamandre osservate da uno degli osservatori), il calcolo dell'errore standard non lo è. Per ottenere questa stima, il programma DOBSERV ricrea il file di input SURVIV con parametri ridefiniti. Invece di p_1 (*detection probability* dell'osservatore 1) e p_2 (*detection probability* dell'osservatore 2), i parametri sono definiti come p' (*detection probability* globale di uno / entrambi gli osservatori) e p_1' (dove $p' = 1 - (1-p_1) * (1-p_2)$) e $p_1' = p_1 / p'$). Nei casi in cui $p_1 = 1$, il programma sostituisce p_2 per p_1 .

Risultati e discussione

Individuazione di nuovi siti per il monitoraggio (2019)

Dei dieci percorsi individuati sono stati considerati idonei al monitoraggio i transetti con punteggio > 9 (percorsi B, C e G; Tab. 1). Alcuni potrebbero risultare adatti a seguito di ulteriori sopralluoghi che accertino la presenza della specie, non rinvenuta nel 2019 (motivo per cui attualmente hanno ottenuto un punteggio basso). Per altri invece il punteggio inferiore alla soglia deriva da fattori di sicurezza o dalla difficoltà di accesso.

I tre siti risultati idonei per il campionamento sono:

- Sito B, Malga Venegia – Forcella Venegia: il percorso (Figura 2) partendo da Malga Venegia sale lungo un sentiero (n. 750) fino a Forcella di Venegia e si snoda principalmente lungo aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota incassate tra boschi di conifere, che lasciano spazio alle prime nella parte terminale del percorso. L'accesso è semplice e il sentiero abbastanza sicuro anche di notte. Sopralluoghi in condizioni sub-ottimali (pomeriggio con pioggia) effettuati da quattro rilevatori hanno evidenziato la presenza della specie a cominciare da circa 500 m dalla Malga con continuità ma non uniformità fino alla Forcella.
- Sito C, Malga Venegiota – Busa dei Laibi s. 749: sorpassata Malga Venegia, il percorso (Figura 3) imbrocca il sentiero n.749, con esposizione S-W. Dopo il passaggio su un primo impluvio, a 200 m dall'imbocco del sentiero, comincia la zona dove si rinvengono numerose salamandre. Il percorso si sviluppa principalmente in un contesto di versante vegetato a prati e pascoli. È il sito dove attualmente si sono svolte alcune ricerche negli ultimi anni e a cui si rimanda per maggiori dettagli (Romano et al. 2018; Rorer et al. 2020). L'accesso è semplice e il sentiero sicuro anche di notte. Svariati sopralluoghi in condizioni sub-ottimali (pomeriggio con pioggia) e ottimali (notte e pioggia) attestano la presenza di una cospicua popolazione di salamandra alpina.
- Sito G, Malga Fosse s.712: il percorso (Figura 4) si sviluppa lungo il sentiero 712 (Sentiero dei Finanziari) in ambiente aperto per un lungo tratto. Fornito di due accessi possibili molto sicuri e facili, alle spalle di Malga Fosse e dal ponte di Fosse. Questo secondo accesso permette il rilievo anche su un pendio con esposizione Est prima di raggiungere il sentiero 712. La presenza della specie è stata accertata con il rinvenimento di numerosi individui in condizioni ottimali, mentre sopralluoghi in condizioni

non ottimali non avevano dato buon esito.

In conclusione, dei 10 siti testati per il monitoraggio della specie nel Parco, alcuni sono risultati avere un'alta idoneità ad essere utilizzati come siti di monitoraggio, altri con idoneità nulla e altri ancora intermedia (Tabella 1). Più nello specifico:

- Il sito A è da scartare con certezza perché la specie risulta assente essendo stata effettuata la verifica in condizioni ottimali per il suo rilevamento.
- Tre siti (D, E e I) sono probabilmente da scartare perché è bassa la probabilità di presenza della specie (non verificata in condizioni ottimali per il suo rilevamento) e/o sono molto impegnativi da raggiungere.
- Tre siti (B, C e G) sono risultati per presenza, abbondanza della specie, accessibilità e sicurezza, altamente idonei al monitoraggio.
- Due siti (F e H), sebbene con presenza di salamandre accertata, sono risultati mediamente idonei al monitoraggio perché o difficoltosi e impegnativi da raggiungere o poco sicuri in condizioni di attuazione del monitoraggio (notte con pioggia).
- Infine presso il sito L, mediamente ottimo candidato al monitoraggio (sicuro e accessibile) e sebbene esistano segnalazioni pregresse di avvistamento, la specie non è stata accertata nel corso dei sopralluoghi anche in condizioni ottimali. Il sito non risulta quindi idoneo al monitoraggio.

