



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

DIPARTIMENTO AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE
NATURALI E AMBIENTE

Corso di laurea Tecnologie Forestali e Ambientali

CONFRONTO TRA METODI DI STIMA DI ABBONDANZA
DI POPOLAZIONE DI MARMOTTA ALPINA

Relatore

Prof. Maurizio Ramanzin

Correlatore

Dott. Luca Corlatti

Laureando

Cristian Andreoli

Matricola n. 1171035

ANNO ACCADEMICO 2021/22

Sommario

1.Riassunto	3
1.1.Abstract	4
2.Introduzione	5
2.1.Metodi di stima di abbondanza di popolazione	6
3.La marmotta alpina	7
4.Obiettivi	8
5.Materiali e metodi	9
5.1. Area di studio	9
5.2. Catture	10
5.3. Mark-Resight tradizionale	13
5.4. Mark-Resight con fototrappole	15
5.5. Independent Double Observer	18
6. Risultati	21
6.1. Mark-Resight tradizionale	21
6.2. Mark-Resight con fototrappole	21
6.3 Independent Double Observer	22
7.Discussione	23
8.Bibliografia	25
9.Ringraziamenti	29

1. Riassunto

Esistono molti metodi per la stima di abbondanza di popolazione di fauna selvatica, tra questi i metodi che si basano su un campione di animali marcati rappresentano i metodi riconosciuti come più precisi. Questi metodi, tra cui anche il metodo Mark-Resight, necessitano di catture e marcature degli animali. Proprio queste operazioni richiedono grandi investimenti per attrezzature e personale, oltre a risultare invasive e disturbanti per le popolazioni in studio. L'insieme di queste caratteristiche li rende poco adatti per monitoraggi a lungo termine. In una popolazione di marmotta alpina (*Marmota marmota*) nel settore lombardo del Parco Nazionale dello Stelvio, ho confrontato tre metodi di stima di abbondanza di popolazione in particolare Mark-Resight (MR) con strumenti ottici, Mark-Resight con fototrappole (CTMR), Independent-Double-Observer (IDO). L'intento dello studio era confrontare i risultati di CTMR e IDO avendo come standard i risultati da MR, per trovare un metodo efficace ed efficiente per risultati e costi sia in termini di tempo che di risorse. Altro obiettivo dello studio era confrontare i risultati ottenuti da ciascun metodo nei tre mesi presi in esame, al fine di capire se fosse conveniente effettuare la stima di abbondanza di popolazione in un mese piuttosto che in un altro. L'area di studio, situata nella Val di Cedéc, si estendeva per 17 ha. Nel periodo tra giugno 2021 e agosto 2021 ho eseguito 3 sessioni di MR, 3 sessioni di CTMR, 3 sessioni di IDO. Operazione preliminare all'inizio della raccolta dati è stata la cattura per la marcatura di alcuni esemplari della popolazione residente nell'area di studio. Nel metodo MR i riavvistamenti di animali marcati vengono considerati come una ricattura. La stima di abbondanza di popolazione si ottiene confrontando la frequenza dei riavvistamenti di animali marcati e non. Per il metodo MR tradizionale, l'area di studio veniva osservata da punti di osservazione prestabiliti con strumenti ottici. Per il metodo CTMR sono state disposte 18 fototrappole nell'area di studio e la presenza di una marmotta all'interno della foto aveva lo stesso valore di un riavvistamento. Il metodo IDO non necessita di animali marcati, i dati sono ottenuti da due osservatori che contemporaneamente, ma in modo indipendente, osservano l'area di studio. Dai risultati si nota come i metodi di MR e CTMR diano risultati simili e senza grandi variazioni tra i mesi. Tra i due il metodo con fototrappole richiede meno lavoro in campo, risultando meno invasivo, a fronte di un maggiore lavoro necessario per l'analisi dati. Con il metodo IDO si hanno risultati meno precisi e più variabili nei tre mesi presi in analisi. In particolare, si nota una sottostima dell'abbondanza di popolazione di circa il 50% rispetto agli altri metodi utilizzati, già evidenziata in studi precedenti. Il vantaggio di non necessitare di animali marcati, però, rende questa l'opzione più

sostenibile e pratica per studi di lungo periodo, ancor più se verrà sviluppato un fattore di correzione della stima rendendola più precisa.

1.1. Abstract

There are many methods for estimating the abundance of wildlife populations, of which methods based on a sample of marked animals are the ones recognised as most accurate. These methods, including the Mark-Resight method, require the capture and marking of animals. Precisely these operations require large investments in equipment and personnel, as well as being invasive and disturbing for the study populations. These characteristics make them unsuitable for long-term monitoring. In a population of the alpine marmot *Marmota marmota* in the Stelvio National Park, I compared three methods of estimating population abundance: Mark-Resight (MR) with optical instruments, Mark-Resight with camera traps (CTMR), and Independent-Double-Observer (IDO). The intent of the study was to compare the results of CTMR and IDO using the results from MR as a standard in order to find an effective and efficient method for results and costs in terms of both time and resources. Another objective of the study was to compare the results obtained from each method in the 3 months considered in order to understand if it was convenient to carry out the estimation of population abundance in one month rather than another. The study area is located in the Cedéc Valley (SO), extended over 17 ha. Between June 2021 and August 2021, I carried out 3 MR sessions, 3 CTMR sessions, 3 IDO sessions. A preliminary operation at the beginning of the data collection was the capture for tagging some animals of the population living in the study area. In the MR method, resightings of tagged animals are considered as recapture. The estimation of population abundance is obtained by comparing the frequency of resightings of tagged and untagged animals. For the traditional MR method, the study area was observed from predetermined observation points with optical instruments. For the CTMR method, 18 camera traps were placed in the study area and the presence of a marmot within the photo had the same value as a resight. The IDO method does not require tagged animals, the data are obtained from two observers who simultaneously, but independently, observe the study area. From the results, it can be seen that the MR and CTMR methods give similar results without much variation between months. Of the two, the camera trap method requires less work in the field, being less invasive, at the cost of more work needed for data analysis. With the IDO method, results are less precise and more variable over the three months under analysis. In particular, there is an underestimation of population abundance of around 50% compared to the other methods used, which has already been highlighted in previous studies. The advantage of not requiring tagged animals, however, makes this the most sustainable

and practical option for long-term studies, even more if a correction factor is developed to make the estimate more accurate.

2. Introduzione

La stima dell'abbondanza di popolazione rappresenta un aspetto di fondamentale importanza per lo studio dell'ecologia delle popolazioni animali, e al contempo un elemento necessario per una gestione faunistica che mira a bilanciare le esigenze della fauna selvatica e dell'uomo, garantendo la conservazione delle specie e rendendo sostenibile l'azione dell'uomo, l'equilibrio tra prede e predatori, malattie, parassiti o perdita di habitat (Sinclair et al., 2006). Esistono metodi che stimano indirettamente la densità di popolazione come: pellets groups (Putman, 1984; Marques et al. 2001), vocalizzazioni (Reby et al., 1998), DNA (Taberlet, Waits & Luikart, 1999) e impronte (Stephens et al., 2006) e metodi che stimano direttamente l'abbondanza di popolazione come Capture-Mark-Recapture (Otis et al., 1978) e Distance Sampling (Buckland et al., 2001), Double Observer (Nichols et al., 2000) e Mark-Resight (Schwarz and Seber, 1999) questi ultimi sono comunemente riconosciuti più accurati ed affidabili (Morellét et al., 2007). In generale se si considera il numero di animali contati in un'area corrispondere a C , e N è la reale abbondanza di popolazione, avremo $C=N$. Ottenere questo risultato è estremamente improbabile, poiché significherebbe avere una perfetta probabilità di avvistamento. Si ha una perfetta probabilità di avvistamento solo se è possibile contare tutti gli esemplari della popolazione d'interesse che devono essere presenti e visibili contemporaneamente, fatto estremamente raro in natura. In aggiunta a questo fattore l'ambiente montano pone molte sfide per la stima di abbondanza di popolazione (Singh and Milner-Gulland, 2011). Per questo si utilizza un fattore di correzione, detto P (probabilità di avvistamento), che permette di arrivare alla stima della popolazione reale con una formula del tipo $N=C/P$ (Powell et al., 2015). La probabilità di avvistamento è una variabile che a sua volta è il prodotto di tre fattori: la probabilità di presenza, cioè la probabilità che l'animale sia effettivamente nell'area di campionamento nel momento dello stesso; la probabilità di disponibilità, cioè la probabilità che l'animale oltre ad essere presente nell'area sia anche effettivamente disponibile alla vista, quindi non nascosto dietro ostacoli o in rifugi o tane soprattutto se sotterranee; la probabilità di rilevamento, cioè la probabilità che l'animale sia effettivamente avvistato o comunque campionato dall'osservatore, può variare in base all'abilità dell'osservatore e alla presenza di condizioni particolari o avverse. Spesso le prime due sono assunte essere uguali al 100% durante i rilevamenti

(Powell et al., 2015). Metodi di stima come Capture-Mark-Recapture e Mark-Resight sono stati sviluppati per stimare principalmente la probabilità di rilevamento.

