



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

DOTTORATO DI RICERCA IN  
GESTIONE SOSTENIBILE DELLE RISORSE AGRARIE E  
FORESTALI

CICLO XXIX

COORDINATORE Prof.ssa Susanna Nocentini

ANALISI DELLA DISTRIBUZIONE DEL LUPO  
(*CANIS LUPUS* L.) ATTRAVERSO MODELLI DI  
MASSIMA ENTROPIA: CASO DI STUDIO NEL  
TERRITORIO DI PISTOIA

Settore Scientifico Disciplinare AGR/10

**Dottorando**

Dott.ssa Simona Iacobelli

**Tutore**

Dott. Leonardo Conti

**Coordinatore**

Prof.ssa Susanna Nocentini

Anni 2013/2017



# INDICE

<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>5</b>
1.1. OBIETTIVI DELLA RICERCA.....	7
<b>2. STATO DELL'ARTE .....</b>	<b>8</b>
<b>3. METODOLOGIA APPLICATA .....</b>	<b>25</b>
3.1. PREMESSA METODOLOGICA .....	25
3.2. MAXENT.....	26
3.3. INQUADRAMENTO DEL PROGETTO.....	32
3.4. SCELTA DELLE VARIABILI.....	35
3.5. PREPARAZIONE DEI DATI IN INPUT .....	43
3.6. VARIABILI.....	44
<b>4. RISULTATI DELL'APPLICAZIONE DEI MODELLI .....</b>	<b>49</b>
4.1. MODELLI DI MASSIMA ENTROPIA (5000 X 5000 m).....	49
4.2. MODELLI DI MASSIMA ENTROPIA (2500 X 2500 m).....	53
4.3. MODELLI DI MASSIMA ENTROPIA (250 X 250 m).....	56
<b>5. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI .....</b>	<b>84</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>97</b>



# 1. INTRODUZIONE

L'espansione del lupo sul territorio nazionale, caratterizzata da un forte incremento demografico della popolazione e dalla ricolonizzazione di aree dalle quali la specie risultava assente da molto tempo, ha richiamato l'attenzione su questa specie, sia per l'importante ruolo ecologico che riveste, sia per le problematiche che si sono innescate a seguito della sua diffusione.

Il lupo rappresenta un elemento fondamentale degli ecosistemi naturali, in quanto è fra le specie più idonee a fungere da indicatore biologico dello stato di integrità degli ecosistemi. Nelle politiche di conservazione, i grandi carnivori sono impiegati come specie indicatrici, le cosiddette specie "ombrello", in quanto necessitano di ambienti naturali estesi e complessi, caratterizzati da una ampia biodiversità eco-sistemica [1]. La conservazione del lupo comporta un beneficio per tutte le componenti ambientali ad esso interrelate e costituisce pertanto un contributo importante al mantenimento della biodiversità. Questo carnivoro necessita infatti di vasti spazi di habitat idonei con abbondanza di prede naturali, con esigenze ecologiche che comprendono anche le esigenze di molte altre specie. La conservazione di questa specie rappresenta una parte importante dello sforzo per il mantenimento della biodiversità e per assicurare la funzionalità degli ecosistemi presenti nel nostro Paese.

L'elevata flessibilità ecologica e comportamentale che caratterizzano il lupo, lo ha portato ad occupare stabilmente anche aree con un certo grado di presenza antropica, comportando spesso una competizione per gli stessi spazi e per le stesse prede. In relazione alla recente espansione dell'areale, la presenza del lupo nel contesto nazionale ha sollevato rilevanti problemi gestionali, principalmente connessi ai fenomeni di predazione del bestiame domestico, che rendono prioritaria la definizione di una strategia di intervento.