La valutazione dei siti condotta nell'area campione del Parco potrebbe esser applicata in altre aree potenzialmente idonee dell'areale potenziale, storico (Caldonazzi et al. 2002) e recente (Atlante degli Anfibi e Rettili in prep.), dove la specie è stata sporadicamente segnalata.

Monitoraggio e stime demografiche della salamandra alpina (2020)

Come atteso la presenza di salamandre attive si è rivelata altamente subordinata alle condizioni meteorologiche: è risultato quindi

fondamentale effettuare i campionamenti in condizioni meteo altamente idonee per ottenere numerosità analizzabili e attendibili (Roner et al. 2021). La lunghezza dei sub-transetti, unitamente alle misure di larghezza comprese tra 1 e 7 metri lineari, ha consentito di determinare con precisione l'area campionata in ogni sito permettendo quindi anche un calcolo della densità. Le analisi effettuate indicano un'ottima efficacia del metodo DOD, con stime di abbondanza molto robuste. Le stime demografiche di *S. atra* ottenute per il campionamento migliore (con il più elevato numero di individui osservati), variano da 24 a 64 individui a seconda dei siti. Dalle analisi emerge un'altissima *detection probability* ($p > 0.9$) il che rende le stime molto prossime al numero totale dei conteggi, con range estremamente stretti. Sull'affidabilità del metodo DOD applicato su *S. atra*, può essere utile il confronto con il dato pregresso per Malga Venegiotta ottenuto con il metodo del *Removal Counts* da Romano et al. (2018): 47 individui/1000 mq (95% C.I = 31-63, calcolato con il *Delta method* riportato in Cooch & White 2018). Nel nostro studio, per la stessa area abbiamo valori perfettamente comparabili (55 ind/1000 mq). Pur tenuto conto che i dati sono stati raccolti in anni diversi (tre anni di distanza), non esistono ragioni per presumere cambiamenti nelle densità della popolazione studiata. Pertanto i due metodi sono in buon accordo, il che rende lecito considerare il metodo del DOD come perfettamente idoneo al monitoraggio della salamandra alpina. Inoltre il minimo scarto esistente tra i due metodi è anche imputabile al fatto che il DOD viene eseguito su una singola sessione e quindi fornisce una stima istantanea dell'abbondanza della popolazione, mentre il campionamento per rimozione si è esteso su più giorni e, quindi, include anche frazioni della popolazione non disponibili per la cattura durante i precedenti campionamenti e media le numerosità tra le varie giornate. L'analisi dei dati, attraverso l'utilizzo delle variabili ambientali rilevate sul campo e da remoto, ha inoltre permesso di identificare le esigenze della specie a livello di microhabitat: le salamandre sono risultate più abbondanti in quei sub-transetti con una copertura arborea intermedia e un indice di asperità del terreno (*Terrain Ruggedness Index*) elevato (Romano et al. 2021).

Tab. 1 - Riepilogo dei siti monitorati e punteggi delle variabili valutate considerando l'idoneità di presenza di salamandre e l'idoneità dei siti a essere utilizzati come aree di monitoraggio. Lo SCORE Indica l'idoneità per ogni sito calcolata come illustrato nel testo. L'ultima colonna, che indica la probabilità di presenza della specie, varia da 0% (specie ricercata in condizioni ottimali e non rilevata) al 100% (specie rilevata con un numero abbondante di individui); nd = salamandra non rilevata ma ricercata solo in condizioni non ottimali, quindi l'esito è di scarsa affidabilità. / Scores obtained considering suitability for species and other variables for each sites. The SCORE shows eligibility for each transects calculated as explained in text. Values in last column, ranging from 0% to 100%, indicates the probability of species occurrence.