2.1. Metodi di stima di abbondanza di popolazione

In questa tesi ho utilizzato e confrontato tre metodi di stima di abbondanza di popolazione, due che richiedono animali marcati, Mark-Resight tradizionale, cioè tramite osservazione diretta con strumenti ottici, Mark-Resight con fototrappole, e uno che non richiede animali marcati, Independent Double Observer. Il metodo Mark-Resight è stato usato per stimare l'abbondanza di popolazione di diversi taxa, tra cui il cane della prateria dalla coda nera (Magle et al., 2007), ed è stato dimostrato essere efficiente per la stima di abbondanza di popolazione di ungulati che vivono in montagna (Corlatti et al., 2015). Il metodo del Mark-Resight sia tradizionale che con fototrappole richiede che gli animali oggetto dello studio siano riconoscibili singolarmente e in modo univoco. Non avendo la marmotta colorazioni del mantello o sistemi di macchie o strisce che ne permettono il riconoscimento, come succede per altri animali, ad esempio tigre (*Panthera tigris*) o lince (*Lynx rufus*) (Alonso, 2015), si rende necessario catturare gli animali per la marcatura. A differenza del metodo Capture-Mark-Recapture, le catture successive sono sostituite da occasioni di riavvistamento in cui ogni animale osservato ha lo stesso valore di una cattura. Questa differenza nel metodo di raccolta dati dà alcuni vantaggi rendendo il lavoro sul campo meno costoso e meno invasivo (McClintock e White, 2012). Tutti i modelli di Mark-Resight condividono l'assunto fondamentale secondo cui le marcature non devono essere perse durante il periodo di raccolta dati. Il metodo Double-Observer può essere applicato anche con animali non marcati, è stato applicato per la stima di abbondanza di popolazioni di diversi taxa, tra cui uccelli (Nichols et al., 2000) e ungulati (Jenkins and Manly, 2008) e pipistrelli (Duchamp et al., 2006). Presupposti necessari per il metodo Independent-Double-Observer sono: la popolazione deve essere chiusa durante le rilevazioni, i conteggi sono indipendenti, gli animali possono essere identificati, e ogni avvistamento rappresenta un campione semplice e casuale dell'intera popolazione ((Magnusson et al., 1978; Suryawanshi et al., 2012). Considerando l'avvistamento da parte di un osservatore come un primo evento di cattura e l'avvistamento da parte del secondo osservatore come una ricattura si può creare una cronologia delle catture per ciascun individuo osservato. In questo modo è possibile analizzare i dati in modo simile al metodo Capture-Mark-Recapture (Williams et al., 2002) utilizzando un modello tipo Lincoln-Petersen, ad esempio lo stimatore di Chapman, una modifica dello stimatore di Lincoln-Petersen sviluppata per ridurre i bias (Chapman, 1954).

3. La marmotta alpina

La marmotta alpina (*Marmota marmota*), figura 1, è l'unica specie del genere *Marmota* presente in Italia, appartiene alla famiglia Sciuridae ed è il più grande rappresentante dell'ordine dei roditori presente nelle Alpi. La marmotta è un animale sociale che vive in gruppi familiari composti da 2 a 20 individui che condividono territorio e risorse (Perrin et al., 1993) e collaborano nelle attività di allevamento della prole e per il periodo di ibernazione (Armitage, 2014). L'ambiente ottimale per la marmotta sono le praterie alpine tra i 600 e i 3200 m s.l.m. dove prediligono pendii non troppo scoscesi, con esposizione a sud e moderata copertura vegetale (Allainé et al, 1994).



Figura 1: foto da fototrappola, marmotta alpina, roditore, abitante delle praterie alpine dell'arco alpino, presente nell'area di studio

Le marmotte si nutrono selettivamente di piante con preferenza per le specie dicotiledoni (Allainé et al., 1994). Il periodo di attività delle marmotte inizia in primavera, in coincidenza con la fusione della copertura nevosa (Zelenka, 1965), momento durante il quale avviene l'accoppiamento. Il periodo di attività si protrae per tutta l'estate fino a quando si ibernano, riducendo la loro attività metabolica, per superare la stagione invernale utilizzano le risorse accumulate sotto forma di grasso durante il breve periodo di attività estivo (Arnold, 1990). Ogni gruppo familiare è composto da una coppia di adulti dominante e riproduttiva con la loro prole di diversa età. Talvolta la coppia dominante può essere affiancata da altri adulti maturi non imparentati, nei casi in cui vengono

tollerati individui in dispersione da gruppi vicini, processo che accade al raggiungimento della maturità sessuale all'età di 3 anni (Arnold,1990). Le famiglie possono vivere in aree lontane dalle altre oppure condividere la stessa zona con gruppi adiacenti formando una colonia (Lenti Boero, 2003). Il territorio di ogni famiglia viene difeso attivamente dai membri del gruppo ad eccezione dei piccoli dell'anno (Lenti Boero, 2003). Nell'areale ogni famiglia scava un sistema di tane di cui si distinguono due tipologie: la tana principale, con più ingressi e un sistema di tunnel di collegamento, in cui trascorrono la maggior parte del tempo, allevano la prole e passano l'inverno; e le tane di fuga distribuite su tutto il territorio, più corte e non collegate, che fungono da riparo in caso di necessità e impossibilità di raggiungere la tana principale. In caso di pericolo le marmotte emettono un caratteristico fischio di allarme, per avvertire l'intero gruppo della minaccia. I principali predatori della marmotta sono la Volpe (*Vulpes vulpes*) e l'aquila reale (*Aquila chryaetos*).

4. Obiettivi

Obiettivo di questa tesi è confrontare tre metodi di stima di abbondanza di popolazione: Independent Double Observer (IDO), Mark Resight tradizionale (MR) e Mark Resight tramite fototrappolaggio (CTMR). In particolare si è inteso comparare per precisione e accuratezza i risultati ottenuti con i metodi IDO e CTMR, avendo come riferimento i risultati ottenuti dal MR, e analizzare se e come, per ciascun metodo, ci siano rilevanti variazioni nella stima tra i diversi mesi dei campionamenti, ancora una volta per permettere in futuro una maggior efficienza nella stima di abbondanza di popolazione di marmotta alpina nel Parco dello Stelvio.