La discussione sulle problematiche relative alla conservazione e gestione del lupo in Italia è tutt'ora aperta. Il concetto di "conservazione" acquista una valenza diversa per le diverse fasi storiche della diffusione del lupo nel contesto italiano. In una prima fase di ricolonizzazione il problema della conservazione riguardava la tutela di una specie in espansione, che quindi era caratterizzata da basse consistenze numeriche e instabilità dei gruppi familiari, una popolazione non in

equilibrio e in fase di colonizzazione. Attualmente il lupo in Italia, in particolare la popolazione appenninica, è considerato in Stato di Conservazione Soddisfacente, e non a rischio di estinzione. Nonostante questo, l'intensificarsi di episodi di conflitto fra la presenza del predatore e le attività agro-zootecniche, determina ancora uno stato di vulnerabilità della specie. Infatti, la principale causa dell'alto livello di attenzione ancora necessaria per la conservazione della specie in Italia è la mortalità antropogenica del lupo, causata da azioni illegali e di bracconaggio (fenomeni di difficile stima e quantificazione).

La conservazione del lupo si realizza con la coesistenza tra predatore e attività antropiche e con l'attenuazione dei conflitti, attraverso la ricerca scientifica e azioni di monitoraggio prolungate nel tempo, capaci di fornire informazioni per l'attuazione di strategie di prevenzione e mitigazione coordinati su scala regionale e nazionale [2].

Le implicazioni di carattere sociale ed economico che il ritorno del lupo sul territorio inevitabilmente comporta e l'aumento ancora in corso di consistenza e areale su tutto il territorio appenninico e sulla catena alpina, necessitano quindi di risposte gestionali fondate su dati scientifici consolidati. In questo contesto, il monitoraggio della specie, la conoscenza delle esigenze ecologiche e dei fattori che permettono al lupo di occupare stabilmente un territorio, nonché l'analisi delle interazioni lupo-uomo, assumo un ruolo chiave per l'individuazione di strategie di conservazione e mitigazione del conflitto.

La modellistica finalizzata all'individuazione di habitat idonei per la specie e alla determinazione dei fattori discriminanti, può rappresentare un valido strumento nel processo di conoscenza della specie.

Sono molti gli studi che, attraverso la modellistica ecologica, sono finalizzati allo studio della distribuzione di specie animali e vegetali (Species Distribution Models - SDM).

Nel campo della modellistica degli habitat, sono stati concepiti diversi approcci di analisi di distribuzione di presenza, principalmente quelli in grado di sviluppare analisi con *dataset* di sola presenza. Sulla base del principio di entropia massima, secondo il quale la migliore approssimazione a una distribuzione sconosciuta è quella che massimizza l'entropia soddisfacendo ogni vincolo noto, Maxent [3] è

una delle tecniche applicate per lo studio della distribuzione di specie animali, specialmente per analisi di *dataset* di sola presenza.

## **1.1. OBIETTIVI DELLA RICERCA**

La presente ricerca è finalizzata alla definizione della distribuzione potenziale del lupo nel territorio della Provincia di Pistoia, nonché alla discriminazione dei fattori che possono influire su tale distribuzione. L'indagine è stata condotta attraverso l'elaborazione di modelli con diversi gradi di complessità e per diverse risoluzioni di indagine allo scopo di comprendere al meglio il comportamento spaziale del lupo nel territorio e la combinazione dei fattori che determinano una occupazione dell'area stabile.

Il presente lavoro nasce inoltre dalla volontà di fornire uno strumento di analisi supplementare all'interno del progetto di monitoraggio del lupo nel comprensorio pistoiese.

In particolare, gli obiettivi specifici hanno riguardato:

- la determinazione dei fattori o combinazioni di fattori influenzanti la frequentazione dell'habitat;
- l'elaborazione di carte di idoneità ambientale della specie;
- individuazione di aree a maggior probabilità di presenza della specie e di aree potenzialmente idonee ma non ancora occupate;
- la comparazione delle *performance* nell'applicazione della tecnica a diverse risoluzioni di indagine e diversi gradi di dettaglio.

## 2. STATO DELL'ARTE

L'Europa, un tempo caratterizzata da un ampio mosaico di habitat naturali ideale per i grandi carnivori, ha subito un processo di estrema frammentazione e antropizzazione degli habitat naturali ed attualmente ospita quattro specie di grandi carnivori (orso, lupo, lince e ghiottone) con una distribuzione caratterizzata da piccole popolazioni tra loro fortemente disgiunte.