ID SITO	Denominazione	Idoneità ambientale	Accessibilità	Sicurezza	Esito Verifica	SCORE	Salamandra P presenza
A	Anello Juribrutto	8	7	10	-25	0	0%
B	M. Venegia-Forc. Venegia	10	9	10	10	9,75	100%
C	M. Venegiotta s.749	10	10	10	10	10	100%
D	M. Bocche- s.626	5	8	10	0	5,75	nd
E	Paneveggio-Dossaccio	6	9	10	0	6,25	nd
F	M. Venegiotta-Mulaz s.710	9	9	8	8	8,5	100%
G	M. Fosse s.712	10	10	10	10	10	100%
H	Pala Monda	10	4	10	10	8,5	100%
I	M. Tognola	8	8	8	0	6	nd
L	Val Male s.7	9	9	9	0	6,5	0%

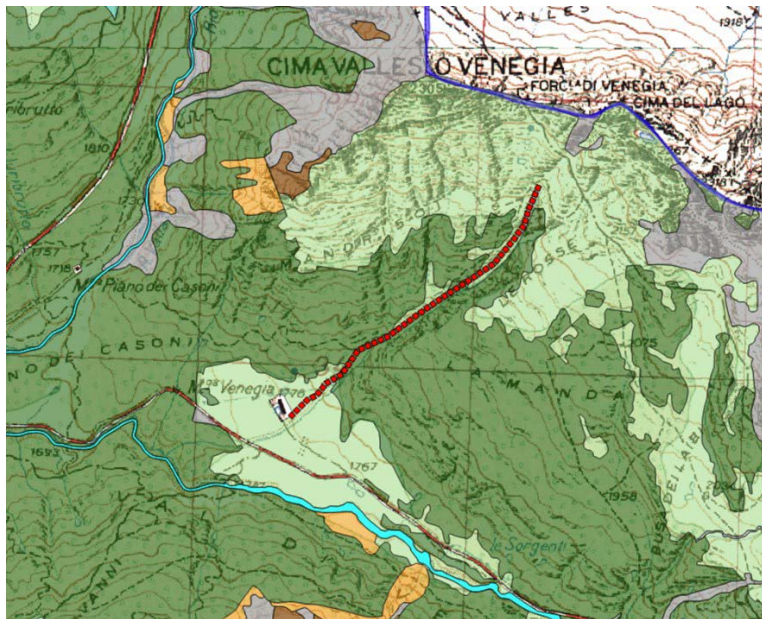


Fig. 2 - Sito B - Malga Venegia - Forcella Venegia. In Grigio= rocce nude; Verde chiaro = aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota; Verde scuro = Boschi di Conifere; Celeste = boschi misti; Ocra = arbusti e mugheti; Marrone = Rupi boscate; Rosa = brughiere e cespuglieti. / **Fig. 2** - Site B - Malga Venegia - Forcella Venegia. Grey= rocks; Light green = natural pasture and high-altitude grassland; Deep green= coniferous forests; Light blue= mixed forests; Ochre= shrubs and Pino mugo; Brown= wooded cliffs; Pink= moorland and bushes.