5. Materiali e metodi

5.1. Area di studio

L'area di studio, figura 2, è situata nella Val di Cedéc (10°34' N, 46°25' E), all'interno del settore lombardo del Parco Nazionale dello Stelvio. Comprende un'area di circa 17 ha che va da 2265 a 2402 m s.l.m. estesa su entrambi i versanti della valle. Il clima è caratterizzato da inverni freddi, tipici delle regioni alpine, con temperature che oscillano tra i - 12 °C e i 23 °C in estate (temperature calcolate in base alle medie mensili fornite da Google "weather averages"). L'area è stata determinata osservando all'inizio del periodo di attività (mese di maggio) gli spostamenti dei gruppi familiari stanziati e cercando di includere per ogni gruppo familiare l'intero areale. Per la determinazione del perimetro sono state sfruttate caratteristiche orografiche o elementi particolari (rocce, alberi, sentieri, recinzioni) presenti come punti di riferimento dei limiti dell'area di studio. L'area di studio presenta una copertura vegetale omogenea costituita da prateria alpina, figura 3, con la maggior parte dell'area coperta da *Carex curvula* e *Nardus stricta.*, arbusti principalmente ginepro (*Juniperus communis*) e mirtillo (*Vaccinium myrtillus*) e alcuni alberi soprattutto pino cembro (*Pinus cembra*) e larice (*Larix decidua*) più frequenti in prossimità delle rive del torrente Cedéc che attraversa l'area di studio. A livello faunistico è importante citare la presenza di predatori come l'aquila reale (*Aquila chrysaetos*) e la volpe rossa (*Vulpes vulpes*). Altri animali selvatici sono rappresentati da ungulati selvatici, come il cervo (*Cervus elaphus*) e il camoscio (*Rupicapra rupicapra*) e ungulati domestici come capre (*Capra hircus*) e mucche (*Bos taurus*).

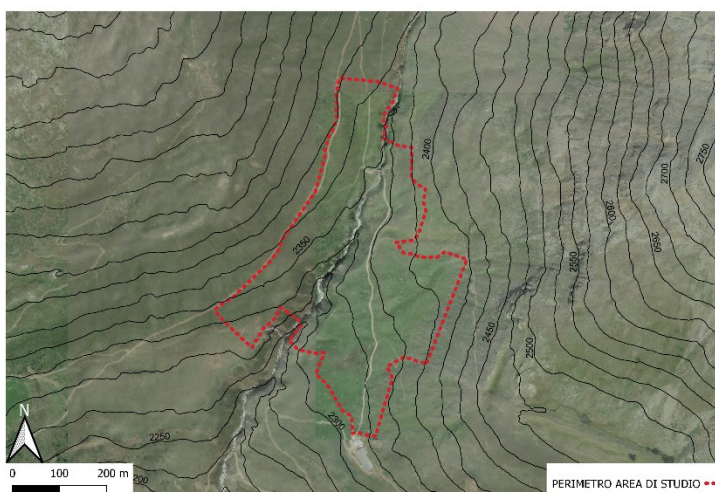


Figura 2: confini dell'area di studio collocata in Val Cedéc, nel settore lombardo del Parco Nazionale dello Stelvio



Figura 3: veduta del versante orientale dell'area di studio caratterizzata dalla presenza di prateria alpina

5.2. Catture

L'attività di cattura è stata svolta nel mese di maggio, precisamente dal 15 maggio al 25 maggio 2021, con trappole a doppia entrata Tomahawk traps (150x30x30 cm, Tomahawk Live Traps, Hazelhurst, WI, U.S.A.) all'interno delle quali veniva posizionato del Tarassaco (*Taraxacum officinalis*) come esca. Le trappole sono state distribuite vicino alle entrate delle tane principali di marmotta per massimizzare la probabilità di cattura (Corlatti et al.,2017; Corlatti et al.,2020). Le trappole sono state attivate durante le ore diurne dalle 8.00 del mattino al tramonto e costantemente controllate con binocolo da un operatore posto in un punto di osservazione ad una distanza dalle trappole tale da ridurre il disturbo per gli animali e allo stesso tempo minimizzare il tempo di permanenza dell'animale nella trappola. Al momento della cattura una squadra di tre persone raggiungeva l'animale e dava inizio alla raccolta dei dati:

- parametri fisiologici: la marmotta è stata pesata utilizzando un dinamometro a molla, la frequenza cardiaca e la frequenza respiratoria sono state misurate contando il numero di battiti cardiaci e di respiri in 15 secondi utilizzando uno stetoscopio;
- misure biometriche: temperatura del corpo utilizzando un termometro rettale, lunghezza totale - dal naso alla base della coda -, lunghezza delle zampe posteriori, lunghezza della coda, distanza anogenitale - fino alla base della coda -. lunghezza della coda, distanza anogenitale - per determinare il sesso (Zelenka, 1965) - utilizzando un calibro e un righello;

L'ultima fase del trattamento è stata la procedura di marcatura. Le marmotte sono state marcate con un transponder Bayer Tracer e con una combinazione di marche auricolari bicolori (disponibilità di colori: blu, arancione, giallo, verde), figura 4.



Figura 4: foto da fototrappola, gruppo di marmotte appartenente al gruppo oggetto di studio in cui si notano le marche auricolari colorate

Per ogni gruppo familiare, ogni individuo è stato marcato con una combinazione univoca di tag per rendere gli animali riconoscibili a grande distanza, considerando ogni gruppo familiare una popolazione chiusa e isolata. In totale, 37 animali (18 femmine e 19 maschi) sono stati catturati e marcati durante la sessione di cattura di maggio. I dati relativi all'identificazione degli animali catturati, il colore delle marche auricolari e alla famiglia di appartenenza, sono stati riportati nella tabella 1. Le attività di cattura sono state legalmente autorizzate dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) e sono state condotte con l'assistenza di un veterinario.

ID animale	nome	Orecchio sinistro	Orecchio destro	Gruppo
pns-bb15	Mali	blu	blu	alpine
pns-bg34	Odin	blu	verde	alpine
pns-by33	Vala	blu	giallo	alpine
pns-gb29	Stella	verde	blu	alpine
pns-gg12	Brian	verde	verde	alpine
pns-go31	Artu	verde	arancione	alpine
pns-gy19	Wild	verde	giallo	alpine

pns-oo17	Jon	arancione	arancione	alpine
pns-yb20	Snow	giallo	blu	alpine
pns-yg21	Merida	giallo	verde	alpine
pns-yo22	Chill	giallo	arancione	alpine
pns-yy10	Freya	giallo	giallo	alpine
pns-bg35	Ayiana	blu	verde	bear
pns-bo32	Lost	blu	arancione	bear
pns-by36	Nimaamaa	blu	giallo	bear
pns-ob27	Alan	arancione	blu	bear
pns-og28	Steve	arancione	verde	bear
pns-oy30	Koda	arancione	giallo	bear
pns-bb23	Vittorio	blu	blu	kliff
pns-gg14	Jack	verde	verde	kliff
pns-oo37	Anne	arancione	arancione	kliff
pns-yy7	Will	giallo	giallo	kliff
pns-bg8	Abra	blu	verde	playground
pns-bo6	Marco	blu	arancione	playground
pns-by9	Orlando	blu	giallo	playground
pns-ob1	Endo	arancione	blu	playground
pns-og2	Mia	arancione	verde	playground
pns-oy5	Selene	arancione	giallo	playground
pns-bb24	Emma	blu	blu	river
pns-gg18	Nim	verde	verde	river
pns-oo25	Isa	arancione	arancione	river
pns-yy13	Flavio	giallo	giallo	river
pns-ob16	Zen	arancione	blu	rockies
pns-og26	Leda	arancione	verde	rockies
pns-ob3	Olaf	arancione	blu	shepherd
pns-og4	Bella	arancione	verde	shepherd
pns-oy11	Roberto	arancione	giallo	shepherd

Tabella 1: elenco degli esemplari catturati con ID, nome, colore marche auricolari e gruppo familiare di appartenenza

5.3. Mark-Resight tradizionale

In questo studio per il MR l'area di studio è stata suddivisa in 7 sezioni, corrispondenti all'areale dei 7 gruppi familiari principali presenti nell'area. Per la modalità tradizionale sono state svolte 3 occasioni primarie una per ciascuno dei mesi di giugno, luglio e agosto, ognuna composta da 4 occasioni secondarie (2 svolte al mattino e 2 nel pomeriggio). In ogni occasione secondaria, due operatori osservavano ciascuna sezione da postazioni strategiche con binocoli 8x42,8x50 per l'avvistamento degli animali e cannocchiale 20-60x65 per la conferma e il riconoscimento delle marche auricolari. Per ogni sezione veniva registrato il numero di animali non marcati, animali marcati non identificati e per gli animali marcati e riconosciuti anche l'identità di ciascuno. Tutte le sessioni di MR sono state condotte in un breve lasso di tempo, quindi è stata adottata un'ipotesi di popolazione chiusa (Otis et al., 1978). Per l'intera durata dello studio si è considerato costante il numero di animali marcati, corrispondente al numero di animali totali catturati e marcati durante il periodo di cattura iniziale, per permettere una più semplice analisi dei dati. Dai dati raccolti in campo è stato creato un dataset in cui per ogni occasione secondaria di avvistamento veniva riportato, per ciascuno degli animali marcati, "1" per indicare un animale avvistato e "0" per un animale non avvistato; nel corso delle stesse occasioni secondarie, è stato registrato anche il numero di animali non marcati e marcati non identificati. Per ogni mese poi si sono sommati il numero di avvistamenti di ciascun animale ottenendo i dati riportati in tabella 2.