In passato l'opposizione ai grandi carnivori era forte e diffusa, attraverso persecuzioni da parte dell'uomo che ne hanno provocato l'estinzione in un'ampia porzione degli areali originari [4], [5]. Recentemente si è sviluppato un crescente interesse per la loro conservazione, in considerazione dell'importanza ecologica che questi animali ricoprono. Negli ultimi anni sono state infatti accordate maggiori protezioni per queste specie, in quanto l'atteggiamento sociale nei confronti delle specie a rischio ha riscoperto l'importanza ecologica di questi animali. I grandi carnivori infatti sono considerati specie indicatrici nelle strategie di mantenimento della biodiversità e rivestono un ruolo chiave nella regolazione delle popolazioni della specie preda, contribuendo sia al controllo dei tassi di crescita di queste popolazioni, sia migliorando le condizioni di salute degli animali attraverso la predazione di individui deboli o malati [5]. La conservazione dei grandi carnivori si realizza attraverso la conservazione dei loro ambienti di vita e delle popolazioni di prede selvatiche, agendo, così, positivamente sulla biodiversità complessiva. Inoltre i predatori necessitano di habitat naturali, ampi e continui o fortemente connessi tra loro; quest'ultimo aspetto focalizza l'attenzione sull'importanza dei corridoi ecologici di cui beneficiano molte altre specie [6].

La maggiore protezione accordata ai grandi carnivori ha permesso la ricolonizzazione di vaste porzioni dei loro habitat storici, espandendosi principalmente a causa della loro elevata plasticità ecologica e al comportamento di dispersione. I grandi carnivori sono spesso in grado di ottenere cibo da più fonti, a seconda della disponibilità di prede. Questa flessibilità nell'uso delle risorse trofiche può consentire ai carnivori di occupare anche spazi disturbati dalla presenza degli esseri umani. Inoltre, la necessità di ampi territori richiede spesso

che i grandi carnivori si disperdano molto lontano dai loro *home-range* originari [7].

La conservazione di queste specie presenta molteplici difficoltà in contesti, come quello europeo, caratterizzati da elevata densità umana e frammentazione del paesaggio. Le principali problematiche sono legate alla caratteristica fondamentale di questi animali che, come principali predatori, necessitano di vasti *home-range* con dimensioni per i singoli individui che tendono a variare tra 100 e 1000 km<sup>2</sup> nel contesto europeo, in relazione alle caratteristiche degli habitat e alle risorse ambientali [8], [9]. Oltre a queste caratteristiche i grandi carnivori sono capaci di percorrere lunghe distanze durante la loro fase di dispersione, con individui in grado di spostarsi per centinaia di chilometri. In ragione di tali comportamenti, nella maggior parte dei casi le aree soggette a particolari misure di tutela e conservazione non garantiscono la simultanea presenza delle caratteristiche peculiari alla permanenza di tali specie che, come evidenziato da Linnell, tendono a non stabilirvisi [10]. Ne consegue che gli interventi di conservazione proposti per queste specie debbano interessare non soltanto la presenza di habitat specifici all'interno delle aree protette, ma debbano considerare anche la matrice degli habitat multiuso che circondano le zone protette.

Viste le peculiarità che contraddistinguono i grandi carnivori, ovvero l'elevata adattabilità e capacità di diffusione, è importante valutare e considerare la scala di indagine e di gestione appropriata. Dal punto di vista biologico una popolazione di grandi carnivori si estende per centinaia, migliaia e spesso decine di migliaia di chilometri quadrati. Una così vasta area è spesso frammentata da molte tipologie di confini (per esempio, quelli politico-amministrativi), rendendo problematica l'individuazione di soluzioni capaci di essere applicate in tutti i contesti, come ad esempio quello europeo, assai diversificato in termini geografici, ambientali e socio-economici. Si rende necessaria quindi l'individuazione di soluzioni potenziali che prevedano la combinazione di misure per i diversi contesti locali, in cui l'unità per la pianificazione della conservazione sia l'intera unità biologica, con il coinvolgimento di tutti gli enti amministrativi ricadenti all'interno della sua distribuzione. Inoltre, in considerazione del fatto che il comportamento predatorio dei grandi carnivori è spesso in conflitto con le

attività economiche locali, la sua conservazione richiede l'integrazione con le attività umane nei contesti antropizzati. Per tale motivo, lupo, lince e orso sono oggetto di tutela a livello internazionale e nazionale. Sono infatti inseriti nell'allegato II della Convenzione di Berna ("specie strettamente protette"), negli allegati B (specie la cui conservazione richiede la designazione di zone speciali di conservazione) e D (specie prioritaria, di interesse comunitario che richiede una protezione rigorosa) della Direttiva Habitat, proibendone la cattura, l'uccisione, il disturbo, la detenzione, il trasporto, lo scambio e la commercializzazione; negli allegati A e B della convenzione di Washington (CITES) e nell'art. 2 della legge nazionale 157/92 ("specie particolarmente protette").