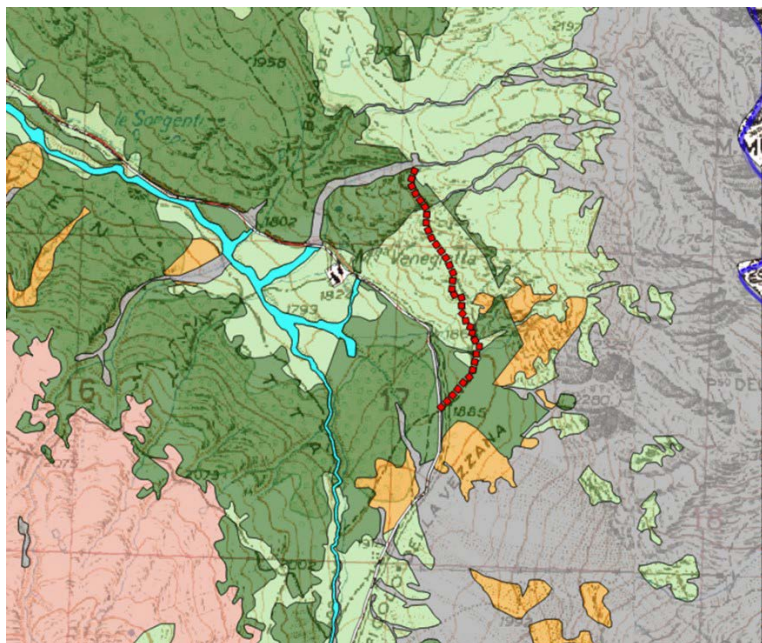


Fig. 3 - Sito C – sentiero 749. In Grigio= rocce nude; Verde chiaro = aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota; Verde scuro = Boschi di Conifere; Celeste = boschi misti; Ocra = arbusti e mugheti; Marrone = Rupi boscate; Rosa = brughiere e cespuglieti. / **Fig. 3** - Site C – trekking path 749. Grey= rocks; Light green = natural pasture and high-altitude grassland; Deep green= coniferous forests; Light blue= mixed forests; Ochre= shrubs and Pino mugo; Brown= wooded cliffs; Pink= moorland and bushes.

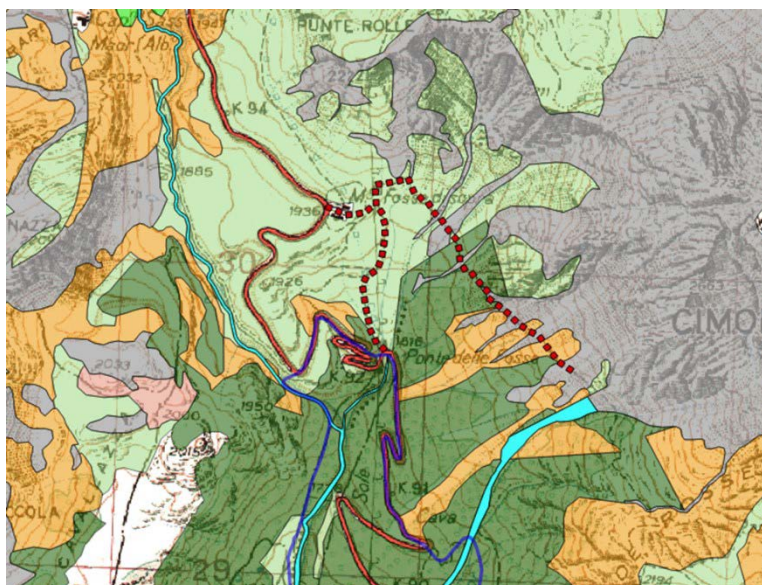


Fig. 4 - Sito G – sentiero 712- Malga Fosse. In Grigio= rocce nude; Verde chiaro = aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota; Verde scuro = Boschi di Conifere; Celeste = boschi misti; Ocra = arbusti e mugheti; Marrone = Rupi boscate; Rosa = brughiere e cespuglieti. / **Fig. 4** - Site G – trekking path 712 – Malga Fosse. Grey= rocks; Light green = natural pasture and high-altitude grassland; Deep green= coniferous forests; Light blue= mixed forests; Ochre= shrubs and Pino mugo; Brown= wooded cliffs; Pink= moorland and bushes.

