

UNIVERSITÀ
DI PAVIA

Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente

Direttore: Prof. A. Di Giulio

Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie per la Natura

**APPLICAZIONE DEL DISTANCE SAMPLING AL
MONITORAGGIO DELLO STAMBECCO ALPINO NEL
PARCO NATURALE ALPI MARITTIME**

Relatore:

Prof. Roberto Sacchi

Tesi di Laurea
in Scienze e Tecnologie per la Natura
di MARGHERITA REBECCA BIANCHI

Matr. 435614

Anno Accademico 2019/20

INDICE

1. Introduzione.....	Pag. 3
1.1 Stimare la densità di popolazione.....	Pag. 3
1.2 Obiettivi della ricerca.....	Pag. 5
2. Materiali e metodi.....	Pag. 7
2.1 La popolazione di stambecco (<i>Capra ibex</i>) nelle Alpi.....	Pag. 7
2.3 Distance Sampling.....	Pag. 9
2.4 Area di studio.....	Pag. 12
2.5 Raccolta dati.....	Pag. 15
2.6 Trattamento dati.....	Pag. 18
3. Analisi dei dati.....	Pag. 19
4. Risultati.....	Pag. 21
5. Discussione.....	Pag. 24
6. Conclusione.....	Pag. 28
7. Ringraziamenti.....	Pag. 29
8. Pubblicazioni citate.....	Pag. 30

1. INTRODUZIONE

1.1 STIMARE LA DENSITÀ DI POPOLAZIONE

Lo studio dell'ecologia delle popolazioni, la loro gestione e l'adozione di misure di conservazione richiedono conoscenze precise sulla consistenza numerica e sulla struttura demografica delle stesse (Caughley & Sinclair, 1994). Stimare la densità di popolazioni è peraltro fondamentale al fine di conoscere la distribuzione nello spazio e la selezione dell'habitat da parte degli individui (Buckland et al., 2000). Difatti, la dinamica di popolazione e di conseguenza i fattori che la descrivono, quali l'abbondanza (N) e la densità (D) spesso dipendono da componenti ambientali (Buckland et al., 1993) e, in un contesto di cambiamenti climatici, è più che mai di fondamentale importanza studiare e controllare la risposta a tali variazioni di specie sensibili all'aumento di temperatura, quale è lo stambecco alpino (Jacobson et al. 2004; Brivio et al., 2019). A questo scopo, nel corso degli anni sono stati ideati, proposti e verificati diversi metodi di stima della densità o abbondanza di una popolazione. Il metodo da utilizzare dovrebbe essere facilmente replicabile, affidabile e con un disturbo minimo se non nullo alla specie (Sutherland et al., 2006). Non è necessario che il metodo utilizzato per stimare l'abbondanza degli individui sia oltremodo complesso, dal momento che non sempre un metodo complesso fornisce misure migliori (Sutherland et al., 2006). Naturalmente, le diverse metodologie vengono adattate alla specie oggetto di studio e all'habitat in cui vive (Pérez et al., 2002). L'indice di contattabilità di una determinata specie è fortemente correlato alla specie stessa, alle popolazioni e all'ambiente, ma non solo: esso è influenzato anche da altri tipi di parametri che dipendono dalla capacità di eseguire i censimenti da parte degli osservatori e sono costituiti dagli scopi prefissati, dal personale a disposizione e dallo sforzo sostenibile (Toso et al., 1991). Tre sono gli approcci che si possono adottare: conteggio esatto, stima tramite campionamento, stime qualitative tramite indici di abbondanza. Il primo si avvale di procedure che portano ad avere il numero esatto di individui facenti parte di una popolazione, quindi un censimento, attraverso quella che viene definita conta totale (Sutherland, 2006; Gagliardi & Tosi, 2012). Attraverso questo metodo vengono contati direttamente tutti gli individui presenti nell'area studio, preferibilmente divisa in settori. Quello delle conte totali è però un metodo rischioso perché non può dare la certezza di aver censito tutta la popolazione, dal momento che all'occhio dell'osservatore può sfuggire l'oggetto d'interesse (Toigo et al., 1996; Focardi et al., 2002; Sutherland, 2006). Il secondo approccio comprende un'ampia gamma di tecniche che si propongono di effettuare una stima dell'abbondanza o densità tramite il campionamento della

popolazione, rilevando sul campo solo una parte degli individui e basando la stima sulla loro contattabilità. Ricordiamo i metodi di marcatura-ricattura (*mark-recapture*), marcatura-riavvistamento (*mark-resight*) e marcatura-ricattura senza cattura (*mark-recapture without capture*), modelli *N-mixture* e il metodo dei quadrati (Sutherland, 2006; Krebs, 2014; Smith & Smith, 2017). Il terzo e ultimo approccio prevede di ottenere un indice della popolazione in esame, ovvero un valore collegato alla dimensione della popolazione ma che non ne costituisce la stima (Sutherland, 2006). Secondo Toso et al. (1991) una corretta conservazione della fauna selvatica non si attua senza precise scelte e un'attenta programmazione. Quando si rivela necessaria una valutazione scientifica del numero di individui di una data popolazione presente in un territorio, è di grande importanza tener conto di due fenomeni: la variazione del numero di individui nello spazio e nel tempo (Toso et al., 1991; Buckland et al., 1993). È ben noto nello studio delle dinamiche di popolazioni il meccanismo della dispersione, definita come il movimento compreso tra l'area di nascita e il luogo del primo accoppiamento (Debeffe et al., 2014) di individui appartenenti per lo più alle classi giovanili (Smith & Smith, 2017). Nel caso dello stambecco si sono registrati casi di dispersione anche da parte di individui anziani (Toso et al., 1991). Gli individui della medesima specie effettuano degli spostamenti al di fuori della sub-popolazione di appartenenza, e in questo caso si parla di emigrazione, oppure verso una nuova sub-popolazione, e si parla di immigrazione: tali variazioni nella distribuzione spaziale degli individui si riflettono nella variazione della densità di popolazione (Smith & Smith, 2017). Il numero di individui può cambiare anche nel tempo quando le popolazioni sono soggette a fluttuazioni annuali che riflettono le differenze tra i tassi di natalità e mortalità (Toso et al. 1991; Smith & Smith, 2017). Tenendo conto di queste variazioni, che possono generare errori, è importante valutare precisi criteri quali l'area studio e la stagione in cui eseguire la stima. Nel caso degli ungulati di ambienti alpini i metodi utilizzati maggiormente nella prassi quotidiana sono conte numeriche effettuate sul terreno che normalmente sottostimano la dimensione della popolazione (Corlatti et al., 2015). Vi è una vasta letteratura riguardo tecniche di monitoraggio delle popolazioni biologiche e più nello specifico degli ungulati. Le tecniche idonee per gli ungulati sono: conteggio mediante rilevamento dei segni di presenza su percorso lineare o su area, conteggio da punti di osservazione, conteggio a vista su area parcellizzata (*block count*), monitoraggio mediante fototrappole, monitoraggio mediante esame dei capi abbattuti (Gagliardi & Tosi, 2012). In particolare, Gagliardi & Tosi (2012) per lo stambecco delle Alpi prospettano unicamente il conteggio a vista su area parcellizzata, in inglese denominato *block count* (BC). Tale metodo di censimento prevede la suddivisione dell'area di studio in unità di rilevamento o parcelle e il conteggio, effettuato da uno o più operatori, degli individui presenti nelle unità. Nel caso dello stambecco, si contano i capi individuati all'interno dell'area di indagine. I rilevatori possono essere

localizzati in corrispondenza di postazioni fisse oppure muoversi lungo transetti. Scopo di questo metodo è quello di conoscere la consistenza della popolazione all'interno dell'area, ma anche la determinazione della struttura per sesso ed età della popolazione. Impiegato in ambiente alpino, il metodo del *block count* produce una stima del numero minimo di individui presenti al di sopra della linea di vegetazione (Herrero et al., 2011). I conteggi andrebbero effettuati preferibilmente nel periodo compreso tra l'inizio di aprile e la fine di maggio poiché gli animali sono ancora concentrati nelle aree di svernamento e con l'avanzare della primavera scendono a quote più basse per seguire il rigoglio vegetativo e cibarsene (Tosi et al., 2012). Andrebbe evitato il periodo dei parti, da giugno ai primi di luglio, mentre è idoneo il periodo compreso tra metà luglio e metà settembre come anche il periodo degli amori, tra dicembre e gennaio (Gagliardi & Tosi, 2012). Il metodo del *block count* per questa specie è stato applicato anche all'interno del Parco Naturale Alpi Marittime, eseguito una volta all'anno tra maggio e giugno, dividendo l'area di studio in 66 zone e coprendo la totalità del territorio di presenza della specie. Durante il censimento 2019, nel Parco sono stati contati 809 stambecchi in un'area censita di 22.700 ha. La densità ottenuta è stata 3,6 stambecchi ogni 100 ettari. I limiti legati a questo tipo di censimento sono da ricercarsi nella disponibilità di osservatori sufficienti e le conseguenze legate al rischio di un doppio conteggio dello stesso animale (Gagliardi & Tosi, 2012). Oltre a ciò, il *block count* può sottostimare significativamente la dimensione della popolazione, ma si sa ancora poco riguardo l'entità della sottostima (Herrero et al., 2011).

1.2 OBIETTIVI DELLA RICERCA

Questa tesi si colloca all'interno del progetto europeo ALCOTRA LEMED IBEX (2017-2020) "Monitoraggio e gestione dello Stambecco dal Lago di Ginevra (Léman) al Mediterraneo". Il progetto ha la finalità di implementare le tecniche di monitoraggio ai fini di un'attività gestionale sempre più accurata e una migliore conservazione. Nello specifico il progetto si propone, attraverso l'utilizzo di tecniche moderne, di conseguire specifici obiettivi, tra cui:

1. utilizzo di collari GPS per indagare l'uso dello spazio ed individuare corridoi ecologici;
2. condivisione di dati in tempo reale e coinvolgimento del pubblico attraverso scienza partecipata;
3. utilizzo di tecniche genetiche di ultima generazione per valutare la vulnerabilità delle popolazioni a rischi sanitari;

4. trasferimento delle buone pratiche di gestione ad altri enti.