Il lupo ha sempre suscitato nell'uomo sentimenti contrastanti e ha da sempre stimolato l'immaginario umano, ricorrendo frequentemente nella cultura, nella tradizione e nel folklore della maggior parte delle civiltà dell'intero emisfero boreale. Il rapporto fra uomo e lupo acquista connotazioni diverse in relazione ai diversi periodi della storia e alle diverse popolazioni umane che con esso hanno condiviso l'ambiente e le risorse. Il lupo è un mammifero terrestre ampiamente distribuito e adattabile, capace di colonizzare differenti habitat e di tollerare un certo livello di disturbo antropico [86]; mostra alti livelli di plasticità ecologica grazie all'eccezionale capacità di dispersione, all'alto tasso di riproduzione e alla bassa specificità per l'habitat [11]. Questa straordinaria capacità di adattamento gli ha permesso di raggiungere una distribuzione geografica che comprende gran parte dell'emisfero settentrionale e ne racchiude la maggior parte degli habitat.

Molte regioni d'Europa sono state interessate nell'ultimo ventennio da processi di ricolonizzazione di territori occupati stabilmente in passato. Questi processi sono il risultato di alcuni fattori: la diminuzione della persecuzione (causa di forti contrazioni dell'areale europeo); le caratteristiche biologiche della specie quali la dispersione, la capacità d'adattamento e il potenziale riproduttivo; l'incremento delle popolazioni di ungulati selvatici; la rinaturalizzazione del territorio nelle aree marginali e rurali a seguito dell'abbandono delle attività agricole.

In Europa, il lupo è presente in tutti i paesi tranne le isole (Irlanda, Islanda, Regno Unito, Cipro, Malta) e i paesi del Benelux, Danimarca e Ungheria per i quali vengono segnalati individui in dispersione. In riferimento al documento "Key

*actions for Large Carnivore populations in Europe*” [1], i lupi nel continente europeo sono classificati in 10 popolazioni (figura 1): regione iberica settentrionale, Sierra Morena, Alpi, penisola italiana, Carpazi, regione Dinarico-Balcanica, Baltico, Karelia, pianure scandinave e del centro Europa. Queste popolazioni sono il risultato di dinamiche naturali e di una combinazione di distribuzione e di fattori sociali, ecologici e politici.

Il numero totale di lupi in Europa è di oltre 10.000 individui (esclusi la Russia e la Bielorussia). I dati di censimento più aggiornati evidenziano che le popolazioni più grandi sono la popolazione carpaziana e la popolazione dell'area Dinarico-Balcanica (> 3.000 lupi), seguita dalla popolazione baltica (> 1.000 lupi). Altre popolazioni sono di un ordine di grandezza inferiore: italiana ~ 800 lupi, Scandinava ~ 300 lupi, europea centrale ~ 200 lupi, alpina ~ 160 lupi, careliana > 165 lupi. La popolazione della Sierra Morena nel sud della Spagna è l'unica sull'orlo dell'estinzione con un solo branco rilevato nel 2012. Per la popolazione iberica del nord occidentale, non ci sono dati aggiornati ma si ritiene che la popolazione sia rimasta stabile (~ 2.200-2.500 lupi).