Conclusioni

I dati riguardo la presenza e l'abbondanza di salamandra alpina risultano piuttosto scarsi sia a livello regionale che nazionale: queste informazioni si dimostrano tuttavia fondamentali per la valutazione dello stato di conservazione di una specie. Tale carenza è diretta conseguenza delle peculiari caratteristiche morfologiche ed ecologiche della specie. *S. atra* è infatti attiva principalmente durante la notte e in seguito a condizioni meteorologiche ad elevata umidità e/o pioggia. L'attività è invece molto infrequente durante il dì, con pochi individui rinvenuti occasionalmente quasi sempre sotto a rifugi naturali. Le condizioni meteo e l'orario rappresentano quindi due fattori fondamentali e oltremodo limitanti per un monitoraggio efficace in condizioni di massima *detection probability*. Ulteriori difficoltà nello studio di popolazioni di *S. atra* sono imposte dalla localizzazione dei siti di presenza spesso posti ad altitudini elevate e difficilmente raggiungibili, soprattutto in condizioni meteorologiche sopra descritte. L'ultimo ostacolo è infine rappresentato dalla difficoltà di riconoscimento individuale dovuta alla colorazione uniformemente nera. Nel 2017 (Romano et al. 2018) all'interno del Parco è stato effettuato un monitoraggio della salamandra nera con il metodo del *Removal* (White et al. 1982) che, pur rappresentando una metodologia efficace, richiede un importante sforzo di campionamento. La necessità di effettuare le uscite sul campo in condizioni meteorologiche idonee impedisce quindi l'utilizzo contemporaneo di tale tecnica in siti multipli se non con un numero elevato di operatori. L'impossibilità di riconoscimento individuale senza l'utilizzo di metodi invasivi (*VIA visible implant elastomer*, *PIT passive integrated transponder*, ecc.) è il fattore che complica maggiormente la fase di raccolta dati, impedendo di fatto l'utilizzo di un classico protocollo di campionamento *CMR* (*Capture-Mark-Recapture*) o della variante *PMR* (*Photographic-Mark-Recapture*), considerato attualmente il metodo più solido per la stima dell'abbondanza di una popolazione (Lincoln 1930; Seber 1982; White et al. 1982; Williams et al. 2002; Barker et al. 2017). Le metodologie sopra descritte, richiedendo un numero più o meno alto di repliche temporali con un importante sforzo di campo, non possono inoltre prescindere dalla manipolazione diretta e ripetuta degli individui, un fattore che può rappresentare una fonte di stress per gli animali. Le problematiche nel monitoraggio di *S. atra* sono quindi molteplici e impongono una seria riflessione sulla scelta e l'implementazione di un metodo che consenta di superare e/o mitigare i limiti oggettivi imposti dalle caratteristiche morfologiche ed ecologiche della specie, limitando inoltre lo stress sugli individui e lo sforzo di campo. L'attività svolta a partire dal 2017, e dal 2019 dedicata al monitoraggio e descritta nel presente lavoro, ha permesso di individuare nuove zone di presenza della salamandra nera all'interno dell'area protetta e di selezionare tre siti accessibili, sicuri e idonei al monitoraggio. I dati ottenuti nel 2020 e le successive analisi dimostrano l'efficacia del metodo del Doppio Osservatore Dipendente (DOD) (Romano et al. 2021) in condizioni meteorologiche adeguate (Roner et al. 2021): tale metodologia ha consentito di ottenere solide stime di abbondanza e densità evitando lo stress degli individui causato dalla manipolazione, riducendo lo sforzo di campionamento e consentendo una standardizzazione delle condizioni meteorologiche tra i diversi siti, impossibile da ottenere con le metodologie classiche, se non attraverso un enorme impiego di risorse. Le stime di densità per il sito di Malga Venegiota sono inoltre perfettamente comparabili con quelle ottenute in precedenza con il metodo *Removal counts* (Romano et al. 2018), rendendo ragionevole considerare il DOD un metodo assolutamente idoneo per il monitoraggio della salamandra alpina. Tale protocollo di monitoraggio, ripetuto negli anni, permetterà un'analisi approfondita dello stato di conservazione della specie fornendo importanti dati per la valutazione di eventuali misure di conservazione e della stima della loro reale efficacia nel tempo. Considerata l'importante carenza di informazioni il protocollo di campionamento e il monitoraggio continuo di *S. atra* potrà rappresentare inoltre un lavoro di riferimento per la raccolta dati e la salvaguardia della specie non solo a livello regionale ma anche a livello nazionale.

Ringraziamenti

Questo studio è stato supportato dal Servizio Aree Protette e Sviluppo sostenibile PAT e dall'Ente Parco di Paneveggio- Pale di San Martino che ha fornito assistenza logistica durante la fase di campionamento. Un ringraziamento in particolare all'allora Direttore Vittorio Ducoli e al Guardiaparco Gilberto Volcan. Infine, un ringraziamento a Giuseppe Melchiori e Rachele Gobbi per il contributo alla raccolta dati sul campo.