ID ANIMALE	GRUPPO	GIUGNO	LUGLIO	AGOSTO
pns-yy10	alpine	1	2	0
pns-gg12	alpine	2	1	2
pns-bb15	alpine	1	1	2
pns-oo17	alpine	2	1	2
pns-gy19	alpine	2	1	0
pns-xb20	alpine	1	2	2
pns-yg21	alpine	1	0	1
pns-xo22	alpine	0	0	0
pns-gb29	alpine	1	0	0
pns-go31	alpine	2	2	1
pns-by33	alpine	2	2	0
pns-bg34	alpine	1	1	0
pns-ob27	bear	4	3	4
pns-og28	bear	3	4	0
pns-oy30	bear	3	3	2
pns-bo32	bear	2	3	4
pns-bg35	bear	2	2	1
pns-by36	bear	3	1	0
pns-yy7	kliff	1	2	4

pns-gg14	kliff	1	2	2
pns-bb23	kliff	2	3	2
pns-oo37	kliff	2	2	1
pns-ob1	playground	1	0	1
pns-og2	playground	2	2	1
pns-oy5	playground	0	3	2
pns-xo6	playground	3	1	0
pns-bg8	playground	0	0	0
pns-by9	playground	0	0	0
pns-yy13	river	0	0	0
pns-xg18	river	2	2	1
pns-xb24	river	4	2	2
pns-oo25	river	3	2	2
pns-ob16	rockies	0	3	2
pns-xg26	rockies	2	3	1
pns-ob3	shepherd	4	1	0
pns-og4	shepherd	3	1	2
pns-Xy11	shepherd	1	3	1
marcati sconosciuti		10	9	9
non marcati		29	18	22

Tabella 2: riavvistamenti da Mark-Resight tradizionale per ogni esemplare, animali marcati sconosciuti e non marcati, con gruppo familiare e numero di riavvistamenti per ogni mese

Per l'analisi dei dati raccolti è stato usato lo stimatore di Bowden (Bowden and Kufeld, 1995), considerato affidabile a condizione che le marcature siano distribuite in modo omogeneo all'interno del gruppo (Fattorini et al., 2007). Risulta particolarmente adatto al nostro scopo in quanto ammette eterogeneità nella probabilità di riavvistamento e non richiede indipendenza tra gli eventi di avvistamento. Richiede però la sussistenza di alcune ipotesi:

- ogni animale ha la stessa possibilità di essere selezionato per la marcatura e le "n" selezioni per la marcatura sono indipendenti. Questo è equivalente a un campione semplice casuale senza sostituzione. Agli animali vengono assegnati marchi unici;
- il numero di volte in cui ogni singolo animale marcato viene avvistato è registrato senza errori;
- Il numero di avvistamenti degli animali non marcati è registrato senza errori;
- l'avvistamento è indipendente dallo stato del marchio (ad esempio, il marchio non influenza la visibilità);
- chiusura della popolazione

Risulta utile, inoltre, poiché ammette la presenza di animali marcati non identificati come dati utili alla stima, evento frequente nella modalità tradizionale data l'abitudine semifossoria delle marmotte. Lo stimatore di Bowden è implementato nel programma NOREMARK in cui l'algoritmo richiede i dati di: il totale degli animali marcati al momento del campionamento, il numero di riavvistamenti di ciascun animale marcato, il numero di animali marcati non identificati e il numero di animali non marcati. L'algoritmo calcola la stima di abbondanza di popolazione con l'intervallo di confidenza al 95%.

5.4. Mark-Resight con fototrappole

Per questo studio sono state usate 16 fototrappole 8 DÖRR Snapshot e 8 ScoutGuard SG560P-8M. La posizione di ogni singola fototrappola è stata scelta vicino all'ingresso di una tana, vicino a luoghi di riposo o su vie utilizzate dalle marmotte per spostarsi, per massimizzare la probabilità di fotografare gli individui. Le fototrappole sono state disposte in modo tale che nell'area di ciascuno dei 7 gruppi familiari di marmotte presenti nell'area di studio fossero presenti due fototrappole, fatta eccezione per il gruppo "Alpine" che per numerosità ed estensione aveva 4 fototrappole all'interno dell'areale. Ad ogni fototrappola sono state assegnate due postazioni in modo da garantire una maggiore copertura dell'area di studio, figura 5.

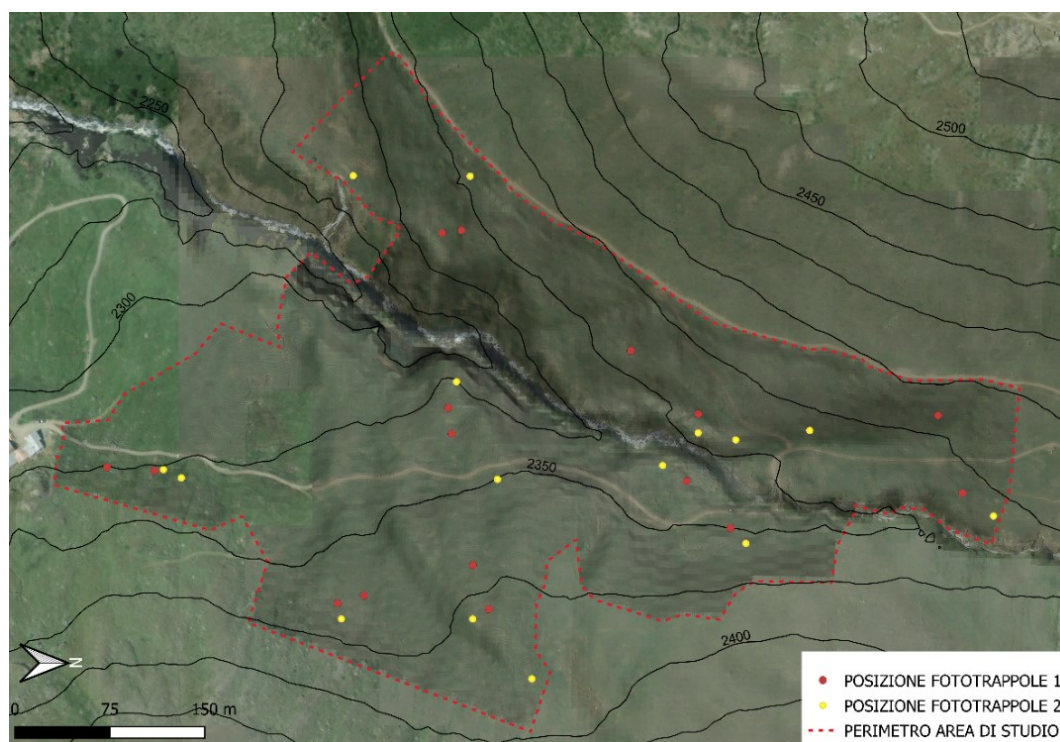


Figura 5: perimetro area di studio con posizioni delle fototrappole, in rosso posizione 1, in giallo posizione 2, per ciascuna fototrappola

Sono state svolte 6 occasioni di fototrappolaggio, nei mesi di giugno, luglio e agosto, due per ciascun mese, ognuna della durata di 7 giorni in cui le fototrappole erano costantemente attive. Alla fine di ogni occasione, le fototrappole venivano controllate e venivano scaricati i dati. Prima della riattivazione si procedeva allo spostamento di ogni fototrappola nella postazione non usata per l'occasione appena terminata. Per ogni mese i dati delle due occasioni sono stati sommati ed analizzati come un'unica sessione. Le fototrappole sono state posizionate su paletti usati come supporto data la mancanza di supporti naturali dovuti alle caratteristiche dell'ambiente. Ogni fototrappola è stata fissata su un singolo paletto a circa 20cm dal livello del suolo, figura6, considerando l'altezza della spalla delle marmotte da terra (Apps e McNutt, 2018). Tutte le fototrappole sono state orientate verso Nord, per ridurre l'interferenza del sole diretto e inclinate in modo da seguire l'andamento della pendenza del suolo, per aumentare la possibilità di intercettare gli animali (Apps e McNutt, 2018).



