

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6790590>

LUCA RONER, MATTEO TRENTI, SEBASTIANO SALVIDIO, ANDREA COSTA,  
PAOLO PEDRINI & ANTONIO ROMANO

IL MONITORAGGIO DELLA SALAMANDRA ALPINA  
*SALAMANDRA ATRA* IN TRENTINO: APPLICAZIONE E VALIDITÀ  
DEL METODO DEL DOPPIO OSSERVATORE  
IN DIVERSE CONDIZIONI METEOROLOGICHE

RIASSUNTO

Il monitoraggio delle popolazioni animali risulta di estrema importanza nella valutazione dello status di conservazione di una specie. Tuttavia le informazioni riguardo la diffusione e l'abbondanza di *Salamandra atra* in Italia appaiono piuttosto scarse a causa delle particolari caratteristiche morfologiche ed ecologiche della specie. I protocolli CMR (Cattura-Marcatura-Ricattura), ad oggi tra i metodi più solidi e affidabili nella stima dell'abbondanza di popolazione, risultano infatti di difficile applicazione per la sottospecie nominale della Salamandra alpina: l'assenza di un pattern di colorazione individuale rende impossibile ricostruire la "storia di cattura" di ogni individuo senza l'utilizzo di metodi di marcatura invasivi. In questo studio abbiamo applicato i modelli *multinomial N-mixture* ad una singola popolazione di *Salamandra atra* situata nel Parco di Paneveggio – Pale di San Martino. I dati sono stati raccolti attraverso un protocollo a doppio osservatore dipendente, nel corso di 3 giornate caratterizzate da diverse condizioni meteorologiche. I nostri obiettivi sono stati: i) stimare l'abbondanza di popolazione attraverso un metodo speditivo e non invasivo, ii) testare tale metodologia in diverse condizioni meteorologiche, iii) verificare la validità delle stime. Il metodo del doppio osservatore dipendente, applicato in adeguate condizioni meteorologiche, si è dimostrato molto affidabile per la stima di abbondanza di popolazione, consentendo inoltre un'importante riduzione dello sforzo di campionamento nonché l'azzeramento dello stress sugli animali. Considerate le oggettive difficoltà nel monitoraggio della Salamandra alpina, l'impiego di questo protocollo di campionamento potrà contribuire in modo consistente alla conoscenza riguardo la distribuzione e l'abbondanza della specie, permettendo nel tempo una valutazione più ampia sullo stato di conservazione.

*Parole chiave.* Stima di abbondanza, Alpi, Anfibi, Doppio osservatore

SUMMARY

*Monitoring alpine salamander Salamandra atra in Trentino: application and validation of double observer method under different weather conditions.* Wild population monitoring has a pivotal role for

the evaluation of the conservation status of a species. However, information on *Salamandra atra* distribution and abundance in Italy is lacking due to the particular morphological and ecological characteristics of this species. CMR (Capture-Mark-Recapture) protocols are nowadays the most robust and reliable methods for abundance estimation. Nevertheless, CMR methods are difficult to apply to the Alpine salamander nominal subspecies: tracing the encounter history of individuals without invasive marking methods is impossible because of the absence of an individual colour pattern. In this research we studied a single *Salamandra atra* population located in Paneveggio – Pale di San Martino Natural Park. We applied multinomial N-mixture models on data collected during three sessions, characterized by different weather conditions, using a dependent double-observer approach. Our aims were: i) to estimate population abundance and density using a less-effort and non-stressful technique, ii) to test this method under different weather conditions, iii) to verify the new method reliability. Double observer approach, applied under proper weather conditions, resulted to be a cost-effective technique that provided reliable demographic estimates of population density, also preventing any possible stress on animals. The enforcement of this monitoring protocol will significantly improve the knowledge of the Alpine salamander distribution and abundance, leading to a better evaluation of conservation status.