Seguendo il protocollo Chevrier et al. (2015) è stato catturato e sottoposto a marcatura con marche auricolari e/o collari visivi il 10% della popolazione censita (circa 800 individui) all'interno del Parco con una sex ratio del 50%. In più, 20 esemplari sono stati dotati di un collare GPS satellitare. Il monitoraggio è stato basato sul concetto di *taille moyenne des groupes* (TGp) come indicatore di cambiamento ambientale (Chevrier et al., 2015). Tale indicatore traccia i cambiamenti nell'abbondanza relativa delle popolazioni di stambecchi e corrisponde al numero medio di stambecchi maschi per gruppo (Toïgo et al., 1996; Chevrier et al., 2015). Il capofila di tale lavoro è stato il Parc national des Ecrins mentre, tra i partner membri, troviamo l'Ente di Gestione delle Aree Protette delle Alpi Marittime e il Parc national du Mercantour, che hanno lavorato congiuntamente.

All'interno di questo contesto di lavoro, si è deciso di applicare successivamente il metodo del *Distance Sampling* per stimare la densità di popolazione dello stambecco nel Parco. Scopo della mia tesi è quindi è verificare l'utilizzo e l'efficacia del Distance Sampling come metodo per stimare la densità di popolazione di *Capra ibex* all'interno del Parco Naturale Alpi Marittime, comparando i risultati da me ottenuti con quelli relativi al censimento 2019 svoltosi con il metodo del *block count*. I risultati di questa tesi permetteranno di valutarne i punti di forza e i limiti della metodica, studiarne l'applicabilità in ambiente alpino e porre le basi per futuri studi sullo stambecco nel Parco che si avvalgano di tale metodo.

2. MATERIALI E METODI

2.1 LO STAMBECCO (*Capra ibex*) NELLE ALPI



Figura 1. Individuo maschio di *Capra ibex* all'interno del Parco Naturale Alpi Marittime (foto personale).

In tempi storici lo stambecco era diffuso su tutto l'arco alpino. A causa della sua carne ambita, ma non solo, anche della pelle, grasso, tendini e ossa, venne cacciato attivamente sin dall'antichità. Già in epoca medioevale la distribuzione di questa specie si era ristretta notevolmente. L'avvento delle armi da fuoco, l'intensificarsi della caccia e lo sviluppo di una farmacopea dello stambecco che attribuiva a molte parti del corpo dell'animale proprietà medicamentose, fecero sì che la popolazione si riducesse in modo drastico, fino alla completa estinzione nella quasi totalità del suo areale (Tosi et al., 2012). In Italia, all'inizio del XIX secolo sopravviveva un centinaio di capi nel massiccio del Gran Paradiso, in Val d'Aosta. Fu grazie all'istituzione nel 1856 di una riserva di caccia a solo uso del re Vittorio Emanuele II, in seguito all'allarme lanciato da un forestale della Val di Gressoney, Joseph De La Pierre, sulla gravità della situazione che si contenne l'abbattimento indiscriminato da parte dei nobili. Questa misura di caccia esclusiva ebbe il suo effetto: nel 1900 la popolazione era salita a tremila individui e a quattromila alle porte della I Guerra Mondiale. Durante il periodo bellico la popolazione si dimezzò. Nel 1922, quando avvenne l'istituzione del

primo parco nazionale italiano, il Parco del Gran Paradiso, gli stambecchi erano poco più di duemila (Giovo & Rosselli, 2002).

I primi tentativi di reintroduzione della specie si ebbero in Svizzera tra il 1854 e il 1879 (Giovo & Rosselli, 2002). Nello stato elvetico lo stambecco alpino è stato infatti allevato in cattività sin dal XIX secolo in vista di future reintroduzioni (Stüwe & Godisnsky, 1987; Stüwe & Nievergelt, 1991). I primi stambecchi ad essere rilasciati erano individui risultanti dall'incrocio di *Capra ibex* e capra domestica, ma tale operazione non ebbe fortuna, data la bassa prolificità degli ibridi e il basso grado di adattamento all'habitat (Toso et al., 1991). Seguì negli anni successivi un'attività di contrabbando di capretti provenienti dal Gran Paradiso, sottratti alla madre dopo il parto (Giovo & Rosselli, 2002). I giovani vennero allevati in cattività e in seguito rilasciati in aree protette svizzere, andando a costituire le prime colonie estere dalle quali oltre alle Alpi Svizzere vennero ripopolate Francia, Austria, Germania e Jugoslavia (Toso et al., 1991; Stüwe & Nievergelt, 1991; Giovo & Rosselli, 2002).

Il Parco Naturale Alpi Marittime costituisce un antico areale di reintroduzione dello stambecco alpino (Bassano & Peracino, 1992). La prima reimmissione avvenne nel 1920 con la liberazione di capi provenienti dalla Riserva Reale del Gran Paradiso nella zona delle Cimberline e nella Valletta della Barra (Tosi et al., 1986). Da allora, tra il 1920 e il 1933 nell'allora Riserva Reale di caccia di Valdieri-Entracque furono introdotti in cinque riprese 25 esemplari sempre provenienti dal Parco del Gran Paradiso (Giovo & Rosselli, 2002). Nel 1938 si stimava che la consistenza della colonia fosse di 58 stambecchi (Tosi et al., 1986). La popolazione di stambecco presente nell'allora Parco dell'Argentera negli anni seguenti è stata attentamente monitorata. Secondo il censimento del 1985 nell'area parco erano presenti 409 individui con una sex-ratio di 1,54 maschi per 1 femmina (Tosi et al., 1986). Da quella prima reintroduzione iniziarono programmi di ricerca e monitoraggio che portarono a successive reintroduzioni nel 1986-1987 all'interno del Parco: 46 individui catturati nell'area del Massiccio del Monte Gelàs sono stati liberati nel Massiccio del Monte Matto, in Valle Gesso (Archivio APAM). Negli anni successivi il Parco Nazionale Gran Paradiso e il Parco dell'Argentera coordinarono una lunga serie di operazioni di reintroduzione dello stambecco su tutto l'arco alpino italiano. A partire dagli anni '60 la situazione dello stambecco in Italia comincia a progredire e vengono effettuate reintroduzioni in settori quali la Val d'Aosta e il Parco Nazionale dello Stelvio (Apollonio et al., 2009). Una parte degli stambecchi presenti sulle Alpi centro-orientali provengono dal nucleo storico delle Alpi Marittime: tra il 1993 e il 2004 sono stati catturati 250 individui per essere liberati in altri settori alpini (Archivio APAM).

Il trend di crescita dello stambecco alpino dagli anni '60 è sempre stato positivo, anche grazie ad una colonizzazione naturale, anche se lenta, della specie nelle aree idonee (Stüwe & Nievergelt, 1991; Apollonio et al., 2009; Tosi et al., 2012). All'interno delle aree protette del Parco Alpi Marittime e del Parco del Mercantour, grazie a censimenti periodici, è stimata la presenza di 2.100 stambecchi (censimento 2005) mentre su tutto il territorio alpino italiano la stima è di 15.800 capi (Apollonio et al., 2009). Attualmente la distribuzione dello stambecco risulta ancora frammentaria, con una maggiore densità nelle Alpi nord-occidentali (Apollonio et al., 2009). È stimata la presenza di oltre 47.000 individui su tutto l'arco alpino (Tosi et al., 2012) e la popolazione è dichiarata in aumento. Lo stambecco alpino è classificato secondo i criteri della lista rossa dell'*International Union for the Conservation of Nature* (IUCN) come specie a basso rischio di estinzione, nella categoria "minor preoccupazione". Ad oggi il territorio protetto delle Marittime costituisce una delle aree dove si concentra la più consistente popolazione di *Capra ibex* (Prandi et al., 2018).

2.2 DISTANCE SAMPLING

Il *Distance Sampling* (DS) è un metodo di stima della densità di una popolazione biologica (Buckland et al., 1993). Esso ha iniziato ad essere teorizzato a partire dagli anni '30. Il parametro fondamentale è la densità ($D = \text{numero di individui per unità di area}$). Esso estende l'approccio classico per il censimento di una popolazione finita, attraverso cui si definiscono delle aree di forma quadrata e si contano tutti gli individui presenti al loro interno (Buckland et al., 1993), assunto spesso difficile da rispettare soprattutto in un ambiente così eterogeneo come quello alpino (Pérez & Alpizar-Jara, 2008). Secondo il metodo del Distance Sampling, si considera una popolazione di N individui distribuiti stocasticamente in una data area A . All'interno di quest'area, si posizionano in modo casuale linee (es. transetti lineari, *Line Transect Distance Sampling*) o punti (es. punti d'ascolto/osservazione, *Point Transect Distance Sampling*) da cui si misurano rispettivamente le distanze perpendicolari o radiali dagli individui contattati. Durante il campionamento alcuni individui potrebbero sfuggire all'occhio dell'osservatore; inoltre, la probabilità di avvistare un individuo e quindi la sua contattabilità ha la tendenza a diminuire all'aumentare della distanza dalla linea o dal punto. Uno dei vantaggi del Distance Sampling è il rilassamento metodologico dovuto al fatto che alcuni individui possono non essere contattati.

Per questo lavoro è stato utilizzato il Distance Sampling da transetto lineare. In un transetto lineare, si assume che solo una porzione limitata attorno alla linea è censita, l'*Effective Strip Width* (ESW). Essa rappresenta la distanza entro cui il numero di individui non contattati è pari al numero

di individui contattati oltre. Di importanza centrale per il concetto di Distance Sampling è la funzione di contattabilità, $g(y)$ dove $g(y)$ = probabilità di osservare un oggetto. Generalmente, la funzione di contattabilità diminuisce con l'aumentare della distanza, ma è sempre un valore compreso tra $0 \leq g(y) \leq 1$. Se $g(0) = 1$ gli oggetti sul punto o sulla linea sono rilevati con certezza. Per una corretta applicazione del Distance Sampling devono essere rispettati tre presupposti fondamentali, che però richiedono un'attenta programmazione preliminare del piano di monitoraggio per ottenere valori della stima attendibili. (1) Il primo presupposto è che gli individui presenti sulla linea o sul punto siano rilevati con certezza. Si presuppone che tutti gli individui a distanza zero vengano contattati, da cui $g(0) = 1$. È proprio la comparazione tra il numero di animali avvistati a grandi distanze e il numero degli animali contattati sulla linea o sul punto che permette di modellare la funzione di contattabilità (Sutherland, 2006). (2) Il secondo assunto prevede che gli individui siano contattati nella loro posizione iniziale. Se si sta studiando una specie mobile, è possibile che un individuo si sposti dalla sua posizione originaria ad una certa distanza precedentemente alla sua rilevazione. Se ciò avviene a causa della presenza dell'osservatore, le stime di densità potrebbero essere soggette a elevati *bias*. Le procedure di campo dovrebbero sempre assicurarsi che la maggior parte delle osservazioni avvengano oltre il campo di influenza dell'osservatore sugli animali (Toso et al., 1991; Buckland et al., 1993). Movimenti degli animali indipendenti dall'osservatore non causano elevati problemi durante la successiva analisi dei dati, a meno che lo stesso individuo non venga contato più di una volta nel corso di una medesima sessione di osservazione oppure nel caso faccia movimenti bruschi. Non è determinante il movimento dell'individuo dopo la registrazione dell'osservazione così come non lo è l'osservazione di uno stesso individuo nel corso di più campionamenti lungo lo stesso transetto. (3) Il terzo assunto prevede che le distanze vengano misurate accuratamente. Idealmente, le misure delle distanze dovrebbero essere esatte, escludendo errori di calcolo.