In Europa orientale popolazioni molto consistenti si conservano nei territori dell'ex Unione Sovietica, mentre nei paesi dell'Europa settentrionale il lupo ha subito una frammentazione della popolazione in piccoli nuclei nel sud della Svezia, Norvegia e nei territori nord orientali della Finlandia. I territori finlandesi sono oggetto di fenomeni di dispersione di individui provenienti dalla Karelia Sovietica (ex URSS) [12]. I territori della Russia sono caratterizzati da un basso grado di antropizzazione e da alte consistenze numeriche della specie, che, da questi territori, si espande nei Paesi dell'Europa centro-orientale come Ungheria, Romania, Polonia e, più di recente, Germania orientale, dove la presenza è però confinata alle zone forestali [86], [13]. La componente mediterranea dell'areale si frammenta tra la Spagna [14], la regione nord orientale del Portogallo, l'Italia, i Paesi balcanici e la Grecia. Per il continente francese si osservano segnali di ripresa nelle Alpi francesi meridionali [88]; in particolare attraverso le Alpi Marittime la specie si sta progressivamente espandendo anche nei settori sud occidentali delle Alpi Svizzere.

Population	Population size 2011	Countries (and approx. % share of population)	Trend	Red List assessment
Scandinavian	250-300	SE (90%), NO (10%)	Increase	EN
Karelian	150+	FI (100%)	Decrease?	EN
Baltic	~ 900-1400 (5000 with BY and RU)	EE (20%), LV (20%), PL (30%), LT (30%)	Stable	LC
Central European Lowlands	~ 300	DE (40%), PL (60%)	Increase	EN
Carpathians	~ 3500	RO (70%), SK (13%), PL (10%), CZ (0.1%)	Stable	LC
Dinaric-Balkan	4-5000	BG (30%), BO (20%), FYROM (5%), HR (15%), SL (2%), AL (5%), GR (3%), SRB (20%)	Stable	LC
Italian Peninsula	~ 800	IT (100%)	Stable	VU
Alpine	32 packs (> 160)	FR (47%), IT (45%), CH (5%), AT (3%)	Increase	EN
NW Iberia	~ 2500	SP (90%), PO (10%)	Stable	NT
Sierra Morena	1 pack	SP (100%)	Decrease	CR

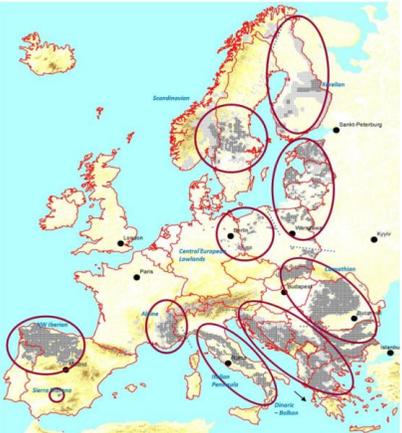


Figura 1 – classificazione delle popolazioni europee di lupo [1].

La stima numerica delle popolazioni di lupo presenta alcune difficoltà legate principalmente a protocolli di monitoraggio spesso non uniformi per tutte le aree di presenza della specie. Il monitoraggio è basato su una varietà di metodi, spesso combinati a seconda dei contesti ecologici locali, del supporto istituzionale e della capacità tecnica: monitoraggio su neve (*snow-tracking*), analisi genetica, telemetria, raccolta di segni di presenza, statistiche sui danni, ululato indotto (*wolf-howling*), tecnica del fototrappolaggio e interviste eseguite sulle diverse categorie sociali. In considerazione di questo, il documento “*Key actions for Large Carnivore populations in Europe*” [1] riporta, dal 2005, un aumento o una stabilità della maggior parte delle popolazioni. Tutte le aree di occupazione delle popolazioni sono aumentate o si presentano stabili, ad eccezione della parte finlandese della popolazione careliana e della popolazione della Sierra Morena nel sud della Spagna. Il documento individua inoltre le minacce più significative (raggruppate in 19 categorie principali) per i lupi in Europa: la scarsa accettazione da parte delle popolazioni locali, la perdita di habitat dovuta allo sviluppo delle infrastrutture, la persecuzione, l’ibridazione con i cani, le cattive strutture di gestione e la mortalità accidentale. Sebbene l’opinione pubblica sia radicalmente cambiata, permangono forti conflitti tra l’uomo ed i grandi carnivori, in particolare per la predazione esercitata sul bestiame. Tali conflitti rappresentano una delle principali minacce per i grandi predatori in molte aree d’Europa.