*Key words.* Abundance estimation, Alps, Amphibians, Double observer

## INTRODUZIONE

Il monitoraggio delle popolazioni di animali selvatici risulta di fondamentale importanza per determinarne lo stato di conservazione e valutare l'efficacia nel tempo delle misure intraprese (Yoccoz *et al.*, 2001; Witmer, 2005). I metodi basati sul protocollo di Cattura-Marcatura-Ricattura (CMR) sono considerati i più solidi per la stima di abbondanza di una popolazione (Williams *et al.*, 2002): il riconoscimento di ogni animale è un fattore di fondamentale importanza per tale metodologia poiché la stima della popolazione è fondata sulla “storia di cattura” di ogni individuo (Costa *et al.*, 2020). Il riconoscimento individuale può essere effettuato tramite la marcatura di ogni individuo attraverso l'utilizzo di tecniche più o meno invasive che tuttavia possono avere conseguenze negative inattese sugli animali (Saraux *et al.*, 2011). Nelle situazioni nelle quali è preferibile non utilizzare metodi di marcatura e la specie non presenta un *pattern* individuale distintivo può essere utilizzato il metodo degli osservatori multipli (MO = *Multiple Observer*) (Tab. 16 in Southwell, 1996). Tale approccio prevede l'avvistamento e la registrazione degli animali da parte di due o più osservatori in modo tale da suddividere gli avvistamenti di ciascun operatore. Recentemente i dati raccolti attraverso il protocollo MO e analizzati tramite modelli *multinomial N-mixture* sono stati utilizzati con successo per stimare l'abbondanza della popolazione di *Speleomantes strinatii* (Allen 1958) (Costa *et al.*, 2020). In questo studio abbiamo analizzato, attraverso i modelli *multinomial N-mixture*, i dati raccolti utilizzando un approccio a doppio osservatore dipendente (DOD) per la stima della densità e dell'abbondanza di una popolazione di Salamandra alpina (*Salamandra atra*, Laurenti 1768). I dati riguardo l'abbon-

danza delle popolazioni italiane di *Salamandra atra* sono ad oggi piuttosto scarsi (LANZA *et al.*, 2007). Tale mancanza è una diretta conseguenza delle peculiari caratteristiche morfologiche ed ecologiche della specie: la Salamandra alpina è attiva principalmente durante la notte e in seguito a condizioni meteorologiche adeguate (pioggia o elevata umidità). Le condizioni meteorologiche e l'orario rappresentano quindi due fattori limitanti per un monitoraggio efficace in condizioni di massima *detection probability*. Ad oggi le stime dell'abbondanza di popolazioni di *Salamandra atra* sono state effettuate utilizzando protocolli che prevedevano una marcatura invasiva (LUISELLI *et al.*, 2001; HELFER *et al.*, 2012) o un importante sforzo di campionamento (ROMANO *et al.*, 2018). L'utilizzo del protocollo DOD, associato all'analisi tramite modelli *multinomial N-mixture*, ha quindi lo scopo di testare e validare un metodo speditivo che non necessita inoltre di nessun metodo di marcatura né della manipolazione delle salamandre. Il metodo è stato testato all'interno della stessa area in diverse giornate caratterizzate da differenti condizioni meteorologiche: l'obiettivo è stato quello di valutare l'influenza delle condizioni climatiche sulla probabilità di contattare le salamandre e quindi sull'affidabilità delle stime di popolazione ottenute.