Come già detto in precedenza, con il Distance Sampling non è necessario che tutti gli individui siano contattati, caratteristica desiderabile di un metodo quando si vogliono ottenere stime della densità accurate (Herrero et al., 2011; Corlatti et al., 2015) e ciò può verificarsi per svariate cause anche indipendenti dalla densità. Infatti, il canto, la dimensione, il colore, un comportamento specie-specifico sono tutti segnali che possono influenzare l'avvistamento dell'individuo. Oltre a ciò, si aggiungono l'acutezza visiva e uditiva dell'osservatore e le condizioni ambientali (Toso et al., 1991). Ad esempio, in un territorio montuoso la visibilità può variare a causa della disomogeneità del terreno e l'area A stimata può essere minore di quella reale, da cui può risultare una sovrastima della popolazione (Pérez & Alpízar-Jara, 2008). Inoltre, sono stati studiati metodi di stima derivanti dalla combinazione di più approcci, come il modello che unisce il transetto lineare

con la marcatura-ricattura (Alpizar-Jara & Pollock, 1996). Da un tale approccio le stime ottenute sarebbero più precise (Pérez & Alpizar-Jara, 2008).

Gli ungulati di ambiente alpino mostrano comportamenti gregari e segregazione sessuale per la maggior parte dell'anno (Villaret & Bon, 1995; Pérez & Alpizar-Jara, 2008). In questo caso, se gli animali si presentano in gruppi, questi saranno considerati come singole osservazioni indipendenti e le distanze perpendicolari saranno misurate dal transetto al centro del gruppo (Buckland et al., 1993). Tramite il Distance Sampling si può stimare la densità dei vari *clusters* contattati e di conseguenza stimare la densità totale. Come già accennato, l'applicazione del DS in habitat montano può risultare particolarmente critica dal momento che la visibilità e la probabilità di contatto sono influenzate dalla topografia. Vari studi riguardo l'applicazione del Distance Sampling alla fauna alpina sono stati condotti (Focardi et al., 2002; Perez et al., 2002; Liu et al., 2007; Maurino, 2008; Maurino, 2010; Herrero et al., 2011; Pellicoli & Ferrari, 2013; Corlatti et al., 2015). L'ambiente frequentato dallo stambecco, aspro e in molti casi non percorribile (Toïgo et al., 1996) impedisce di rispettare l'assunto per cui linee e punti devono essere posizionati casualmente. Ciò potrebbe generare elevati *bias* (Pérez et al., 2002). Un altro problema cruciale causato dalla topografia riguarda la difficoltà nel valutare correttamente l'area monitorata, ma l'utilizzo di un telemetro e di un Sistema Informativo Territoriale (GIS) possono coadiuvarne il calcolo esatto. Inoltre, non è da sottovalutare il criptomorfismo del mantello degli stambecchi con le pareti rocciose e di conseguenza una maggior difficoltà nell'osservazione (Toïgo et al., 1996). Il Distance Sampling è stato anche associato all'impiego di fototrappole, telecamere termiche (Morelle et al., 2012; Howe et al., 2017) o all'utilizzo integrato alle conte minime (Schmidt et al., 2019).

2.3 AREA DI STUDIO

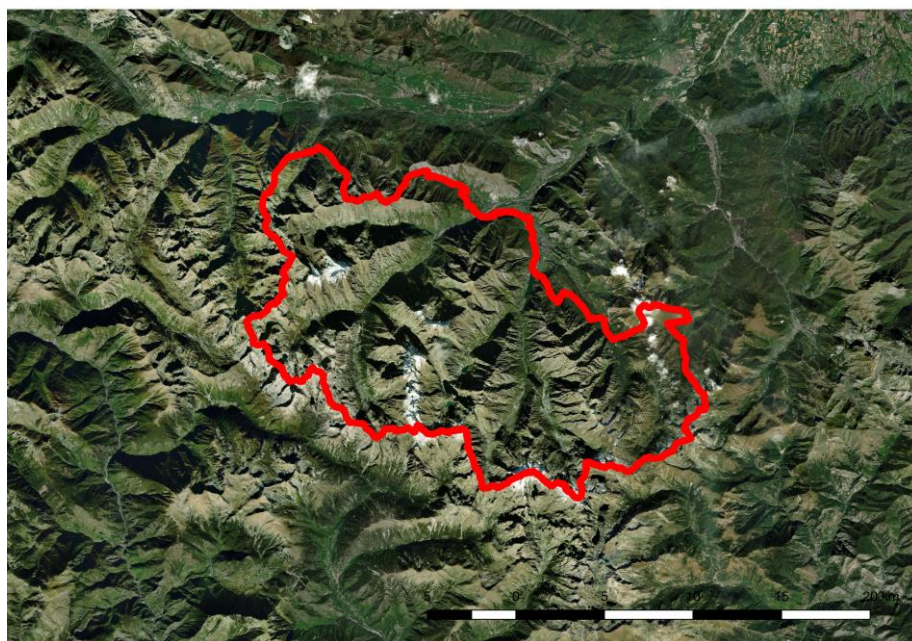
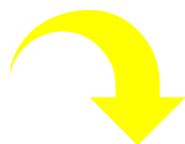


Figura 2. Valle Gesso.

Il Parco Naturale Alpi Marittime (CN, Piemonte), istituito nel 1995, nasce dall'unione tra l'ex Parco dell'Argentera e la Riserva dei boschi e laghi di Palanfrè, e comprende le valli Stura (versante orografico destro), Gesso e Vermenagna (versante orografico sinistro). Si tratta oggi dell'area protetta più estesa del Piemonte, con ben 28.000 ha di superficie. Cinque comuni rientrano al suo interno: Aisone, Entracque, Roaschia, Valdieri, Vernante. Le Alpi Marittime si trovano

all'estremità sud-occidentale della catena alpina. Innalzandosi sia sul lato italiano che su quello francese, si ritrovano limitate da due valichi: il Colle di Tenda (1871 m s.l.m.) e il Colle della Maddalena (1996 m s.l.m.). Tra le cime, severe e aspre, ben 24 vette superano i 3000 metri di altitudine. La più elevata è la Serra dell'Argentera, con 3297 metri s.l.m. Altrettanto degni di nota sono il Monte Matto (3097 m s.l.m.) e il Monte Gelàs (3143 m s.l.m.). Il lavoro di campo si è svolto in parte della Val Vermenagna ma soprattutto in Valle Gesso. Quest'ultima, con orientamento NE-SO e asse perpendicolare rispetto a quello del sistema montuoso, confina a nord-ovest con la Valle Stura, a est con la Valle Vermenagna e a sud con la Francia.

Il Parco Naturale Alpi Marittime racchiude al suo interno una notevole varietà di microclimi e conseguentemente di microambienti, caratteristica alla base della ricchezza di biodiversità. Ciò è dovuto al fatto che le Alpi sud-occidentali, a causa della loro collocazione biogeografica, sono soggette all'influenza diretta della vicinanza del Mar Mediterraneo, anche se più intensa sul versante francese che su quello italiano. Pur conservando un clima tipicamente alpino, caratterizzato da un aumento dell'irraggiamento solare, un abbassamento delle temperature e un mantenimento più consistente della copertura nevosa col progredire dell'altitudine, nel Parco questi influssi marini si possono riscontrare nella notevole varietà di microclimi che si traduce nella presenza di diversi microambienti e quindi di una ricca biodiversità vegetale. Le Alpi sud-occidentali sono state toccate solo marginalmente dalle glaciazioni del Quaternario. È per questo che su di esse si sono rifugiate ed hanno potuto conservarsi specie che non sarebbero sopravvissute altrove. Si contano all'incirca 2718 tra specie e sottospecie fra i territori delle Marittime e del Mercantour di diversa corologia: specie mediterranee, mediterraneo-montane, orofile, artico-alpino, circumboreali ed euroasiatiche. Oltre a questo, si aggiungono numerosi casi endemici. Si contano dieci endemismi ristretti tra cui la sassifraga dell'Argentera (*Saxifraga florulenta*) e la viola di Valdieri (*Viola valderia*). Per quanto riguarda la copertura boschiva, la faggeta è decisamente, tra le latifoglie, quella più diffusa, che ai limiti superiori della propria fascia vegetazionale sfuma nel bosco misto di conifere. Le specie di conifere presenti nel parco sono l'abete bianco (*Abies alba*), l'abete rosso (*Picea abies*), il larice (*Larix decidua*), il pino cembro (*Pinus cembra*).

Nel Parco è stimata la presenza di circa 6.000 specie animali. Tra i Mammiferi ritroviamo, ad esempio, il camoscio (*Rupicapra rupicapra*), la lepre variabile (*Lepus timidus*), il cinghiale (*Sus scrofa*), il muflone (*Ovis musimon*). Di particolare interesse è la presenza del lupo (*Canis lupus*) che, assieme all'aquila reale (*Aquila chrysaetos*), costituisce l'unico predatore potenziale per lo stambecco (Giovo & Rosselli, 2002). L'effetto della presenza di questo canide sembra però riconducibile, più che a predazione diretta, a un effetto indiretto che causerebbe modifiche

comportamentali negli stambecchi, portandoli a frequentare maggiormente le aree rifugio (Tosi et al., 2012). Non sembra esistere una significativa competizione con il camoscio là dove sono presenti ambienti idonei ad entrambe le specie (Toso et al., 1991). Differente è la problematica connessa all'interazione con le specie domestiche, in particolare con le capre, a causa della competizione alimentare e al rischio di accoppiamenti con generazione di ibridi (Tosi et al., 2012). Anticamente la valle era territorio di caccia per i reali di casa Savoia, sotto il nome di "Riserva Reale di Caccia di Valdieri-Entracque". Quando i reali visitarono la valle Gesso per la prima volta, nel 1855, ne rimasero affascinati e decisero pertanto di insediarsi sfruttando la valle come luogo di ritiro estivo e come riserva di caccia per le battute di Vittorio Emanuele. La valle infatti racchiudeva paesaggi montani e alpini di notevole bellezza oltre che una ricca fauna selvatica. Due anni dopo la loro visita, nel 1857, il re ottiene dai comuni di Valdieri ed Entracque i diritti di caccia. Nasce così la Riserva Reale di caccia. La sua esistenza terminò alla caduta della monarchia nel 1946. Successivamente, negli anni 50' si ricostituì un corpo di gestione sotto il nome di "Consorzio della ex Riserva Reale di Caccia" fino al suo tramutamento nel 1980 in area protetta con il Parco Naturale dell'Argentera e, parallelamente, l'istituzione del Parc national du Mercantour. I due parchi sono gemellati dal 1986 (Archivio APAM).