Tabella 3: fototrappola posizionata nell'area di studio durante le sessioni di fototrappolaggio

Data la presenza di due diversi modelli di fototrappola dopo alcune prove sul campo è stato scelto per ciascun tipo il settaggio che massimizzasse la probabilità di avere foto di marmotte e allo stesso tempo che rendesse i dati comparabili in base alle specifiche di ogni modello. In particolare, per il modello DÖRR Snapshot è stato scelto un settaggio con sequenza di 3 foto per ogni attivazione del sensore a infrarosso, di cui per il conteggio dei riavvistamenti è stata usata solo un'immagine. Per il

modello SCOUT GUARD una singola foto per ogni attivazione del sensore. In questo modo il tempo trascorso tra un'attivazione la seguente risulta molto simile tra i due modelli (circa 9 secondi) riducendo la possibilità di perdere dei dati per il tempo in cui la fototrappola non funziona. I dati raccolti da ogni fototrappola, quindi le foto scattate, sono state analizzate singolarmente per la creazione del dataset. In particolare si è cercata in ciascuna foto la presenza di almeno una marmotta, anche solo di una parte riconducibile a una marmotta (una porzione del corpo). Accertata la presenza di una marmotta si è proceduto dove possibile all'identificazione dell'animale tramite i colori delle marche auricolari. Data la limitata gamma di colori disponibili nelle marche auricolari e il ripetersi di alcune combinazioni all'interno della popolazione campionata per la corretta identificazione si è reso necessario conoscere nel territorio di quale gruppo familiare si trovava ciascuna fototrappola. Si è quindi costruito un dataset del tutto simile a quello creato per il metodo Mark-Resight tradizionale, fatta eccezione per la presenza di un certo numero di animali avvistati che per posizione all'interno della foto, per distanza dalla fototrappola o per qualità dell'immagine era impossibile identificare. Questo tipo di avvistamento è stato inserito nella categoria sconosciuto (unknown). Questo tipo di dato rappresenta però un problema in quanto non rientra tra quelli ammessi dallo Stimatore di Bowden utilizzato per la stima di abbondanza di popolazione. Per sopperire a questo problema per ciascun mese il numero di avvistamenti di animali sconosciuti è stato diviso seguendo il rapporto tra animali marcati non identificati e non marcati e infine sommato, per la parte corrispondente, al dato degli animali marcati non identificati e di quelli non marcati. Nel caso della presenza di più marmotte nella stessa foto, si è considerato come un evento di riavvistamento per ogni marmotta presente, identificabile o no secondo quanto detto sopra.

ID	TAG	GIUGNO				LUGLIO				AGOSTO			
		R1	R2	totale	correzione	R1	R2	totale	correzione	R1	R2	totale	correzione
<i>pns-yy10</i>	Y-Y	0	3	3		1	1	2		0	0	0	
<i>pns-gg12</i>	G-G	0	1	1		2	0	2		0	0	0	
<i>pns-bb15</i>	B-B	0	6	6		0	7	7		0	42	42	
<i>pns-oo17</i>	O-O	0	4	4		2	33	35		0	2	2	
<i>pns-gy19</i>	G-Y	6	0	6		0	0	0		6	0	6	
<i>pns-yb20</i>	Y-B	3	8	11		0	10	10		42	26	68	
<i>pns-yg21</i>	Y-G	2	0	2		6	0	6		0	0	0	
<i>pns-yo22</i>	Y-O	8	1	9		2	1	3		11	0	11	
<i>pns-gb29</i>	G-B	0	2	2		0	0	0		0	0	0	
<i>pns-go31</i>	G-O	0	2	2		3	7	10		10	0	10	
<i>pns-by33</i>	B-Y	1	2	3		0	0	0		0	0	0	
<i>pns-bg34</i>	B-G	2	0	2		0	0	0		0	0	0	
<i>pns-ob27</i>	O-B	4	1	5		1	166	167		14	6	20	
<i>pns-og28</i>	O-G	0	0	0		0	5	5		0	0	0	
<i>pns-oy30</i>	O-Y	3	0	3		0	43	43		6	27	33	
<i>pns-bo32</i>	B-O	6	3	9		3	287	290		4	69	73	

<i>pns-bg35</i>	B-G	2	1	3		0	142	142		0	0	0	
<i>pns-by36</i>	B-Y	0	0	0		0	6	6		0	0	0	
<i>pns-yy7</i>	Y-Y	3	3	6		6	1	7		7	20	27	
<i>pns-gg14</i>	G-G	0	6	6		2	6	8		6	25	31	
<i>pns-bb23</i>	B-B	5	10	15		7	1	8		42	1	43	
<i>pns-oo37</i>	O-O	4	8	12		11	4	15		2	6	8	
<i>pns-ob1</i>	O-B	0	0	0		0	1	1		0	0	0	
<i>pns-og2</i>	O-G	1	0	1		0	53	53		0	0	0	
<i>pns-oy5</i>	O-Y	0	0	0		0	0	0		0	0	0	
<i>pns-bo6</i>	B-O	3	0	3		17	62	79		0	0	0	
<i>pns-bg8</i>	B-G	0	2	2		0	0	0		0	0	0	
<i>pns-by9</i>	B-Y	0	0	0		1	0	1		0	0	0	
<i>pns-yy13</i>	Y-Y	0	0	0		0	0	0		0	0	0	
<i>pns-gg18</i>	G-G	4	0	4		2	0	2		9	43	52	
<i>pns-bb24</i>	B-B	24	1	25		1	33	34		0	18	18	
<i>pns-oo25</i>	O-O	83	0	83		3	8	11		0	39	39	
<i>pns-ob16</i>	O-B	1	92	93		0	9	9		0	64	64	
<i>pns-og26</i>	O-G	0	0	0		2	7	9		0	54	54	
<i>pns-ob3</i>	O-B	19	0	19		0	0	0		0	0	0	
<i>pns-og4</i>	O-G	1	0	1		26	15	41		2	23	25	
<i>pns-oy11</i>	O-Y	19	1	20		38	20	58		4	1	5	
<i>markunk</i>	MU	146	83	229	420	146	937	1083	1944	207	262	469	864
<i>unmark</i>	UM	44	17	61	112	47	282	329	586	112	167	279	511
<i>unknow</i>	UK	173	69	242		180	938	1118		357	270	627	

Tabella 3: dati riavvistamenti con fototrappole divisi per mese, in ogni mese dati dei due turni di fototrappolaggio "T1" e "T2" e totale ottenuto dalla somma dei due turni, per ciascun individuo marcato e animali marcati non riconosciuti (markunk MU), non marcati (unmark UM) e sconosciuti (unknow UK). Con calcolo redistribuzione proporzionale di animali UK nella colonna "correzione".