## MATERIALI E METODI

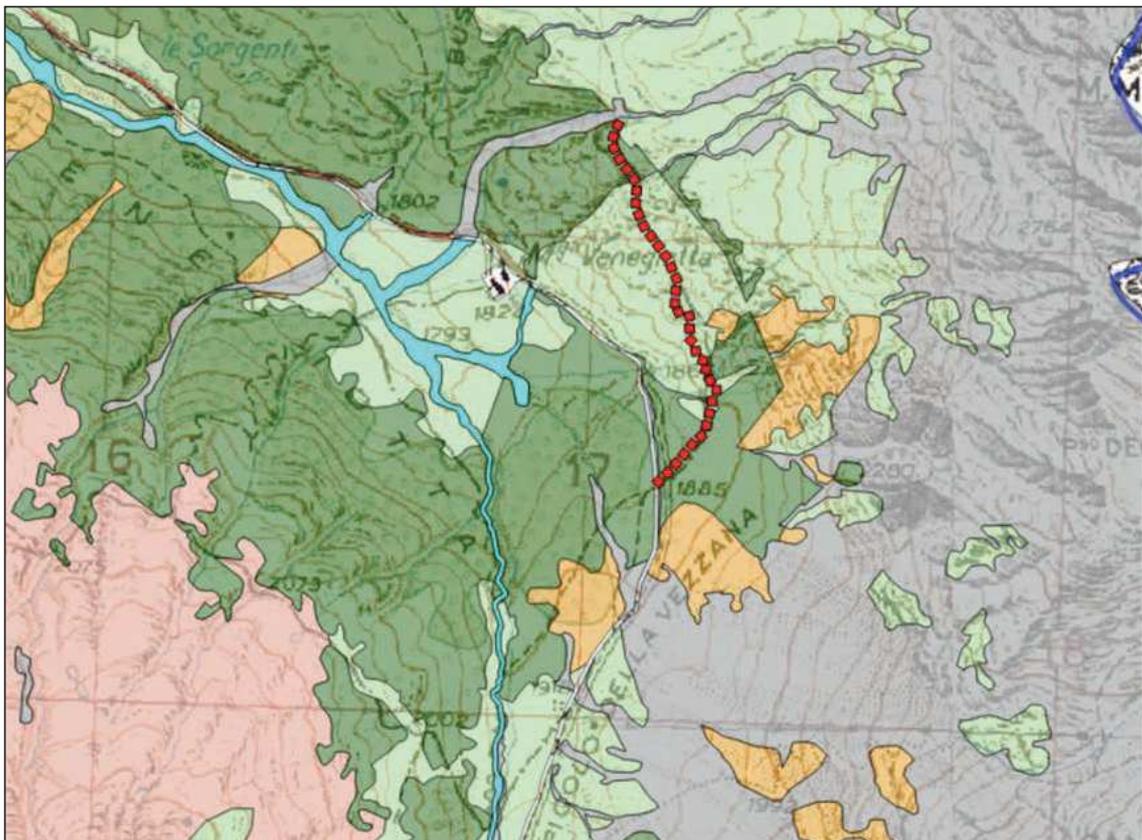
### *La salamandra alpina*

La Salamandra alpina *Salamandra atra* Laurenti, 1768 è un anfibio urodelo completamente terrestre rappresentato da 4 sottospecie, 3 delle quali sono presenti in Italia. Lo studio è stato condotto sulla sottospecie nominale *Salamandra atra atra*, la più diffusa, con una distribuzione che si estende dalle Alpi Centrali fino alle Alpi Dinariche (SILLERO *et al.*, 2014). In Italia la Salamandra alpina frequenta boschi a prevalenza di faggio *Fagus sylvatica* o conifere (*Abies alba*, *Picea abies*), arbusteti a pino mugo o ontano verde, praterie altomontane e substrati rupestri come macereti e falde detritiche (BONATO *et al.*, 2007). Diversamente dalle altre sottospecie italiane, *S. atra atra* è caratterizzata da una livrea completamente nera, una particolarità che ne impedisce la distinzione individuale basata sui pattern di colorazione. L'attività annuale è di norma concentrata nei mesi più caldi (da aprile ad ottobre), mentre durante quelli invernali le salamandre rimangono inattive (KLEWEN, 1988).

### *Area di studio e disegno di campionamento*

L'area oggetto di studio è localizzata nel Parco di Paneveggio – Pale di San Martino (Trentino-Alto Adige, Italia). L'habitat è caratterizzato da ambienti aperti (pascoli, praterie e aree rocciose) con boschi di conifere dominati da abete bianco *Picea abies* e abete rosso *Larix decidua*. Il sito selezionato

è situato a 1900 metri s.l.m. nei pressi di Malga Venegiota (Fig. 1) lungo il sentiero 749. Sul versante esposto a S-W è stato predisposto un transetto di 300 metri suddiviso in 30 sub-transetti da 10 metri con larghezza variabile corrispondente a quella del sentiero, identificati singolarmente tramite paletti etichettati con un numero progressivo. Il transetto aveva una larghezza compresa tra 1 e 7 m rilevata sul campo, corrispondente alla larghezza del sentiero stesso. I campionamenti sono stati effettuati tramite il metodo del DOD.



*Fig. 1 — Transetto di Malga Venegiota – Sentiero 749. Pallini = transetto monitorato; 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/Transect of Malga Venegiota - Path 749. Dots = monitored transect; grey = bare rocks; light green = natural pasture areas and high altitude grasslands; dark green = Coniferous Woods; light blue = mixed woods; ochreous = shrubs and lily-of-the-valley; brown = Wooded cliffs; pink = heaths and bushes.*

Il transetto è stato percorso in contemporanea da due operatori che ad ogni sub-transetto hanno alternato la loro posizione (1 e 2). Il compito dell'operatore in posizione 1 era quello di contare e segnalare all'osservatore in posizione 2 gli individui avvistati, mentre quest'ultimo si è occupato di rilevare le salamandre da lui avvistate e sfuggite all'osservatore in posizione 1.