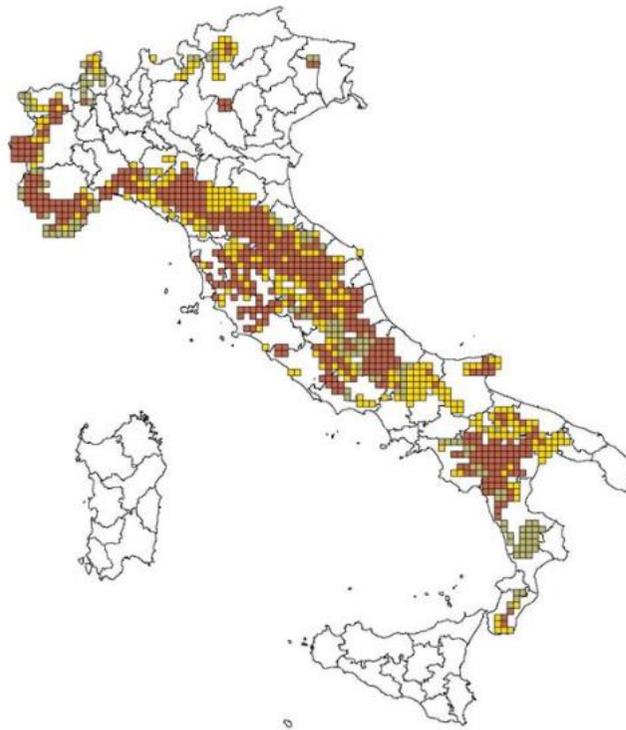
Anche nel contesto italiano l'elevata plasticità ecologica è uno dei principali fattori che ha determinato, dalla fine degli anni '70, un graduale processo di espansione del lupo, a seguito di un incremento demografico della popolazione e della ricolonizzazione di aree dalle quali la specie risultava assente da molto tempo. Le cause principali di questa ripresa sono imputabili a diversi fattori: la grande capacità di dispersione tipica della specie, la riqualificazione ecologica di ampi tratti del settore montano, l'incremento delle popolazioni di ungulati selvatici; il progressivo spopolamento e abbandono delle montagne da parte dell'uomo. Un ruolo fondamentale è stato giocato anche dalla piena protezione giuridica accordata alla specie a partire dal 1971, con la promulgazione del Decreto Ministeriale ("Natali") che tolse il lupo dall'elenco degli animali "nocivi", ne proibì la caccia e vietò l'uso dei bocconi avvelenati.

Il "*Piano di conservazione e gestione del lupo in Italia*" [2], redatto su richiesta del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e dall'Unione Zoologica Italiana con il coinvolgimento di tecnici del settore in campo nazionale (gennaio 2017), individua due componenti della popolazione italiana di lupo (*Canis lupus* Linnaeus 1758), ritenendo che, pur essendo biologicamente connesse, siano significativamente diverse sul piano ecologico e gestionale. Con riferimento al documento comunitario sulle "*Guidelines for population level management plans*" [15], il piano propone la separazione, da un punto di vista gestionale, della popolazione italiana in una popolazione alpina ed una appenninica, al fine di identificare unità che siano più coerenti sul piano della gestione: similitudine di ecosistemi e paesaggi occupati, condizioni ecologiche e relazioni con le attività antropiche. Dal punto di vista zoologico e biogeografico, le due popolazioni sono in continuità, in quanto la popolazione alpina si è originata da quella appenninica per effetto della dispersione della specie.

Il piano definisce inoltre una stima della popolazione alpina e appenninica. Per la popolazione alpina i dati fanno riferimento ai rilievi del progetto LIFE WOLFALPS, raccolti con la combinazione di *snow-tracking*, *wolf-howling* e foto-trappolaggio per tutto l'areale della specie. Sono stati stimati per il 2015, 23 branchi, di cui 4 sono transfrontalieri con la Francia, per un totale di circa 150 individui (la stima assume un valore medio di 4-5 lupi per branco, tiene conto dei lupi solitari e in dispersione e assegna un 50% dei 4 branchi transfrontalieri alla