5.5. Independent Double Observer

Per questo metodo sono state svolte 3 sessioni principali, nei mesi di giugno, luglio e agosto. Nel mese di giugno sono state effettuate 5 occasioni di osservazione, mentre per i mesi di luglio e agosto sono state effettuate 6 occasioni di osservazione ciascuno. Le occasioni di osservazione entro mese sono state divise equamente tra mattino e pomeriggio. Durante ogni occasione di avvistamento l'area di studio è stata suddivisa in settori di area inferiore per facilitare l'esecuzione e per ridurre la possibilità di errori durante l'avvistamento, ognuno con un punto di osservazione che permettesse una buona visibilità sull'area di interesse e che garantisse di non disturbare gli animali nella zona da osservare. Per ogni sottosettore due osservatori tramite binocoli 10x50 e 8x42 osservavano seguendo la stessa direzione tutta l'area concordata, annotando il numero di animali avvistati e la relativa posizione, evitando di osservare più volte lo stesso punto. Conoscere la posizione di ogni animale è necessario al momento del confronto dei dati per verificare quali animali sono stati visti dall'uno, dall'altro o da entrambi gli osservatori. Si è costruito così un dataset formato da una tabella a tre colonne, una per gli animali visti solo da un osservatore (A), una per gli animali vista solo dall'altro osservatore (B) e la terza per gli animali visti da entrambi, tabella 4.

MESE	OCCASIONE	OSSERVATORE A	OSSERVATORE B	OSSERVATORE A e B
<i>giugno</i>	1	10	7	8
<i>giugno</i>	2	11	7	7
<i>giugno</i>	3	2	9	14
<i>giugno</i>	4	5	4	9
<i>giugno</i>	5	8	4	7
<i>luglio</i>	1	13	5	9
<i>luglio</i>	2	2	10	16
<i>luglio</i>	3	4	4	14
<i>luglio</i>	4	4	9	18
<i>luglio</i>	5	4	5	10
<i>luglio</i>	6	3	10	10
<i>agosto</i>	1	5	6	17
<i>agosto</i>	2	5	1	20
<i>agosto</i>	3	4	1	12
<i>agosto</i>	4	3	2	9
<i>agosto</i>	5	4	3	21
<i>agosto</i>	6	1	2	15

Tabella 4: riassunto dei dati IDO per ciascuna occasione di avvistamento di ogni mese, con avvistamenti da parte di: solo osservatore A, solo osservatore B, entrambi gli osservatori

I dati così organizzati possono facilmente essere analizzati utilizzando uno stimatore cattura-ricattura classico. In particolare per ogni sessione i dati sono stati analizzati utilizzando lo stimatore di Chapman (Chapman,1954)

$$y_i = \frac{(AB_i + A_i + 1) \times (AB_i + B_i + 1)}{AB_i + 1} - 1$$

Dove i corrisponde ad una data sessione, AB_i corrisponde al numero di animali visti da entrambi gli osservatori nella sessione i , A_i corrisponde al numero di animali visti dall'osservatore A nella sessione i e B_i corrisponde al numero di animali visti dall'osservatore B nella sessione i . La formula

per il calcolo della varianza dello stimatore, fornita da Seber (1982) è:

$$Var(y_i) = \frac{(AB_i + A_i + 1) \times (AB_i + B_i + 1) \times A_i \times B_i}{(AB_i + 1)^2 \times (AB_i + 2)}$$

Per ciascun mese, dalle stime ottenute con lo stimatore di Chapman è stata calcolata una media pesata sulla varianza, utilizzando il metodo proposto da Cochran (1954), in cui il peso di ciascuna stima corrisponde a:

$$w_i = 1/Var(y_i)$$

La stima media per ciascun mese è stata quindi definita come la sommatoria del numero di animali stimati per ciascuna sessione pesato per la varianza della stima diviso per la sommatoria del peso delle stime:

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Con varianza

$$Var(Y) = \frac{1}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

6. Risultati

6.1. Mark-Resight tradizionale

Durante le sessioni di Mark-Resight tradizionale sono stati effettuati i seguenti avvistamenti:

- nella sessione di giugno 64 animali marcati e identificati, 10 marcati non identificati, 29 non marcati
- nella sessione di luglio 61 animali marcati e identificati, 9 marcati non identificati, 18 non marcati
- nella sessione di agosto 45 animali marcati e identificati, 9 marcati non identificati, 22 non marcati

Lo stimatore di Bowden ha dato come risultato una stima di abbondanza di popolazione corrispondente a: 51 individui per il mese di giugno (IC 95%= 47-55), per il mese di luglio 46 individui (IC 95%=43-49), per il mese di agosto 52 individui (IC 95%=45-59)

6.2. Mark-Resight con fototrappole

Durante le sessioni di Mark-Resight con fototrappole sono stati effettuati i seguenti avvistamenti:

- nella sessione di giugno 361 animali marcati e identificati, 229 marcati non identificati, 91 non marcati, 242 sconosciuti
- nella sessione di luglio 1064 animali marcati e identificati, 1083 marcati non identificati, 329 non marcati, 1118 sconosciuti
- nella sessione di agosto 631 animali marcati e identificati, 469 marcati non identificati, 279 non marcati, 622 sconosciuti

Gli animali riportati come sconosciuti sono stati ridistribuiti in modo proporzionale tra marcati non identificati e non marcati portando ai risultati nella colonna "correzione" della Tabella 3. Lo stimatore di Bowden ha dato come risultato una stima di abbondanza di popolazione corrispondente a: per il mese di giugno 42 individui (IC95%=34-51), per il mese di luglio 43 individui (IC95%=35-54), per il mese di agosto 49 individui (IC95%=40-60).

6.3 Independent Double Observer

Per la stima con il metodo Independent Double Observer, la stima risulta più affidabile se in ogni sessione si registrano almeno 7 eventi di ricattura, cioè animali visti da entrambi gli osservatori (Krebs,1999). Dopo aver applicato lo stimatore di Chapman ho ottenuto le seguenti stime: per il mese di giugno 25 individui (IC95%=23-27), per il mese di luglio 26 individui (IC95%=24-28), per il mese di agosto 21 individui (IC95%=20-22).

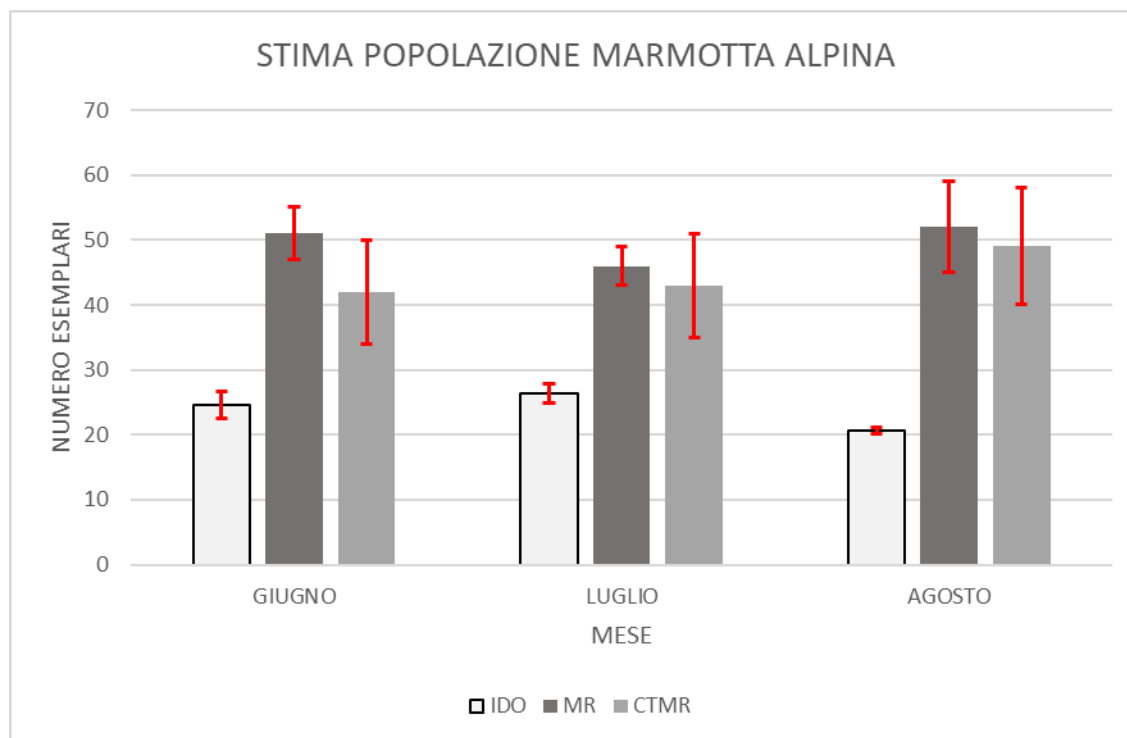


Figura 6: grafico riassuntivo dei risultati di stima di abbondanza di popolazione ottenuti con i metodi: Independent Double Observer (IDO), Mark-Resight tradizionale (MR), Mark-Resight con fototrappole (CTMR), di una popolazione di marmotta alpina nel Parco Nazionale dello Stelvio nel 2021. Le barre grige rappresentano il numero di esemplari stimato, le barre in rosso l'intervallo di confidenza del 95%