Ogni sessione è stata svolta in un tempo compreso tra i 30 e i 45 minuti. I dati raccolti nel corso delle tre sessioni sono stati analizzati tramite il software DOBSERV (NICHOLS *et al.*, 2000) utilizzando l'opzione per osservatori dipendenti. Le stime di probabilità di rilevamento ( $p = \text{detection probability}$ ) sono state calcolate in base a due modelli:  $P(.,.)$  in cui la *detection probability* è uguale per entrambi gli osservatori e  $P(.,I)$  in cui la *detection probability* risulta diversa tra gli osservatori. Il programma sceglierà automaticamente il modello migliore in base ai calcoli effettuati per la *detection probability* dei singoli operatori.

## RISULTATI

### *Misurazioni e conteggi*

Sono stati effettuati un totale di tre campionamenti in altrettante giornate (24-28-29/08/2020), caratterizzate da condizioni meteo differenti (24/08= pioggia leggera/grandine, 28/08= pioggia e in seguito temporale, 29/08= post temporale e post pioggia abbondante). Le salamandre conteggiate nello stesso transetto nelle diverse giornate variano da un minimo di 13 ad un massimo di 63 individui (Tab. 1), con un andamento che risulta altamente subordinato alle condizioni meteorologiche. Mentre infatti il numero di individui contattati in seguito a piogge scarse (24/08) o durante precipitazioni abbondanti (29/08) è risultato simile, è stata riscontrata un'abbondanza nettamente maggiore nel rilievo effettuato dopo abbondanti precipitazioni (29/08).

La rilevazione della larghezza di ogni sub-transetto ha permesso di calcolare esattamente l'area campionata che corrisponde a 1170 m<sup>2</sup>.

**Tab. 1.**

Individui di *Salamandra atra* conteggiati nel sito di Malga Venegiota in tre diverse sessioni.

Vengono riportati anche l'orario di inizio della sessione (durata 45 min.)

e le condizioni meteo di operatività.

*Salamandra atra individuals counted on the Malga Venegiota site in three different sessions.*

*The session start time (duration 45 min.) and the operating weather conditions are also reported.*

<b>Data</b>	<b>Individui</b>	<b>Ora</b>	<b>Meteo</b>
24/08/2020	13	21:00	Pioggia leggera/grandine
28/08/2020	17	21:00	Pioggia/temporale
29/08/2020	63	01:00	Post pioggia abbondante

### *Stime demografiche*

Le stime demografiche ottenute per le diverse sessioni variano da 14 a 64 individui per il campionamento migliore, effettuato il 29 agosto. Dalle anali-

si si evidenzia una *detection probability* ( $p$ ) piuttosto alta, il che rende le stime molto prossime al numero totale di conteggi con range abbastanza ristretti (Tab. 2). La differenza nelle stime della popolazione di animali “disponibili” durante il campionamento nelle tre diverse sessioni appare molto evidente, con un abbassamento della *detection probability* nelle sessioni con numerosità di individui ridotta (che rimane comunque piuttosto alta) ed intervalli di confidenza di maggior ampiezza. In particolare mentre gli intervalli di confidenza tra la prima (24/08) e la seconda sessione (28/08) si sovrappongono, non mostrando quindi differenze apprezzabili nelle stime, nella terza sessione (29/08), effettuata nelle condizioni meteo più idonee, la stima ottenuta differisce in modo significativo da quella calcolata nelle prime due sessioni.

**Tab. 2.**

Stime demografiche ( $N$ ), *detection probability* ( $P$ ) e miglior modello stimatore (Mod.), per una popolazione di *Salamandra atra* nel sito di Malga Venegiota, calcolate in base ai conteggi ( $X$  = numero totale di individui osservati) con il metodo del DOD effettuati in tre giornate con condizioni meteo differenti. Modelli: P (.,.) -> uguale *detection probability* tra gli osservatori; P (.,I) -> diversa *detection probability* tra gli osservatori.