Lo stambecco alpino è tipicamente adattato, sia da un punto di vista anatomico sia fisiologico, agli ambienti degli orizzonti alpino e nivale (Toso et al., 1991). Ottimo arrampicatore, le aree che frequenta sono caratterizzate da pendii ripidi e rocciosi e pascoli (Apollonio et al., 2009). In inverno esso frequenta aree comprese tra i 1600 e i 2800 m e in estate tra i 2300 e i 3200 m. In primavera invece scende a quote minori per cibarsi dei primi rigogli vegetativi. Nelle Alpi Marittime sono stati osservati individui scendere fino a 1.200-1.400 m di quota (Giovo & Rosselli, 2004). Oltre all'altitudine, tra le caratteristiche dell'habitat che ne indicano l'idoneità per lo stambecco vi sono l'esposizione e la pendenza del terreno (Tosi et al., 2012). Per quanto riguarda la selezione dell'habitat, studi scientifici hanno rivelato l'importanza di tre fattori abiotici: temperatura dell'aria durante l'estate, presenza di limitata copertura nevosa e di aree di rifugio (Apollonio et al., 2009; Tosi et al., 2012). Durante il periodo in cui si è svolta l'attività di campo si sono potuti osservare gli individui nei quartieri estivi. Durante questi mesi vengono frequentati pendii di diversa inclinazione ed esposizione (Toso et al., 1991). Le prime ore del mattino e le ore serali vengono dedicate agli spostamenti e al pascolo, mentre le ore più calde vengono trascorse riposando su cenge ombrose o creste ventilate (Giovo & Rosselli, 2002). La raccolta dati si è protratta fino ai primi di ottobre, periodo in cui gli stambecchi cominciano a spostarsi verso i quartieri invernali e si riuniscono dopo la fase estiva di segregazione dei sessi (Giovo & Rosselli, 2002).

2.4 RACCOLTA DATI

La ricerca si è svolta all'interno del Parco Naturale Alpi Marittime (44°10'45"N, 7°18'18"E) tra luglio e ottobre 2018 all'interno di un'area di 22.700 ha.

L'area studio è stata divisa in 5 settori (fig. 3): Matto, Rovina, Barra, Moncolombo, Sabbione-Palanfrè. In tabella 1 sono riportate le relative estensioni.

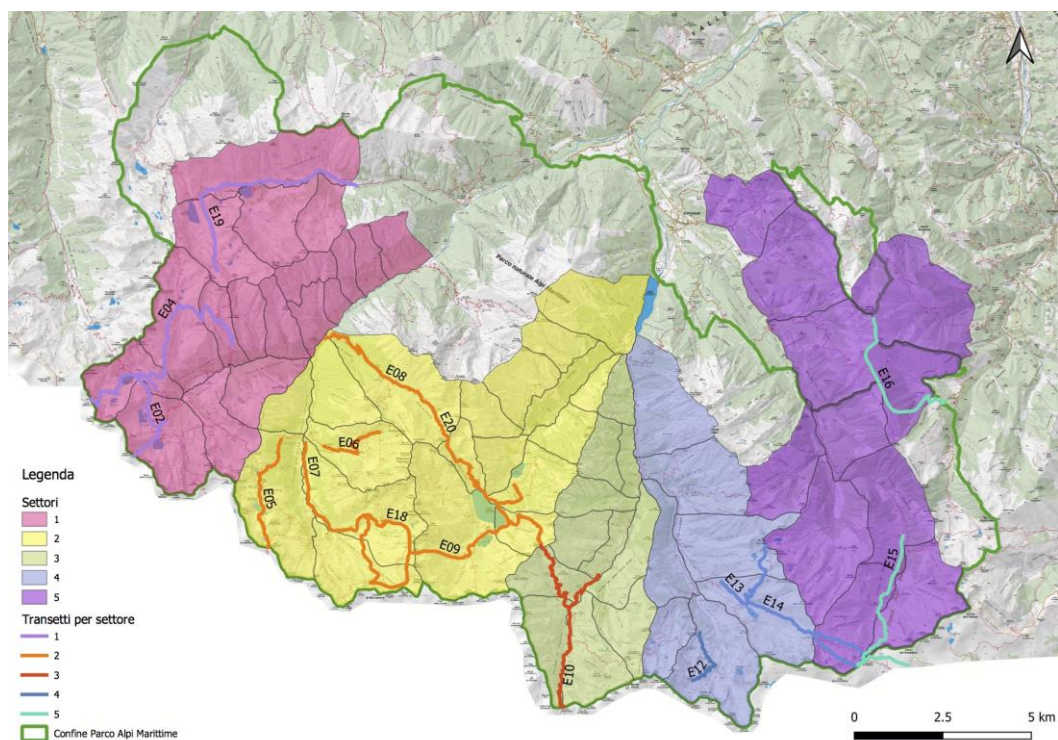


Figura 3. Settori in cui è stata suddivisa l'area studio e relativi transetti.

SETTORE	NOME	ESTENSIONE (ha)
1	Matto	5.065,447
2	Rovina	6.474,362
3	Barra	2.303,131
4	Moncolombo	3.096,266
5	Sabbione-Palanfrè	5.757,011
TOTALE		22.696,217

Tabella 1. Estensione dei settori in cui è stata suddivisa l'area studio.

Sono stati percorsi 20 transetti (figura 4), disposti uniformemente all'interno del Parco in modo da ricoprire gran parte dell'areale di presenza dello stambecco. Dal momento che il lavoro è iniziato nella stagione estiva avanzata, sono state escluse dall'area studio molte zone a più bassa altitudine, frequentate dagli stambecchi in altri periodi dell'anno (Tosi et al., 2012). Per tale motivo i transetti sono stati posizionati ad una altitudine minima di 2000 m s.l.m. I transetti sono stati ripetuti quattro volte ciascuno per un totale di 80 sessioni di osservazione, distribuite tra sei osservatori. 91,702 km è la somma delle lunghezze dei singoli transetti. I percorsi coprono la totalità dell'area e sono stati posizionati secondo precisi criteri del protocollo Chevrier et al. (2015) che prevede il posizionamento di 4 transetti ogni 3500 ettari.

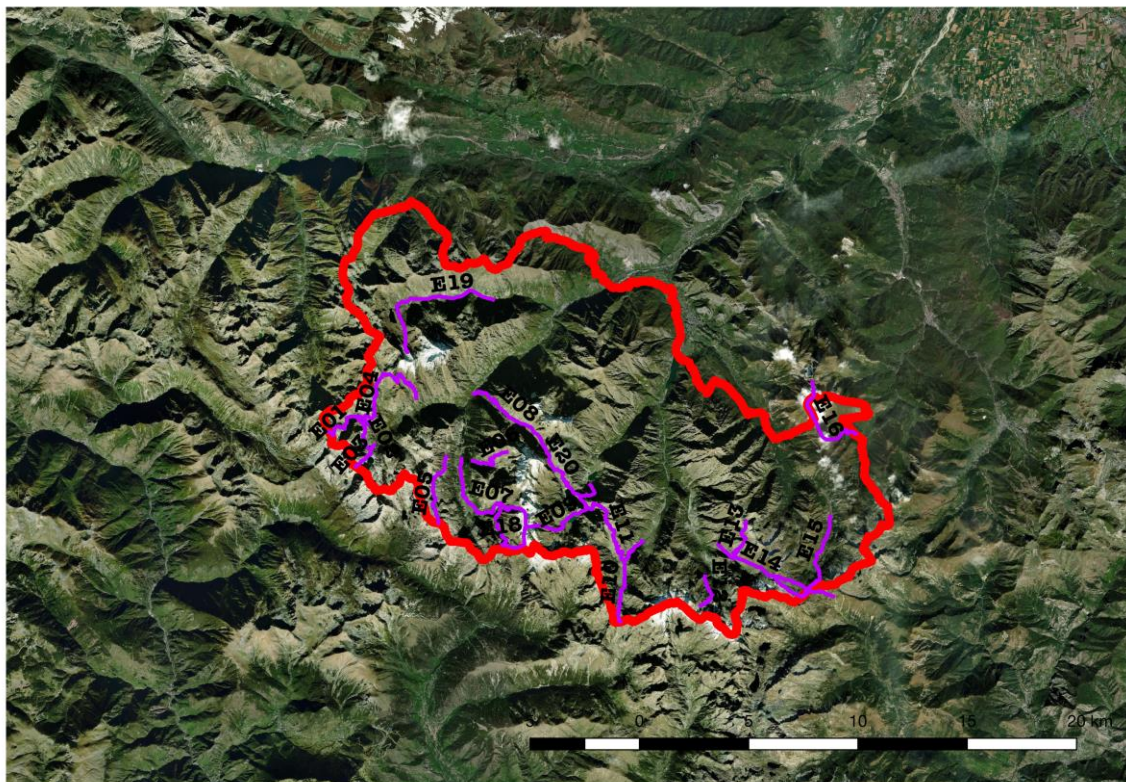


Figura 4. Distribuzione dei transetti nell'area studio.