7. Discussione

Confrontando i metodi di stima di abbondanza di popolazione presi in esame in questo studio risulta evidente come, quando le ipotesi sono soddisfatte, i metodi che si basano su individui marcati in questo caso Mark-Resight tradizionale e con fototrappole forniscono stime affidabili (Pierce et al., 2012). Per tutta la durata dello studio sono state prese come valide le ipotesi di permanenza delle marche auricolari e la chiusura della popolazione, considerando trascurabili immigrazione, emigrazione e mortalità. Anche gli eventi di natalità non hanno influenzato i dati in quanto i piccoli dell'anno non sono stati conteggiati durante le osservazioni. In questo modo le ipotesi necessarie all'applicazione dello stimatore di Bowden sono soddisfatte e può essere considerato affidabile (Fattorini et al., 2007). Considerando i movimenti dentro e fuori dalla tana casuali, si può assumere per il metodo Mark-Resight, in entrambe le varianti, la probabilità di disponibilità uguale a 1 e quindi considerare la stima affidabile (Kendall et al. 1997). Il confronto dei risultati ottenuti da IDO con gli altri due metodi presi in esame evidenzia una sottostima della popolazione, presumibilmente legata alle abitudini delle marmotte, che al momento dell'osservazione possono essere all'interno della tana e quindi non essere disponibili al rilevamento (Powell et al., 2015). Questo dato sembrerebbe confermare studi precedenti su marmotte nel Parco Nazionale dello Stelvio (Corlatti et al., 2017) in cui si ipotizza una sottostima del metodo IDO rispetto al MR di circa il 50%, come osservabile in figura 7. Per quanto riguarda l'ipotesi di una significativa variazione nell'efficacia e accuratezza della stima tra i mesi presi in esame nello studio, i risultati suggeriscono che la scelta di effettuare la stima di abbondanza di popolazione in un periodo compreso in quel lasso di tempo non influenza in modo significativo il risultato per i metodi di Mark-Resight sia tradizionale che con fototrappole, mentre per il metodo Independent-Double-Observer si notano variazioni in particolare nel mese di agosto. Per quanto riguarda l'impiego di tempo e risorse necessario per i metodi applicati in questo studio, facendo riferimento alla tabella 6 si possono fare alcune considerazioni. Il metodo Mark-Resight tradizionale e anche con fototrappole richiede un'occasione in cui gli animali vengono catturati e marcati, operazione dispendiosa sia per tempo che per risorse, una volta effettuata questa operazione risultano però più accurati nella stima. Tra le due metodologie di MR quella tradizionale richiede un tempo di permanenza in campo maggiore, soprattutto se sono necessarie più sessioni di osservazione, richiedendo però un minor tempo necessario all'analisi dei dati per l'ottenimento della stima. Il metodo Mark-Resight con fototrappole richiede un tempo di lavoro in campo che varia in base al numero di fototrappole che si decide di impiegare, ma che risulta importante solo la prima volta che le fototrappole vengono posizionate, poi la presenza in campo si riduce al ritiro delle

schede di memoria per scaricare i dati, dati che possono essere impegnativi da analizzare e catalogare e che hanno presentato in questo caso un problema con il grande numero di avvistamenti di animali sconosciuti, dato non ammesso dallo stimatore di Bowden utilizzato per la stima. Per entrambi invece è vantaggiosa la necessità di un singolo operatore in campo e anche la facilità di utilizzo dello stimatore di Bowden implementato in NOREMARK che rende il lavoro di stima di abbondanza di popolazione accessibile anche a personale poco esperto. Il metodo Independent Double Observer richiede la presenza in campo di due operatori, fattore che può aumentare i costi, ma per contro non richiede la marcatura degli animali risultando così nel complesso meno dispendioso per tempo e risorse. Non richiedendo la cattura e la manipolazione risulta anche meno impattante e disturbante sulla popolazione che si ha necessità di studiare. In conclusione, il metodo Mark Resight tradizionale offre una stima accurata e affidabile, ma presenta costi alti per interventi e lavori in campo. Il metodo Mark-Resight con fototrappole per accuratezza e affidabilità comparabile alla sua versione tradizionale presenta il vantaggio di un minor lavoro in campo a fronte di un maggior lavoro di analisi dei dati raccolti. Se come in questo caso le fototrappole sono utilizzate anche per altri scopi, ad esempio studi comportamentali, può essere un ottimo strumento di stima di abbondanza di popolazione. Entrambi questi metodi presentano però alcune criticità per l'uso a lungo termine, prima e principale delle quali la perdita delle marche auricolari, che rende vano il lavoro di marcatura decretando una perdita economica, e contemporaneamente rende inapplicabile il metodo in sé. Risulta quindi più economico e meno impegnativo per monitoraggi a lungo termine il metodo Independent Double Observer che fa della non necessità di animali marcati il suo punto di forza, ma presenta un'accuratezza sicuramente non comparabile ai metodi con animali marcati. Se però in altri studi venisse confermata la costanza della sottostima del 50% circa già riscontrata in alcuni studi, potrebbe con un fattore di correzione portare a stime affidabili.

Colonna1	Mark-Resight tradizionale	Mark-Resight fototrappole	Independent Double Observer
Nr. Operatori	1	1	2
strumenti	strumenti ottici	fototrappole	strumenti ottici
lavoro sul campo	3 ore per osservazione	15 min ogni fototrappola	2 ore per osservazione
elaborazione dati	30 min	1 ora ogni fototrappola	20 min

Tabella 6: riassunto delle informazioni sui metodi confrontati (Mark-Resight tradizionale, Mark-Resight con fototrappole, Independent Double Observer, per quanto riguarda numero operatori e strumenti necessari e tempistiche di lavoro

8. Bibliografia

- Allainé, D., Rodrigue, I., Berre, M. L. & Ramousse, R. 1994, Habitat preferences of alpine marmots, *Marmota marmota*. *Canadian Journal of Zoology*. 72, 2193–2198
- Alonso, R. S., McClintock, B. T., Lyren, L. M., Boydston, E. E. & Crooks, K. R., 2015, Mark-Recapture and Mark-Resight Methods for Estimating Abundance with Remote Cameras: A Carnivore Case Study. *PLoS ONE* 10, e0123032.
- Apps, P. J. & McNutt, J. W. 2018, How camera traps work and how to work them. *Afr J Ecol* 56, 702–709
- Armitage, K. B. 2014, *Marmot Biology: Sociality, Individual Fitness, and Population Dynamics*. (Cambridge University Press,).
- Arnold, W. 1988, Social thermoregulation during hibernation in alpine marmots (*Marmota marmota*). *J Comp Physiol B* 158, 151–156.
- Barash, D. P. 1976, Social behaviour and individual differences in free-living Alpine marmots (*Marmota marmota*). *Animal Behaviour* 24, 27–35.
- Borgo A., 2004. Habitat requirements of the Alpine marmot *Marmota marmota* in re-introduction areas of the Eastern Italian Alps. Formulation and validation of habitat suitability models. *Acta Theriol* 48, 557–569.
- Bowden D.C., Kufeld R.C., 1995. Generalized Mark-Sight Population Size Estimation Applied to Colorado Moose. *The Journal of Wildlife Management* 59: 840-851.
- Buckland S.T., Anderson D.R., Burnham K.P., Laake J.L., Borchers D.L., Thomas L., 2001. *Introduction to distance sampling*. Oxford University Press. Oxford
- Chapman D.G., 1954. The Estimation of Biological Populations. *The Annals of Mathematical statistics* 25: 1-15.
- Corlatti L., Fattorini L., Nelli L., 2015. The use of block counts, mark-resight and distance sampling to estimate population size of a mountain-dwelling ungulate. *Population Ecology* 57: 409–419.