*Demographic estimates* ( $N$ ), *detection probability* ( $P$ ) and best estimator model (Mod.), or a population of *Salamandra atra* in the Malga Venegiota site, calculated on the basis of the counts ( $X$  = total number of individuals observed) with the method of DOD carried out in three days with different weather conditions. Models: P (.,.) -> equal *detection probability* among observers; P (., I) -> different *detection probability* among observers

Data	X	P	S.E. (P)	N	S.E. (N)	I.C. 95% (Chao)	Mod.	Densità 1000 m <sup>2</sup>
24/08/2020	13	0.9100	0.1185	<b>14.29</b>	2.21	13.13 – 25.79	P (.,.)	14.1
28/08/2020	17	0.9053	0.1083	<b>18.78</b>	2.65	17.21 – 31.80	P (.,.)	18.3
29/08/2020	63	0.9882	0.0129	<b>63.75</b>	1.21	63.08 – 69.87	P (.,I)	55.5

## DISCUSSIONE

I protocolli *Double Observer* sono stati storicamente applicati ad animali grandi e vistosi con un’alta *detection probability* e solo recentemente tali protocolli sono stati utilizzati anche per gli anfibi (COSTA *et al.*, 2020). Per comprendere l’affidabilità del metodo del DOD nel monitoraggio della Salamandra alpina è utile il confronto con una stima pregressa per lo stesso sito di rilievo, effettuata con il metodo del *Removal* da ROMANO *et al.* (2018), pari a 47 individui/1000 m<sup>2</sup> (95% C.I.= 31-63). Mentre le stime effettuate nelle prime due sessioni (24/08, 28/08) risultano significativamente diverse (rispettivamente 14 ind./1000 m<sup>2</sup>, range 13-25; 18 ind./1000 m<sup>2</sup>, range 17-32), quella effettuata nella terza sessione (29/08) presenta invece valori per-

fettamente comparabili (55 ind./1000 m<sup>2</sup>, range 63-70). Sebbene i dati siano stati raccolti in anni diversi (2017/2020) non esistono evidenze apprezzabili o altre ragioni per presumere importanti cambiamenti dell'habitat in oggetto o della popolazione studiata. Pertanto, considerando i risultati ottenuti nel terzo campionamento, i due metodi risultano in buon accordo, rendendo corretto considerare il protocollo del DOD come perfettamente adeguato al monitoraggio della Salamandra alpina. È tuttavia importante considerare l'influenza delle condizioni meteorologiche. Le prime due sessioni, effettuate in condizioni meteo sub-ottimali (24/08 = pioggia leggera, 28/08 = nel corso di un temporale), hanno portato infatti ad una stima della popolazione significativamente diversa da quella ottenuta con il metodo della rimozione nel 2017. Dal momento che nel protocollo DOD i dati vengono raccolti nel corso di una singola sessione, l'analisi fornisce una stima istantanea della popolazione disponibile. I classici protocolli CMR prevedono invece una raccolta dati estesa su più sessioni che, quindi, andrà ad includere anche quelle frazioni della popolazione che non sono disponibili durante i precedenti campionamenti. Appare quindi evidente che il metodo del DOD, per ottenere stime di popolazioni solide e affidabili, debba essere applicato in condizioni ottimali per la specie (notte e post pioggia abbondante): nelle giuste condizioni tale metodologia si è dimostrata molto efficace nella stima di popolazione di *Salamandra atra*, con una *detection probability* molto alta ( $p > 0.9$ ) che ha permesso di effettuare stime di abbondanza robuste, con intervalli di confidenza ridotti e in accordo con le precedenti stime effettuate attraverso solide metodologie. Nonostante il chiaro svantaggio nell'operare di notte e in condizioni climatiche piovose, il protocollo testato consente di ridurre in modo significativo lo sforzo di campionamento, permettendo il monitoraggio contemporaneo di più siti nelle stesse condizioni ambientali. Inoltre, a differenza dei classici metodi CMR, viene evitato qualsiasi stress alle salamandre, non rendendosi necessario il marcaggio individuale o la manipolazione diretta. Considerate le oggettive difficoltà nel monitoraggio di una specie monocromatica, criptica ed elusiva come *Salamandra atra*, l'applicazione del metodo DOD, risultato affidabile e a basso sforzo, potrà contribuire in modo consistente alla conoscenza riguardo la distribuzione e l'abbondanza di questa specie all'interno del territorio italiano, ad oggi ancora piuttosto scarsa.