I transetti non sono stati disposti casualmente in quanto corrispondono a sentieri turistici presenti nel Parco. Trattandosi di ambiente alpino, infatti, fortemente eterogeneo, a tratti difficilmente percorribile non è stato possibile un loro posizionamento casuale. Questo ha comportato una violazione di uno dei principali assunti del Distance Sampling (Buckland et al., 1993). Ciononostante, ogni percorso è stato scelto in modo tale che coprisse l'areale estivo dello stambecco. I transetti sono stati percorsi iniziando alle prime luci del mattino, tra le 6.30 e le 7.00. Il limite orario massimo per un percorso era di 4.00 h. Durante il tragitto è stata ispezionata l'area da entrambi i lati del transetto. Per l'avvistamento degli individui sono stati utilizzati un binocolo e un cannocchiale Swarovski in dotazione dall'Ente Parco. Al momento dell'osservazione, questa veniva annotata su una scheda sulla quale erano presenti tabelle di classificazione degli individui sulla quale venivano annotati:

- nome dell'osservatore
- data
- codice del transetto
- settore
- condizioni meteo
- ora di inizio e di fine dell'osservazione
- numero dell'osservazione
- sesso dell'individuo osservato
- classe d'età dell'individuo osservato
- coordinate dell'osservatore
- coordinate dell'osservazione
- presenza di animali marcati

Gli individui della specie target potevano essere avvistati in *clusters* oppure singolarmente. Non ritengo che l'osservatore sia stato fonte di disturbo per essi in quanto le osservazioni venivano effettuate da distanze elevate; in caso contrario, ovvero di minor lontananza tra osservatore e osservato, era comunque mantenuta una debita distanza e venivano subito prese le coordinate, prima che l'individuo lasciasse la sua posizione iniziale. È stata prestata molta attenzione al fine di non contare lo stesso individuo due volte. In caso di vicinanza del gruppo all'osservatore, complice anche la poca elusività della specie, è stato più semplice evitare tale rischio. Con un GPS palmare si

determinavano le coordinate sia dell'osservatore che dell'animale o gruppo di animali e si segnava sulla scheda. Se erano avvistati gruppi di più individui, questi erano conteggiati come un'unica osservazione, in accordo con Buckland et al. (1993).

2.5 TRATTAMENTO DATI

Una volta concluso il lavoro di campo, presso il polo scientifico del Parco i dati erano ordinati e raccolti in una tabella Excel. Essendo stato deciso a posteriori di applicare il Distance Sampling ai dati raccolti, le distanze perpendicolari sono state calcolate successivamente. Queste venivano ricavate tramite una funzione che eseguiva il calcolo in base alle coordinate dell'osservatore e dell'individuo osservato, e sono state poi controllate tramite un Sistema Informativo Territoriale (QGIS 3.2). Infine, le osservazioni sono state importate in un progetto QGIS e proiettate sulla cartina del parco (vedi figura 7).



Figura 5. Capretto di Capra ibex (foto personale).

6. ANALISI DEI DATI

I dati raccolti sono stati analizzati mediante il software DISTANCE 7.3 (Laake et al., 1993), sviluppato per permettere un'analisi comprensiva dei dati riguardanti la distanza, come la distanza di contattabilità massima, e rendere immediato il calcolo della densità di una popolazione biologica. La densità risulta dal rapporto tra il numero di oggetti individuati in un'area e il valore dell'area, secondo la formula $D = n/a$. È stata scelta l'analisi secondo transetto lineare. Attraverso questo modello di analisi, la larghezza dei transetti corrisponde a $2w$ e la lunghezza totale a L . L'area sarà $a = 2w L$ da cui $D = n/2wL$. Secondo una serie di calcoli matematici, l'estimatore generale della densità secondo il transetto lineare risulta essere

$$D = n f(0)/2L$$

dove n è uguale al numero di individui contattati e $f(0)$ è la funzione di densità probabile stimata alla distanza perpendicolare zero. Per svolgere l'analisi è stata inserita nel programma la tabella Excel delle osservazioni. I dati sono stati suddivisi secondo i seguenti *layers*: area di studio, regione, transetto lineare, osservazioni. Nella prima fase di analisi sono stati preparati gli istogrammi riportanti i dati grezzi con le distanze ripartite in 10-20 gruppi, in tal modo è stato possibile determinare la presenza di movimenti evasivi degli individui, *outliers*, e altri errori. Quasi sempre è suggeribile troncare i dati quando $g(x) = 0.15$ (Buckland et al., 1993) oppure troncane il 5%. Buckland et al. (1993) riconosce che quando si effettua un troncamento si può perdere precisione, ma semplificando i dati per il modello si possono anche ridurre i *bias*. Per far acquisire più robustezza al modello e alla stima di densità, per esempio in caso di movimenti precedenti al contatto da parte dell'individuo osservato, i dati sono stati raggruppati. Per eseguire un raggruppamento dei dati è necessario definire dei *cutpoints*. Con DISTANCE *software* è stato scelto il modello di $g(x)$ (*Uniform, Hazard rate, Half normal, Negative exponential*) che più si adatta alla distribuzione delle distanze. La scelta del modello però può procedere solo quando il *data set* è stato adeguatamente preparato (Buckland et al., 1993). Il modello dovrebbe soddisfare quattro criteri:

- *model robustness*, il modello deve essere flessibile per aderire a un'ampia varietà di forme della funzione di contattabilità. Per rifinire la robustezza del modello si aggiungono delle serie di espansione, quali *Cosine, Simple polynomial, Hermite polynomial*;

- *pooling robustness*, il modello deve essere flessibile alle variazioni della probabilità di contattare un oggetto a qualunque distanza;
- *shape criterion*, il modello deve avere una “spalla”, ovvero deve essere rispettato l’assunto per cui a distanza zero la probabilità di contatto è massima ($g(0) = 1$);
- *estimator efficiency*, rispettati i primi tre criteri, il modello migliore è quello statisticamente più efficiente.

La scelta del miglior modello si è basata sull’AIC (*Akaike Information Criterion*, Akaike 1973). Tale parametro fornisce un metodo quantitativo per la selezione del modello ed è calcolato in base alla massima *likelihood* e il numero di parametri che rientrano nel modello. Per ogni possibile modello è stato calcolato l’AIC e il modello con valore AIC più basso è stato selezionato dal programma (Buckland et al., 1993). Un basso valore AIC indica un miglior adattamento della funzione di contattabilità alla distribuzione dei dati. Anche la bontà di adattamento (*Goodness of fit*) può essere un utile strumento per la selezione del modello, ed è stata misurata tramite il test del χ^2 di Pearson, comparando le frequenze osservate e attese all’interno degli intervalli di distanza. Oltre alla stima di densità, intervalli di confidenza e coefficiente di variazione è stata calcolata l’*Effective Strip Width* (ESW), la larghezza dell’area laterale al transetto con la massima probabilità di contatto. Essendo gli oggetti di interesse raggruppati (*clustered populations*) in fase di analisi sono stati calcolati ulteriori parametri: 1) DS, densità dei gruppi; 2) E(s), dimensione attesa dei gruppi. In questo caso la dimensione del campione è sempre data dal numero dei gruppi, mai dal numero di individui presenti nel gruppo (Buckland et al., 1993). Può essere utile inoltre valutare le correlazioni tra le dimensioni dei gruppi e le distanze perpendicolari, ed è stato fatto attraverso analisi di regressione sempre tramite *DISTANCE software*. Gruppi di grandi dimensioni infatti possono essere visti anche a elevate distanze, mentre gruppi di dimensioni minori possono non venir rilevati. Questo fenomeno può causare una sovrastima di E(s) (Buckland et al., 1993).

7. RISULTATI

Durante il periodo di studio sono state effettuate 241 osservazioni in 79 campionamenti totali, su un'area di 22.700 ettari. Lo sforzo è stato calcolato in km totali percorsi a piedi, ed equivale a 361. La miglior funzione di contattabilità è risultata essere un modello *half-normal* con funzione coseno, ed è stata selezionata rispetto ad altri modelli in base al minor AIC (395). Il valore del χ^2 per testare la *Goodness of fit* è risultato essere 0,14. Come consigliato da Buckland et al. (1993) sono stati eliminati gli *outliers* dal grafico originario, con una distanza di troncamento a destra di 1600 m. La probabilità p di osservare un individuo nell'area definita è 0,27 con un coefficiente di variazione (CV) del 5%.

L'*Effective Strip Width* risulta avere un valore di 435 m con un errore standard di 22,23 e un CV del 5%. Nel grafico sottostante (fig. 6) è possibile osservare la funzione di contattabilità intesa come probabilità di contattare un individuo o un gruppo di individui a una determinata distanza. Gli istogrammi rappresentano invece le osservazioni effettuate sul campo con distanze perpendicolari suddivise in intervalli di 400 m. In tabella 2 sono riportati i valori osservati e quelli attesi.

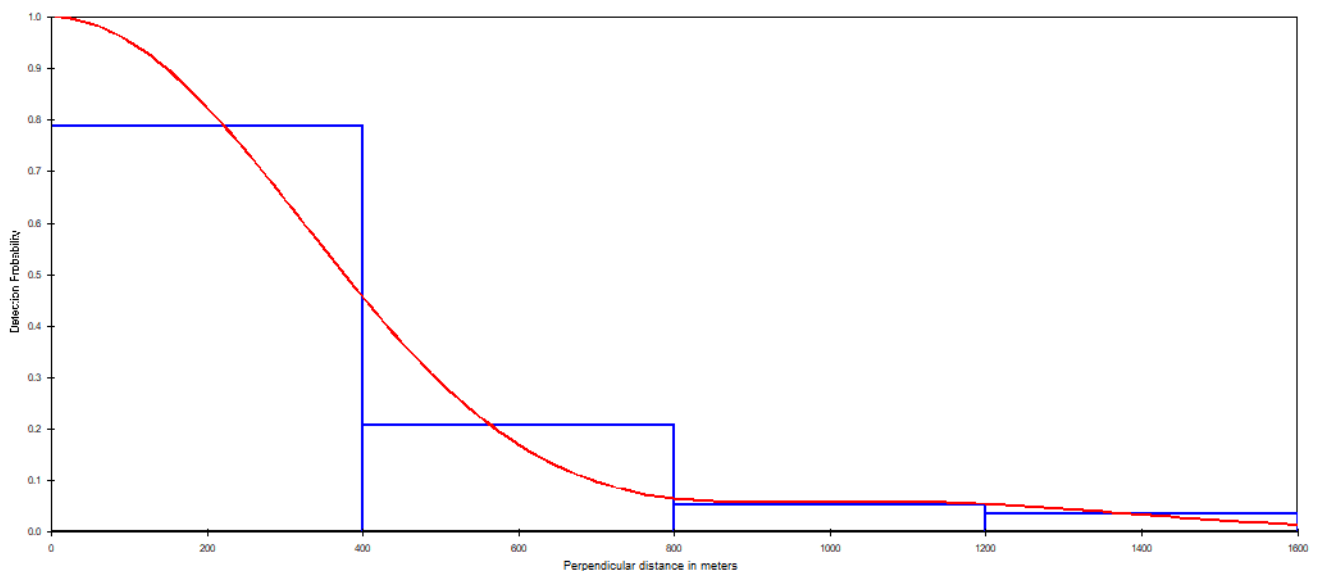


Figura 6. Grafico della funzione di contattabilità (in rosso) e dei dati osservati (istogrammi).