- Corlatti, L., Nelli, L., Bertolini, M., Zibordi, F. & Pedrotti L., 2017, A comparison of four methods to estimate population size of Alpine marmot (*Marmota marmota*)
- Corlatti, L., Sivieri, S., Sudolska, B., Giacomelli, S. & Pedrotti L., 2020, A field test of unconventional camera trap distance sampling to estimate abundance of marmot populations. *Wildlife Biology* 2020.
- Duchamp J.E., Yates M., Muzika, R.-M., Swihart R.K., 2006. Estimating probabilities of detection for bat echolocation calls: an application of the double-observer method. *Wildlife Society Bulletin* 34: 408–412.
- Fattorini L., Marcheselli M., Monaco A., Pisani C., 2007. A critical look at some widely used estimators in mark-resighting experiments. *Journal of Animal Ecology* 76: 957-965.
- Grimm, V. et al., 2003, Modelling the role of social behavior in the persistence of the alpine marmot *Marmota marmota*. *Oikos* 102, 124–136.
- Jenkins K.J, Manly B.F., 2008. A double-observer method for reducing bias in faecal pellet surveys of forest ungulates. *Journal of Applied Ecology* 45: 1339–1348
- Kendall W.L., Nichols J.D., Hines J.E., 1997. Estimating temporary emigration using Capture-Recapture data with Pollock’s robust design. *Eology* 78: 563-578.
- Krebs C.J., 1999. *Ecological Methodology*. Benjamin/Cummings: 620.
- Lenti Boero D., 2003, Long-term dynamics of space and summer resource use in the alpine marmot (*Marmota marmota* L.). *Ethology Ecology & Evolution - ETHOL ECOL EVOL* 15.
- Magle, S. B. et al., 2007, Mark–Resight Methodology for Estimating Population Densities for Prairie Dogs. *Journal of Wildlife Management* 71, 2067–2073.
- Magnusson W.E., Caughley G.J., Grigg G.C., 1978. Double-survey estimate of population size from incomplete counts. *The Journal of Wildlife Management* 42: 174–176
- Maillard D., 2007. Indicators of ecological change: new tools for managing populations of large herbivores. *Journal of Applied Ecology* 44: 634-643
- Marques T.A., Thomas L., Fancy S.G., Buckland S.T., 2007. Improving estimates of bird density using multiple-covariate distance sampling. *The Auk* 124: 1229–1243

McClintock B.T., White G.C., 2012. From NOREMARK to MARK: software for estimating demographic parameters using mark-resight methodology. *Journal of Ornithology* 152: 641-650.

McClintock, B. T., White, G. C., Antolin, M. F. & Tripp, D. W., 2009, Estimating Abundance Using Mark-Resight When Sampling Is with Replacement or the Number of Marked Individuals Is unknown. *Biometrics* 65, 237–246.

Morellet N., Gaillard J.-M., Hewison A.J.M., Ballon P., Boscardin Y., Duncan P., Klein F., Maillard D., 2007. Indicators of ecological change: new tools for managing populations of large herbivores. *Journal of Applied Ecology* 44: 634–643.

Neuhaus, P. & Mainini, B., 1998, Reactions and adjustment of adult and young alpine marmots *Marmota marmota* to intense hiking activities. *Wildlife Biology* 4, 119–123.

Nichols J.D., Hines J.E., Sauer J.R., Fallon F.W., Fallon J.E., Heglund P.J., 2000, A doubleobserver approach for estimating detection probability and abundance from point counts. *The Auk* 117: 393–408.

Oberosler, V., Groff, C., Iemma, A., Pedrini, P. & Rovero, F., 2017, The influence of human disturbance on occupancy and activity patterns of mammals in the Italian Alps from systematic camera trapping. *Mammalian Biology* 87, 50–61

Otis D.L., Burnham K.P., White G.C., Anderson D, 1978, Statistical inference from populations. capture data on closed animal Wildlife. Monograph 62: 3–135.

Perrin, C. & Berre, D. A. & M. L., 2010, Socio-spatial Organization and Activity Distribution of the Alpine Marmot *Marmota marmota*: Preliminary Results. *Ethology* 93, 21–30.

Pierce B.L., Lopez R.R., Silvy N.J., 2012. Estimating Animal Abundance. In: Silvy N.J. (Ed.) *The Wildlife Techniques Manual*. 7th ed. The John Hopkins University Press. Baltimore. 284–310.

Powell L.A., Gale G.A., 2015. Estimation of Parameters for Animal Populations. *Caught Napping Publications Lincoln, Nebraska USA*: 239

Putman, R.J., 1984, Facts from faeces. *Mammal Review*, 14, 79–97.

Reby, D., Hewison, A.J.M., Cargnelutti, B., Angibault, J.M. & Vincent, J.P., 1998, Use of vocalizations to estimate population size of roe deer. *Journal of Wildlife Management*, 62, 1342–1348

- Riddle, J. D., Pollock, K. H. & Simons, T. R., 2010, An Unreconciled Double-Observer Method for Estimating Detection Probability and Abundance. *The Auk* 127, 841–849.
- Schwarz C.J., Seber G.A.F., 1999, Estimating animal abundance: review III. *Statistical Science* 14: 427–456
- Sinclair A.R.E., Fryxell J.M., Caughley G., 2006. *Wildlife Ecology, Conservation, and 2nd Management*. Ed. Blackwell Publishing. Oxford.
- Singh N.J., Milner-Gulland E.J., 2011, Monitoring ungulates in Central Asia: current constraints and future potential. *Oryx* 45: 38–49.
- Stephens, P.A., Zaumyslova, O.Y., Miquelle, D.G., Myslenkov, A.I. & Hayward, G.D., 2006, Estimating population density from indirect sign: track counts and the Formozov–Malyshev
- Suryawanashi K.R., Bhatnagar Y.V., Mishra C., 2012. Standardizing the double-observer survey method for estimating mountain ungulate prey of the endangered snow leopard 169: 581-590
- Taberlet, P., Waits, L.P. & Luikart, G., 1999, Noninvasive genetic sampling: look before you leap. *Trends in Ecology and Evolution*, 14, 323–327
- Williams B.K., Nichols J.D., Conroy M.J., 2002. *Analysis and Management of Animal Populations*. Academic Press. San Diego, CA.
- Zelenka G., 1965, Observations sur l'écologie de la Marmotte des Alpes. *Revue d'Ecologie, Terre et Vie* 238–256.

9. Ringraziamenti

Innanzitutto tengo a ringraziare il Parco Nazionale dello Stelvio, in particolare il Dr. Luca Pedrotti e il Prof. Luca Corlatti per avermi permesso di svolgere questo lavoro di tesi in un ambiente accogliente e formativo in cui non mi hanno mai fatto mancare sostegno e collaborazione.

Tengo a ringraziare anche il prof. Maurizio Ramanzin dell'Università degli Studi di Padova per la preziosa collaborazione e il supporto in questo lavoro.

Vorrei ringraziare anche il team di ricerca con cui ho collaborato presso il Parco Nazionale dello Stelvio, in particolare Friederike Zenth e Chiara Giari per avermi accompagnato, sostenuto e incoraggiato nei mesi di lavoro insieme condividendo con me conoscenze ed esperienze.

Infine ringrazio la mia famiglia, i miei genitori e mio fratello, che nonostante tutto non hanno mai smesso di far sentire il loro sostegno e incoraggiamento durante questo percorso.