*Ringraziamenti* — Il presente studio è stato supportato dal Servizio Aree Protette e Sviluppo Sostenibile PAT (Piano di monitoraggio fauna vertebrata Direttiva Habitat; Progetto LIFE11/NAT/IT/000187 "TEN"–Trentino Ecological Network) e dal Parco di Paneveggio - Pale di San Martino. Vogliamo ringraziare il Coordinatore Tecnico Piergiovanni Partel, il Direttore Vittorio Ducoli e il Guardiaparco Gilberto Volcan. Ringraziamo inoltre Rachele Gobbi che ha contribuito alla raccolta dati.

## BIBLIOGRAFIA

- BONATO L., FRACASSO G. & LUISELLI L., 2007. *Salamandra atra* Laurenti, 1768. Pp. 197-211 in Lanza B., Andreone F., Bologna M.A., Corti C. & Razzetti E., 2007. Fauna d'Italia. XLII. Amphibia. *Calderini*, Bologna.
- COSTA A., ROMANO A. & SALVIDIO S., 2020. Reliability of multinomial N-mixture models for estimating abundance of small terrestrial vertebrates. *Biodiver. Conserv.*, 29: 2951-2965.
- HELPER V., BROQUET T. & FUMAGALLI L., 2012. Sex-specific estimates of dispersal show female philopatry and male dispersal in a promiscuous amphibian, the alpine salamander (*Salamandra atra*). *Mol. Ecol.*, 21: 4706-4720.
- KLEWEN R., 1988. Die Land salamander Europas 1: Die Gattungen Salamandra und Mertensiella. *Die Neue Brehm-Bücherei* 584. *Ziemsen Verlag*, Wittenberg Lutherstadt.
- LUISELLI L., ANDREONE F., CAPIZZI D. & ANIBALDI C., 2001. Body size, population structure and fecundity traits of a *Salamandra atra atra* (Amphibia, Urodela, Salamandridae) population from the northeastern Italian Alps. *Ital. J. Zool.*, 68: 125-130.
- 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.
- 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 Herpetol.*, 13: 195-199.
- SARAUX C., LE BOHEC C., DURANT J.M., VIBLANC V.A., GAUTHIER-CLERC M., BEAUNE M., PARK J., YOCOZ N.G., STENSETH N.C. & LE MAHO Y., 2011. Reliability of flipper-banded penguins as indicators of climate change. *Nature*, 469: 203-206.
- SILLERO N., CAMPOS J., BONARDI A., CORTI C., CREEMERS R., CROCHET P.A., CRNOBRNJA ISAILOVIC J., DENOËL M., FICETOLA G.F., GONÇALVES J., KUZMIN S., LYMBERAKIS P., DE POUS P., RODRÍGUEZ A., SINDACO R., SPEYBROECK J., TOXOPEUS B., VIEITES D.R. & VENCES M., 2014. Updated distribution and biogeography of amphibians and reptiles of Europe. *Amphibia-Reptilia*, 35: 1-31.
- SOUTHWELL C., 1996. Estimation of population size and density when counts are incomplete. Pp 196-210 in: Wilson D.E., Russel C.F., Nichols J.D., Rudram R. & Foster M.S. (eds.), *Measuring and monitoring biological diversity—standard methods for mammals*. *Smiths. Inst. Press*, Washington, London.
- WILLIAMS B.K., NICHOLS J.D. & CONROY M.J., 2002. Analysis and management of animal populations: Modelling, Estimation and Decision-Making. *Academic Press*, Cambridge.
- WITMER G.W., 2005. Wildlife population monitoring: Some practical considerations. *Wildlife Res.*, 32(3): 259-263.
- YOCOZ N.G., NICHOLS J.D. & BOULINIER T., 2001. Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends Ecol. Evol.*, 16: 446-453.

*Addresses of the authors* — L. RONER, M. TRENTI, P. PEDRINI, A. ROMANO, MUSE - Museo delle Scienze, Sezione di Zoologia dei Vertebrati, Corso del Lavoro e della Scienza, 3 - 38122 Trento (I); S. SALVIDIO, A. COSTA, Dipartimento di Scienze della Terra dell'Ambiente e della Vita (DISTAV), Università degli Studi di Genova, Corso Europa, 26 - 16132 Genova (I); L. RONER, A. ROMANO, Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per la BioEconomia, Via dei Taurini, 19 - 00185 Roma (I).