CELLE	CUT POINTS (m)	VALORI OSSERVATI	VALORI ATTESI	VALORI CHI- QUADRO
1	0-400	175	175,65	0,002
2	400-800	46	44,72	0,037
3	800-1200	12	13,04	0,082
4	1200-1600	8	7,60	0,021

Tabella 2. Cut points, dati osservati e dati attesi.

L'*expected cluster size* (dimensione dei gruppi attesa) è risultata essere 3,5 con errore standard di 0,21 mentre la *mean cluster size* (dimensione dei gruppi osservata) è 3,7 con errore standard di 0,25 e intervalli di confidenza compresi tra 3,25 e 4,25. L'*average cluster size* (dimensione media dei gruppi) è di 3,7 individui con un coefficiente di variazione del 7%. L'analisi di correlazione tra i gruppi e le distanze ha misurato un valore $r = -0,027$ con un *p-value* di 0,34. La densità D stimata degli individui di *Capra ibex* è di 2,7 individui ogni 100 ettari (0,027 individui/ha), con un CV del 12%. La densità dei gruppi è risultata essere di 0,8 per 100 ettari (0,008 gruppi/ha) con un CV dell'11% (vedi tabella 3). In fig. 7 sono presentate le osservazioni totali di stambecchi registrate tra luglio e ottobre 2018.

HALF-NORMAL	STIMA	E.S.	%CV	95% I.C.
DS	0,008	0,0008	11%	0,0062-0,0095
D	0,027	0,0033	12%	0,021-0,035
E (S)	3,5	0,21	6%	3,15-3,97

Tabella 3. Densità dei gruppi, degli individui e dimensione attesa dei gruppi di stambecco e relativi errore standard, coefficiente di variazione e intervallo di confidenza.

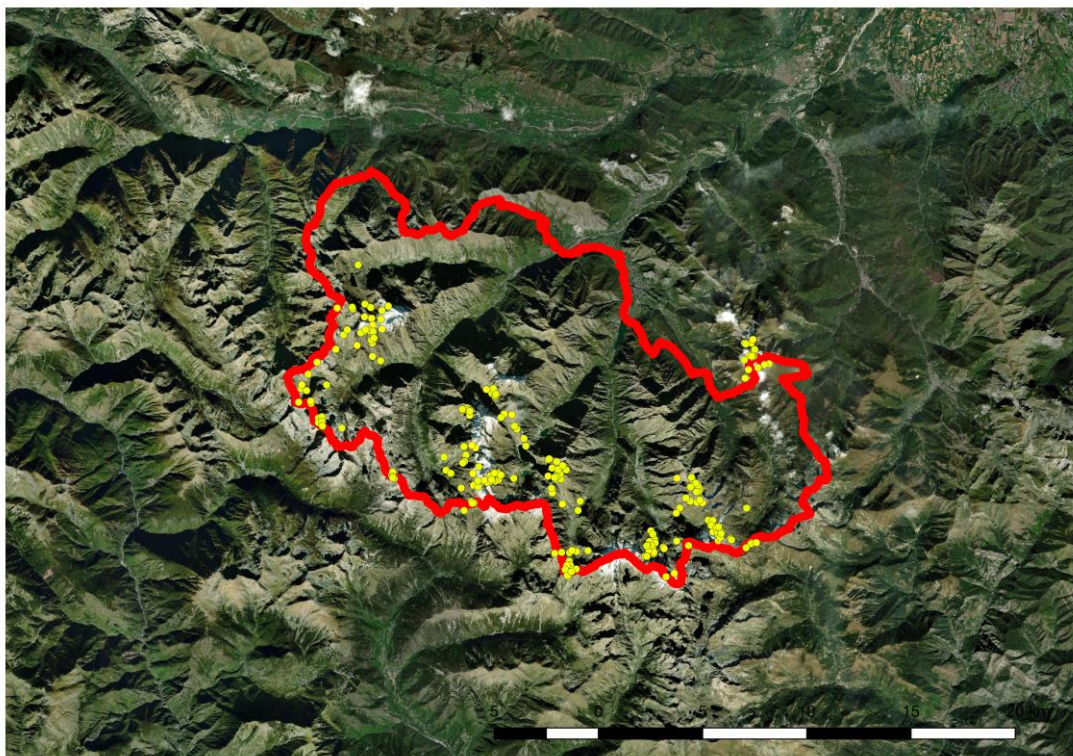


Figura 7. Distribuzione delle osservazioni di Capra ibex nel Parco durante il periodo di studio.

8. DISCUSSIONE

L'utilizzo del Distance Sampling per stimare la densità di popolazione dello stambecco alpino in Valle Gesso e in parte della Val Vermenagna ha fornito dati interessanti e che in linea generale possono essere ritenuti soddisfacenti ai fini di questa tesi. Mediante l'applicazione del Distance Sampling è stata effettuata una stima della densità di 2,7 stambecchi per 100 ettari con un coefficiente di variazione del 12% e un intervallo di confidenza compreso tra 2,1 e 3,5. Questo risultato, se pur minore, sembra accostarsi al valore ottenuto dal censimento 2019 tramite *block count*, attraverso il quale è stata stimata la presenza di 3,6 individui per 100 ettari all'interno della stessa area studio.

In figura 6 è possibile osservare la funzione di contattabilità *half-normal*. Essa risulta conforme alle osservazioni, e ciò è comprovato anche dalla non significatività del chi-quadro ($p = 0.14$). La maggior parte delle osservazioni è compresa nei primi 400 m.

Come espresso in Focardi et al. (2002) il principale interesse verso qualunque studio basato sul *line transect sampling* deve essere valutare la validità degli assunti. L'applicazione del Distance Sampling al monitoraggio dello stambecco è stata decisa a posteriori. Ciononostante, la raccolta dati è stata svolta con più accuratezza e precisione possibile. Dall'osservazione dei risultati possiamo dedurre che:

- (1) la curva di contattabilità soddisfa lo *shape criterion*, ovvero presenta una “spalla” (Buckland et al., 1993), il che fa presupporre che gli stambecchi posizionati sui transetti siano stati sempre contattati;
- (2) osservando i dati grezzi e quelli raggruppati (fig. 6) non sono stati rilevati movimenti evasivi degli stambecchi causati dalla presenza dell'osservatore. Ciò potrebbe essere spiegato dal comportamento non invasivo da parte dell'osservatore stesso, ma anche dal comportamento poco elusivo della specie;
- (3) durante il lavoro di campo è stata prestata molta attenzione alla registrazione delle coordinate dell'operatore e degli individui osservati, in modo da calcolare le distanze il più precisamente possibile. Queste ultime sono state poi ricontrollate grazie a un Sistema Informativo Territoriale.

Sono state eliminate le osservazioni estreme (*outliers*) secondo quanto consigliato da Buckland et al. (1993) dal momento che queste forniscono poche informazioni per la stima di $f(0)$. Infatti, con l'aumentare del troncamento, il numero di individui osservati diminuisce ma $f(0)$

aumenta per compensare. Questo ha comportato la diminuzione degli avvistamenti, con la differenza di due unità. Per quanto riguarda la distribuzione dello stambecco all'interno dell'area monitorata, l'osservazione della fig. 7 può fornire alcuni spunti di riflessione. Gli avvistamenti sono stati più consistenti in alcune zone che in altre; in talune aree le osservazioni sono state addirittura pari a zero. La maggior parte delle zone di avvistamento corrisponde a crinali che rappresentano confini naturali tra valloni laterali all'interno del Parco o tra quest'ultimo e il Parco nazionale del Mercantour. Sono stati consistenti anche gli avvistamenti di individui in corrispondenza di cenge e canali rocciosi e nei pressi di rifugi e aree attrezzate, molto probabilmente a causa dell'attrazione che queste strutture antropiche costituiscono per gli stambecchi. È un dato ormai comprovato che lo stambecco tenda ad occupare lo spazio in modo disomogeneo e frammentario (Tosi et al., 2012). Dato il basso valore del coefficiente di correlazione ($r = - 0,027$) si deduce la mancanza di correlazione tra i gruppi di individui e la distanza. Si può quindi affermare che la contattabilità non dipende unicamente dalla distanza dal transetto: singoli individui possono essere osservati facilmente anche a grandi distanze. Ciò è ampiamente supportato dalle prove empiriche sul campo, durante il percorrimto dei transetti infatti sono stati numerosi gli avvistamenti di singoli individui anche a distanze notevoli. L'elevata contattabilità di singoli stambecchi anche a grandi distanze potrebbe essere dovuta a buone capacità d'osservazione da parte degli operatori e al tipo di ambiente in cui si è svolta la ricerca, in questo caso un ambiente aperto di tipo alpino. In generale, i *ground counts* (conte a terra) forniscono stime soddisfacenti degli andamenti di popolazioni di *Capra ibex* grazie anche alle loro grandi dimensioni corporee, l'habitat aperto in cui vivono e il loro comportamento gregario (Largo et al., 2008). Secondo quanto osservato da Gaillard et al. (2003), però, le conte a terra hanno sottostimato l'abbondanza di una popolazione di stambecco in Francia almeno del 20%. Inoltre, è stato osservato che il tasso di sottostima aumenta considerevolmente al crescere della popolazione (Gaillard et al., 2003). In questo caso è evidente che l'impiego del Distance Sampling ha prodotto una sottostima rispetto ai valori ottenuti tramite *block count*, che potrebbe essere dovuta a qualche imprecisione durante la raccolta dati. È anche possibile che i valori ottenuti, se pur più bassi, siano più precisi di quelli ottenuti con il *block count* che potrebbe aver prodotto una sovrastima, come è avvenuto in Corlatti et al. (2015). Secondo questo studio, incentrato sul camoscio alpino (*Rupicapra rupicapra*), il Distance Sampling ha fornito valori più bassi rispetto a quelli ottenuti con BC e M-R (*mark-resight*). Un'altra ipotesi che si potrebbe valutare è che tra il 2018 e il 2019 sia avvenuto un incremento di densità nella popolazione di stambecco del Parco. Per questo motivo è importante a mio avviso ripetere nuovamente la ricerca implementando il *line transect sampling* con altre tecniche di monitoraggio e programmando un disegno di studio che rispecchi le procedure descritte nella letteratura sul DS. Diversi studi