Bibliografia

- Andreone F. & Sindaco R. (eds.), 1999 - Erpetologia del Piemonte e della Valle d'Aosta. Atlante degli Anfibi e dei Rettili. Monografie XXVI (1998), Museo Regionale di Scienze Naturali di Torino, 283 pp.
- Barker R.J., Schofield M.R., Link W.A. & Sauer J.R., 2017 - On the reliability of N-Mixture models for count data. *Biometrics* 74:369-377.
- Bonato L., 2007 - Salamandra alpina (pp. 48-52) in: Bonato L., Fracasso G., Pollo R., Richard J. & Semenzato M. (eds.) - Atlante degli Anfibi e dei Rettili del Veneto - Associazione Faunisti Veneti, Nuovadimensione, 240 pp.
- Cabela A., Grillitsch H. & Tiedemann F., 2001 - Atlas zur Verbreitung und Ökologie der Amphibien und Reptilien in Österreich. Auswertung der Herpetofaunistischen Datenbank am Naturhistorischen Museum in Wien. Wien (Umweltbundesamt), 880 pp.
- Caldonazzi M., Pedrini P. & Zanghelli S., 2002 - Atlante degli Anfibi e Rettili della provincia di Trento (*Amphibia-Reptilia*), 1987-1996 con aggiornamenti al 2001. *Studi Trentini di Scienze Naturali, Acta Biologica*, 77:1-173.
- Cooch E.G. & White G.C., 2018 - Program MARK: a gentle introduction. *Appendix B*. http://www.phidot.org/software/mark/docs/book/pdf/app_2.pdf.
- Cook R.D. & Jacobson J.O., 1979 - A design for estimating visibility bias in aerial surveys. *Biometrics*, 35: 735-742.
- Costa A., Romano A. & Salvidio S., 2020 - Reliability of multinomial N-mixture models for estimating abundance of small terrestrial vertebrates. *Biodiversity Conservation*; 29, 2951-2965.
- Di Cerbo A.R., Ficetola G.F. & Sindaco R., 2014 - Anfibi e rettili (capitolo) in: Genovesi P., Angelini P., Bianchi E., Dupré E., Ercole S., Giancanelli V., Ronchi F. & Stoch F. (eds.) - Specie e habitat di interesse comunitario in Italia: distribuzione, stato di conservazione e trend. ISPRA, Serie Rapporti, 194/2014.
- Geiger C., 2006 - *Ecological requirements of the Alpine Salamander Salamandra atra: assessing the effects of current habitat structure and landscape dynamics on local distribution*. Diploma Thesis, University of Bern.
- Grant E.H.C., Jung R.E., Nichols J.D. & Hines J.E., 2005 - Double-observer approach to estimating egg mass abundance of pool-breeding amphibians. *Wetlands Ecology and Management*, 13:305-320.
- Grossenbacher K., 1994 - Zur Systematik und Verbreitung der Alpen salamander (*Salamandra atra atra*, *Salamandra atra aurorae*, *Salamandra lanzai*). *Abhandlungen und Berichte für Naturkunde Magdeburg*, 17: 75-81.
- Grossenbacher K., 1997 - Salamandra alpina Laurenti, 1768. In: Gasc J.-P., Cabela A., Crnobrnjalsailovic J., Dolmen D., Grossenbacher K., Haffner P., Lescure J., Martens H., Martinez Rica J.P., Maurin H., Oliveira M.E., Sofianidou T.S., Veith M. & Zuijderwijk A. (eds.) - *Atlas of Amphibians and Reptiles in Europe*. Societas Europea Herpetologica & Muséum National d'Histoire Naturelle (IEGB/SPN), Paris, 498 pp.
- Grossenbacher K., 2004 - Salamandra alpina. In: Bernini F., Bonini L., Ferri V., Gentili A., Razzetti E. & Scali S. (eds.) - *Atlante degli Anfibi e dei Rettili della Lombardia*. Monografie di Pianura, 5, 1-284 pp.
- Guex G.D. & Grossenbacher K., 2004 - *Salamandra atra atra* Laurenti, 1768 - Alpensalamander. In: Thiesmeier B. & Gros-