riguardanti la predittività e l'efficienza statistica del Distance Sampling sono stati condotti (Thomas et al., 2010; Pérez et al., 2015; Clark, 2016), in alcuni casi comparando questo metodo con altri (Kinahan & Bunnefeld, 2012; Schmidt et al., 2019). In Pérez et al. (2015) vengono valutati gli effetti di diverse procedure analitiche sulle stime di densità e la loro precisione. Comparare stime eseguite tramite *line transect sampling* con altri metodi indipendenti può essere utile per migliorare il disegno di studio ed eventualmente per verificare quali assunti sono stati violati (Focardi et al., 2002). Quando si impiega il Distance Sampling per stimare l'abbondanza di ungulati alpini sono però necessari protocolli rigorosi volti a minimizzare i possibili *bias* che derivano dall'impossibilità di definire delle aree campione e quindi dei transetti o dei punti di osservazione che siano posizionati casualmente (Wingard et al., 2011). Il metodo del *line transect sampling* potrebbe essere migliorato mediante l'uso di covariate dal momento che la contattabilità dell'animale dipende anche dalle condizioni ambientali, dall'etologia della specie e dal momento della giornata (Focardi et al., 2002). Perciò un disegno di studio stratificato che incorpori queste covariate potrebbe ridurre l'eterogeneità implicita nella probabilità di contatto (Focardi et al., 2002). A questo proposito sarebbe auspicabile l'applicazione, in futuro, del *Multiple Covariate Distance Sampling* (MCDS), concetto introdotto in Buckland et al. (2004). La probabilità di contattare un animale infatti non dipende unicamente dalla distanza, ma da molteplici fattori che si intersecano tra loro, come le condizioni meteorologiche e ambientali, capacità dell'osservatore, caratteristiche dell'animale. In ambiente alpino, due fattori in particolare possono influenzare la contattabilità: il meteo (e quindi la visibilità) e il momento della giornata (quindi la temperatura). Può quindi rivelarsi utile modellare la probabilità di contatto come una funzione di diverse variabili oltre alla distanza (Royle et al., 2004). Adottare questo metodo potrebbe essere d'aiuto data anche l'ecologia dello stambecco alpino, sensibile alle variazioni dell'ambiente in cui vive (Grøtan et al., 2007). In ogni caso, se è rispettato l'assunto per cui gli animali a distanza zero sono sempre contattati, e il modello della funzione è sufficientemente flessibile, le stime di densità saranno prive di *bias*, anche se tutte le variabili diverse dalla distanza vengono ignorate (Buckland et al., 2004). L'impatto della violazione di uno o più assunti del *line transect sampling* sulla stima di densità può essere valutato unicamente su una popolazione di dimensioni note (Focardi et al., 2002). Da qui l'importanza di affiancare il Distance Sampling a un metodo di stima già largamente utilizzato e comprovato come lo è il *block count* nel Parco Alpi Marittime. All'interno della popolazione di *Capra ibex* del Parco sono presenti individui marcati, alcuni di essi dotati di un collare GPS satellitare. Data la grande risorsa che rappresenta la presenza di animali marcati ai fini del monitoraggio di una popolazione animale, in futuro potrebbe costituire un implemento alla conservazione dello stambecco l'accostamento di studi Mark-Resight al Distance Sampling che sembra fornire stime di densità più precise (Alpizar-

Jara & Pollock, 1996; Perez & Alpizar-Jara, 2008). La randomizzazione della griglia di studio ha il fine di assicurare che ogni individuo presente nell'area monitorata abbia a priori un'uguale probabilità di essere contattato (Fewster et al., 2005). Nel caso di questa ricerca non è stato possibile posizionare i transetti in modo casuale all'interno dell'area studio, data la sua natura impervia. Per questo motivo, nonostante le analisi statistiche siano risultate soddisfacenti, occorre essere cauti nella loro interpretazione. Tuttavia, il basso valore del coefficiente di variazione ($CV = 12\%$) può far presupporre di aver ottenuto stime abbastanza precise. Non sembra necessario ai fini dello studio dello stambecco alpino proporre metodi osservatore-indipendenti (Pérez et al., 2002), dal momento che la specie non pare essere influenzata dalla presenza di uno o più osservatori.

Nonostante quella delle Alpi Marittime sia la colonia italiana di stambecchi più antica, la sua densità risulta ancora relativamente bassa. Secondo Tosi et al. (2012) la densità di una popolazione di stambecco varia da un minimo di 2-4 ad un massimo di 20-25 capi per 100 ettari nelle migliori condizioni ambientali. Essendo la popolazione delle Alpi Marittime tra le più consistenti in Italia (Prandi et al., 2008), questo dato fa riflettere sulla situazione generale delle popolazioni di *Capra ibex* sull'intero arco alpino e su quanto sia ancora notevole il divario tra areale potenziale e reale.



Figura 8. Femmina di stambecco presso il rifugio Morelli-Buzzi (foto personale).

9. CONCLUSIONE

Si può affermare di aver raggiunto gli obiettivi che questa tesi si era prefissata. Questo lavoro si proponeva di fornire uno studio preliminare sull'applicabilità del Distance Sampling come strumento di monitoraggio della specie *Capra ibex* all'interno del Parco Naturale Alpi Marittime. In termini di costi e benefici, si può ritenere che il Distance Sampling non sia un metodo eccessivamente impegnativo per quanto riguarda il rispetto degli assunti principali e l'analisi dei dati attraverso il *software* DISTANCE. L'aspetto che sicuramente rende il Distance Sampling un utile strumento al monitoraggio di popolazioni è la non necessità di contattare tutti gli individui presenti nell'area (Buckland et al., 1993). Sarebbe interessante delineare in futuro un disegno di studio che si avvalga del DS per stimare nuovamente la densità di popolazione dello stambecco nell'area campionata e confrontare i risultati con quelli presentati in questa tesi. Il disegno di studio andrebbe chiaramente preparato in anticipo e, se possibile, la raccolta dati potrebbe essere fatta congiuntamente al *block count* come è stato svolto da Herrero et al. (2011) per il camoscio dei Pirenei (*Rupicapra pyrenaica*). L'importanza di preparare a priori il disegno di studio risiede nel fatto che da quest'ultimo è largamente determinata la varianza degli stimatori d'abbondanza (Fewster et al., 2005). Consiglierei, per un prossimo studio, l'utilizzo di un telemetro per misurare le distanze direttamente sul campo.

Ad oggi il Distance Sampling è tra le tecniche più utilizzate per stimare l'abbondanza delle popolazioni animali (Buckland et al., 2004). I motivi del suo successo risiedono probabilmente nella sua maggior economicità rispetto ai metodi basati sulla cattura degli animali e, inoltre, gli effetti del mancato rispetto di uno o più assunti possono essere compresi più facilmente rispetto ad altre tecniche (Buckland et al., 2004). Stimare la densità di popolazione degli ungulati alpini con elevata precisione non è un obiettivo di facile realizzazione e qualunque sforzo nell'ambito di un progetto di monitoraggio sarà sempre soggetto a errori di campionamento e possibili *bias* (Harris et al., 2005). Ciononostante, se i dati vengono raccolti in maniera standardizzata in un periodo di tempo continuo, si possono trarre preziose informazioni riguardanti l'andamento di una popolazione (Harris et al., 2005). Senza dimenticare che in natura monitorare l'andamento di una popolazione nel tempo, quindi eventuali aumenti o diminuzioni di densità, è più importante delle singole stime di densità (Harris et al., 2005; Liu et al., 2007).

10. RINGRAZIAMENTI

Il ringraziamento più sentito va sicuramente ai miei genitori senza il cui supporto non avrei potuto raggiungere il più atteso dei traguardi. Mi rendo conto che non è privilegio di tutti avere a fianco qualcuno che dia valore all'espressione personale e all'unicità dell'individuo, quindi grazie.

Grazie a tutto lo staff del Parco Naturale Alpi Marittime per la fantastica accoglienza.

Un enorme grazie a Laura Martinelli per avermi dato l'opportunità di fare questo meraviglioso tirocinio, tra vette e stambecchi. Grazie per la tua disponibilità ad aiutarmi sempre e per la tua gentilezza.

Un altro enorme grazie a Mattia Colombo, *life coach* durante i giorni che ho passato al Parco, oltre che dispensa di consigli per l'attività di campo. Grazie per la tua professionalità e il tuo entusiasmo. Grazie a tutti i Guardiaparco, strenui camminatori di montagna, siete stati tutti un esempio. Un grazie speciale ad Augusto per le chiacchierate fatte e per avermi permesso di assistere alla serata di *wolf howling*: poter ascoltare gli ululati dei lupi sotto la luna nel Pian della Casa è stato un momento indimenticabile.

Grazie al Professor Giuseppe Bogliani che mi ha seguito nel primo periodo di questa esperienza. E grazie anche per le lezioni di etologia, le lezioni più belle a cui abbia mai assistito: aver fatto parte di una delle sue ultime classi è stato un privilegio.

Grazie al mio relatore Roberto Sacchi per aver accettato di seguirmi nella seconda e ultima parte di questo lavoro.

Un grazie speciale ad Alice Brambilla e a Gianpasquale Chiatante: mi avete aiutato anche se non eravate tenuti a farlo. Senza i vostri consigli non ce l'avrei fatta.

Grazie ai miei fratelli Federico e Gabriele: io credo che una *crew* più bella della nostra non esista.

Grazie ad Anna, compagna di vita, che magia affrontare questo mistero insieme a te.

A Sofia, Irene, Lisa, Sonia, Aurora, Valeria, stimatissime colleghe: grazie ragazze, questo percorso non sarebbe stato lo stesso se non avessi potuto dividerlo con voi.

A Letizia, Giulia, Ylenia, compagne del liceo: siamo cresciute insieme, ripeterei tutto daccapo solo per rivivere le avventure che abbiamo vissuto insieme.

Voglio infine ringraziare Pino e Riccardo, due persone che non hanno mai mancato di incoraggiarmi. Il vostro supporto è stato molto significativo.

11. PUBBLICAZIONI CITATE

- Apollonio M., Giacometti M., Lanfranchi P., Lovari S., Meneguz P.G., Molinari P., Pedrotti L., Perco F., Tosi G., Toso S., Vigorita V. (2009). *Piano di conservazione, diffusione e gestione dello stambecco alpino sull'arco italiano*. Provincia di Sondrio, settore Agricoltura e Risorse Ambientali.
- Alpizar-Jara R., Pollock K.H. (1996). *A combination line transect and capture-recapture sampling model for multiple observers in aerial surveys*. Environmental and Ecological Statistics 3, pp. 311-327.
- Bassano B., Peracino V. (1991). *Annual average increases of Alpine Ibex (Capra ibex ibex L.) populations reintroduced from Gran Paradiso National Park*. Proceedings of the International Symposium "Ongulés/Ungulates 91", pp. 579-581.
- Brivio F., Zurmühl M., Grignolio S., Hardenberg J., Apollonio M., Ciuti S. (2019). *Forecasting the response to global warming in a heat-sensitive species*. Scientific Reports 9, pp. 1-16.
- Buckland S.T., Anderson D.R., Burnham K.P., Laake J.L. (1993). *Distance Sampling. Estimating abundance of biological populations*. Chapman & Hall, London.
- Buckland S.T., Anderson D.R., Burnham K.P., Laake J.L., Borchers D.L., Thomas L. (2004). *Advanced Distance Sampling*. Oxford University Press, New York.
- Buckland S.T., Goudie I.B.J., Borchers D.L. (2000). *Wildlife Population Assessment: Past Developments and Future Directions*. Biometrics 56, pp. 1-12.
- Caughley, G., Sinclair. A. R. E. (1994). *Wildlife Ecology and Management*. Black Science Ltd, pp. 190-191.
- Chevrier T., Pellerin M., Garel M., Michallet J., Saint-Andrieux C., Hamann J.L., Toïgo C., Saïg S., Klein F., Morellet N., Boscardin Y., Hamard J.P. (2015). *Suivi des populations d'ongulés et de leurs habitats. Fiches techniques. Indicateurs de Changement Ecologique*. Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage, pp. 33-35.
- Clark R.G. (2016). *Statistical Efficiency in Distance Sampling*. PLOS ONE 11 (3).
- 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, pp. 409-419.
- Debeffe L., Morellet N., Bonnot N., Gaillard J.M., Cargnelutti B., Verheyden-Tixier H., Vanpé C., Coulon A., Clobert J., Bon R., Hewison A.J.M. (2014). *The link between behavioural type and natal dispersal propensity reveals a dispersal syndrome in a large herbivore*. Proceedings of the Royal Society B 281.

- Fewster R.M., Laake J.L., Buckland S.T. (2005). *Line Transect Sampling in Small and Large Regions*. Biometrics 61, pp. 856-861.
- Focardi S., Isotti R., Tinelli A. (2002). *Line Transect Estimates of Ungulate Populations in a Mediterranean Forest*. The Journal of Wildlife Management 66 (1), pp. 48-58.
- Gagliardi A., Tosi G. (a cura di, 2012). *Monitoraggio di Uccelli e Mammiferi in Lombardia. Tecniche e metodi di rilevamento*. Regione Lombardia, Università degli Studi dell'Insubria, Istituto Oikos.
- Gaillard J. M., Loison A., Toïgo C. (2003). *Variation in Life History Traits and Realistic Population Models for Wildlife Management: The Case of Ungulates*. Animal Behavior and Wildlife Conservation, pp. 115-132.
- Giovo M., Rosselli D. (2002). *Lo Stambecco in Val Troncea e Val Germanasca*. Parco Naturale Val Troncea (TO).
- Giovo M., Rosselli D. (2004). *L'habitat stagionale dello stambecco Capra ibex in Val Chisone e Val Germanasca*. Rivista Piemontese di Storia Naturale 25, pp. 347-369.
- Grøtan V., Sæther B.E., Filli F., Engen S. (2008). *Effects of climate on population fluctuations of ibex*. Global Change Biology 14, pp. 218-228.
- Harris R.B., Abutalipu A., Loggers C. (2005). *Trend Monitorin of Large Mammals: Two Case Studies*. Acta Theriologica Sinica 25 (4), pp. 319-325.
- Herrero J., García-Serrano A., Prada C., Fernández-Arberas O. (2011). *Using block counts and distance sampling to estimate populations of chamois*. Pirineos 166, pp. 123-133.
- Howe E.J., Buckland S.T., Després-Einspenner M.L., Kühl H.S. (2017). *Distance sampling with camera traps*. Methods in Ecology and Evolution 8, 1558-1565.
- Jacobson A.R., Provenzale A., Hardenberg A., Bassano B., Festa-Bianchet M. (2004). *Climate Forcing and Density Dependence in a Mountain Ungulate Population*. Ecology 85 (6), pp. 1598-1610.
- Kinaham A.A., Bunnefeld N. (2012). *Effectiveness and cost efficiency od monitoring mountain nyala in Bale Mountains National Park, Ethiopia*. Endangered Species Research 18, pp. 105-114.
- Krebs C.J. (2014). *Ecological Methodology*. Harper & Row Publishers, New York.
- Largo E., Gaillard J.M., Festa-Bianchet M., Toigo C., Bassano B., Cortot H., Farny G., Lequette B., Gauthier D., Martinot J.P. (2008). *Can ground counts reliably monitor ibex Capra ibex populations*. Wildlife Biology, 14 (4), pp. 489-499.
- Liu Z., Wang X., Teng L., Cui D., Li X. (2008). *Estimating seasonal density of blue sheep (Pseudois nayaur) in the Helan Mountain region using distance sampling methods*. Ecological Research 23, pp. 393-400.

- Maurino L. (2008). *Monitoraggio del camoscio Rupicapra rupicapra nel Parco Naturale Val Tronca: distance sampling e pointage flash*. VI Congresso italiano di Teriologia, Cles (TN).
- Maurino L. (2010). *Applicazione del distance sampling nel monitoraggio degli ungulati nel Parco Naturale Val Tronca (Alpi Cozie, Italia)*. VII Congresso italiano di teriologia, Fabriano (AN).
- Morelle K., Bouché P., Lehaire F., Leeman V., Lejeune P. (2012). *Game species monitoring using road-based distance sampling in association with thermal imagers: a covariate analysis*. *Animal Biodiversity and Conservation* 35 (2), 253-265.
- Pelliccioli F., Ferrari C. (2013). *The use of point-transects distance sampling to estimate the density of alpine marmot in the Gran Paradiso National Park*. *Journal of Mountain Ecology* 9, pp. 47-60.
- Pérez J.M., Granados J.E., Soriguer R.C., Fandos P., Màrquez F.J., Crampe J.P. (2002). *Distribution, status and conservation problems of the Spanish Ibex, Capra pyrenaica (Mammalia: Artiodactyla)*. *Mammal Review* 32 (1), pp. 26-39.
- Pérez J.M., Sarasa M., Moço G., Granados J.E., Crampe J.P., Serrano E., Maurino L., Meneguz P.G., Afonso A., Alpizar-Jara R. (2015). *The effect of data analysis strategies in density estimation of mountain ungulates using distance sampling*. *Italian Journal of Zoology* 82, pp. 262-270.
- Pérez J.M., Serrano E., Alpizar-Jara R., Granados J.E., Soriguer R.C. (2002). *The potential of distance sampling methods to estimate abundance of mountain ungulates: review of usefulness and limitations*. *Pirineos* 157, pp. 15-23.
- Pérez J.M., Alpizar-Jara R. (2008). *Towards the Use of Distance Sampling to Monitorize Mountain Ungulates Numbers*. *Ecosystem Ecological Research Trends*, pp. 9-20.
- Prandi A., Peric T., Corazzin M., Comin A., Colitti M. (2018). *A first survey on hair cortisol of an Alpine ibex (Capra ibex ibex) population*. *Animal Science Papers and Reports* 36 (1), pp. 57-74.
- Royle J.A., Dawson D.K., Bates S. (2004). *Modeling abundance effects in distance sampling*. *Ecology* 85 (6), pp. 1591-1597.
- Schmidt J.H., Reynolds J.H., Rattenbury K.L., Phillips L.M., White K.S., Schertz D., Morton J.M., Kim H.S. (2019). *Integrating Distance Sampling with Minimum Counts to Improve Monitoring*. *The Journal of Wildlife Management* 83 (6), pp. 1454-1465.
- Smith T.M., Smith R.L. (2017). *Elementi di Ecologia*. Pearson Italia, Milano-Torino.
- Stüwe M., Grodinsky C. (1987). *Reproductive Biology of Captive Alpine Ibex (Capra i. ibex)*. *Zoo Biology* 6, pp. 331-339.
- Stüwe M., Nievergelt B. (1991). *Recovery of alpine ibex from near extinction: the result of effective protection, captive breeding, and reintroductions*. *Applied Animal Behaviour Science* 29, pp. 379-387.
- Sutherland W.J. (2006). *Ecological Census Techniques*. Cambridge University Press, New York.

- Thomas L., Buckland S.T., Rexstad E.A., Laake J.L., Strindberg S., Hedley S.L., Bishop J.R.B., Marques T.A., Burnham K.P. (2010). *Distance Software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size*. Journal of Applied Ecology 47, pp. 5-14.
- Toïgo C., Gaillard J.M., Michallet J. (1996). *La taille des groupes: un bioindicateur de l'effectif des populations de bouquetin des Alpes (Capra ibex ibex)?*. Mammalia 60 (3), pp. 463-472.
- Toso S., Apollonio M., Ottino M., Rosselli D., Guberti V., Giovannini A. (1991). *Biologia e conservazione degli ungulati alpini*. Parco Naturale Val Tronca (TO).
- Tosi G., Pedrotti L., Mustoni A., Carlini E. (2012). *Lo stambecco in Lombardia e sull'Arco Alpino*. Istituto Oikos, 250 pp.
- Tosi G., Scherini G., Guidali F., Rossi P. (1986). *Gli ungulati del Parco Naturale dell'Argentera: analisi dei popolamenti e ipotesi di gestione*. Rivista Piemontese di Storia Naturale 7, pp. 77-92.
- Villaret J.C., Bon R. (1995). *Social and Spatial Segregation in Alpine Ibex (Capra ibex) in Bargy, French Alps*. Ethology 101, pp. 291-300.
- Wingard G.J., Harris R.B., Amgalanbaatar S., Reading R.P. (2011). *Estimating abundance of mountain ungulates incorporating imperfect detection: argali Ovis ammon in the Gobi Desert, Mongolia*. Wildlife Biology 17, pp. 93-101.