- senbacher K. (eds.) - *Handbuch der Reptilien und Amphibien Europas*. Bd 4/IB (Urodela, Salamandridae III), AULA-Verlag, Wiebelsheim, 1149 pp.
- Haxhiu, I., 1994 - The herpetofauna of Albania: Amphibia: Species composition, distribution, habitats. *Zoologische Jahrbücher. Abteilung für Systematik, Geographie und Biologie der Tiere*, 121: 321-334.
- Kéry M., 2018 - Identifiability in N-mixture models: a large-scale screening test with bird data. *Ecology*, 99:281-288.
- Klewen R., 1988 - *Die Land salamander Europas 1: Die Gattungen Salamandra und Mertensiella*. Die Neue Brehm-Bücherei. Wittenberg Lutherstadt, Ziemsen-Verlag, 584 pp.
- Lanza B., Andreone F., Bologna M.A., Corti C. & Razzetti E., 2007 - *Fauna d'Italia, vol. XLII, Amphibia*. Calderini, Bologna, 537 pp.
- Lapini L., Dall'Asta A., Bressi N., Dolce S. & Pellarini P., 1999 - *Atlante corologico degli Anfibi e dei rettili del Friuli-Venezia Giulia*. Museo Friulano di Storia Naturale, Udine, 150 pp.
- Lapini, L., 1984 - *Catalogo della collezione erpetologica del Museo Friulano di Storia Naturale*. Ed. Museo Friulano di Storia Naturale, Udine, 87 pp.
- Lincoln F.C., 1930 - *Calculating waterfowl abundance on the basis of banding returns*. U.S. Department of Agriculture, Circular 118, Washington DC, 4 pp.
- Nichols J.D., Hines J.E., Sauer J.R., Fallon F., Fallon J. & Heglund P.J., 2000 - A double-observer approach for estimating detection probability and abundance from avian point counts. *Auk*, 117: 393 - 408.
- Pedrini P., Brambilla M., 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.
- Pozzi A., 1980 - Gli Anfibi e i Rettili del Parco Nazionale dello Stelvio. - *Quaderni del Parco Nazionale dello Stelvio*, 2: 7-64.
- Romano A., Anderle M., Forti A., Partel P. & Pedrini P., 2018 - Population density, sex ratio and body size in a population of *Salamandra atra atra* on the Dolomites. *Acta Herpetologica*, 13:195-99.
- Romano A., Roner L., Costa A., Salvidio S., Trenti M. & Pedrini P., 2021 - When no color pattern is available: Application of double observer methods to estimate population size of the Alpine salamander. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 53:1, 300-308.
- Roner L., Costa A., Pedrini P., Matteucci G., Leonardi S. & Romano A., 2020 - A Midsummer Night's Diet: Snapshot on Trophic Strategy of the Alpine Salamander, *Salamandra atra*. *Diversity* 2020, 12(5), 202.
- Roner L., Trenti M., Salvidio S., Costa A., Pedrini P. & Romano A., 2022 - Il monitoraggio della *Salamandra alpina*, *Salamandra atra*, in Trentino: Applicazione e validità del metodo del Doppio Osservatore in diverse condizioni meteorologiche. Atti XIII Congresso *Societas Herpetologica Italica*, Lipari (Messina). Il *Naturalista Siciliano*, S. IV, XLVI (1), pp. 361-368
- Royle J.A., 2004b - N-mixture models for estimating population size from spatially replicated counts. *Biometrics*, 60:108-115.
- Seber G.A.F., 1982 - *Estimating animal abundance and related parameters*, 2nd edn. Charles Griffin and Co., London, 654 pp.
- Southwell C., 1996 - *Estimation of population size and density when counts are incomplete*. In: Wilson D.E., Russel C.F., Nichols J.D., Rudram R., Foster M.S. (eds.), 1996 - *Measuring and monitoring biological diversity- standard methods for mammals*. Smithsonian Institution Press, Washington and London: 196 -210.
- Vilter, V. & Vilter, A., 1960 - Sur la gestation de la Salamandre noir des Alpes, *Salamandra atra* Laur. *Comptes Rendus de la Societe de Biologie*, 154: 290-291.
- Vrtiska M.P., Powell L.A., 2011 - Estimates of duck breeding populations in the nebraska sandhills using double observer methodology. *Waterbirds*, 34:96-10.
- White G.C., Anderson D.R., Burnham K.P. & Otis D.L., 1982 - *Capture-recapture removal methods for sampling closed populations*. Los Alamos National Laboratory 8787 NERP, Los Alamos, New Mexico, 235 pp.
- Williams B.K., Nichols J.D. & Conroy M.J., 2002 - *Analysis and management of animal populations*. Academic Press, Cambridge, 817 pp.
- Wunderer H., 1909 - Beiträge zur Biologie und Entwicklungsgeschichte des Alpensalamanders (*Salamandra atra* Laur.). *Zoologische Jahrbücher*, 28: 23-80.
- Wunderer H., 1910 - Die Entwicklung der äusseren Körperform des Alpensalamanders (*Salamandra atra* Laur.). *Zoologische Jahrbücher*, 29: 367-414.
- Yoccoz N.G., Nichols J.D. & Boulinier T., 2001 - Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends in Ecology & Evolution*, 16:446 - 453.