popolazione italiana delle Alpi). Da tale stima si calcola la densità della popolazione alpina nel suo areale attuale in 0.8-1 lupo/100 Km<sup>2</sup>; questo valore indica una popolazione non in equilibrio e tuttora in fase di colonizzazione/espansione. Per quanto riguarda la popolazione appenninica, non esiste un programma nazionale di censimento del lupo (come già previsto dal Piano d'Azione 2002). In considerazione di questo e dalla combinazione di osservazioni dirette e indici indiretti, esami di genetica non-invasiva, conflitti con la zootecnia e dovute interpolazioni, il piano stima una mediana della popolazione di 1580 animali con i valori compresi tra 1070 e 2472 (interquartili 25-75%). Si osserva come questo dato di stima sia discordante con il numero di circa 800 lupi indicato nel documento "*Key actions for Large Carnivore populations in Europe*" [1]. Ciò richiama l'attenzione sulla necessità di avere protocolli standardizzati di monitoraggio della specie, senza i quali non è possibile avere un quadro generale della situazione del predatore sul territorio nazionale, andando incontro alla perdita di informazioni e riducendo la possibilità di attuare misure di gestione efficaci.

In figura 2 è riportata la rappresentazione cartografica della distribuzione del lupo in Italia ottenuta dalla combinazione e integrazione di dati di varia natura.



*Figura 2. Distribuzione del lupo in Italia nel 2015 (marrone = presenza permanente; giallo = presenza sporadica, verde = dati della distribuzione della specie nel 2012) [2].*

La distribuzione del lupo in Italia ha subito modifiche in relazione al susseguirsi delle diverse epoche storiche. Esso era ampiamente diffuso nell'intera penisola fino alla metà del secolo scorso; negli anni '20 si è estinto nella regione alpina e successivamente in tutto il nord Italia. Nei primi del '900 la specie si è mantenuta nell'Appennino centro meridionale, tra la Romagna e l'Aspromonte, mentre dagli anni '40 risultava estinta in Sicilia; in Sardegna non è mai giunto nella sua forma attuale. Negli anni che seguono il secondo conflitto mondiale, la specie ha subito un'ulteriore drastica riduzione, raggiungendo il suo minimo storico nei primi anni '70, con la scomparsa nell'Appennino tosco-emiliano e la frammentazione in nuclei distinti in quello meridionale. Le cause del declino della specie sono riconducibili a fattori di tipo diretto, ovvero la persecuzione attraverso la caccia da parte dell'uomo e l'impiego massiccio di bocconi avvelenati, incoraggiato per

la lotta ai “nocivi”, oltre a fattori indiretti. I principali fattori indiretti che hanno influito sul declino sono: il randagismo canino (in particolare nel centro e nel sud del paese), con la presenza di cani vaganti, randagi, inselvaticiti in competizione con il lupo per alimentazione, riproduzione e spazio [87]; il disturbo e la distruzione degli habitat causato dalle attività antropiche in alcune aree montane; la scomparsa delle prede naturali a causa della pressione venatoria e della degradazione degli habitat; il conflitto con le attività zootecniche; l'ecologia alimentare del lupo, in quel periodo basata principalmente sulle discariche di rifiuti.

Dalla metà degli anni '70 ad oggi si è assistito alla graduale espansione dell'area di presenza stabile del lupo lungo la catena appenninica. Un primo censimento sulla consistenza del lupo nel territorio italiano, condotto nel 1972 da Boitani e Zimen, stimava la presenza di circa 100 lupi su tutto il territorio nazionale. Negli anni '80 l'area di distribuzione si incrementa del 50% circa con un areale che sembrava estendersi dai monti Sibillini (presunto limite settentrionale dell'areale) alle Marche fino alla Sila in Calabria (presunto limite meridionale) [87]. La distribuzione del lupo in questo areale risultava concentrata in 4 aree principali: la più estesa tra Abruzzo, Molise, Lazio orientale, Umbria e Marche; la seconda tra Lazio settentrionale e Toscana meridionale; la terza tra Campania, Basilicata e Calabria settentrionale; l'ultima nel massiccio della Sila [87]. Nell'Italia settentrionale la presenza della specie viene registrata da Meriggi et al. [16].

In seguito alle eradicazioni avvenute nel corso del secolo scorso, il lupo è stato assente per diversi decenni nella maggior parte del territorio italiano. La sua recente diffusione, oggi, crea problematiche legate alla convivenza tra uomo e predatori nello stesso ambiente, innescando conflitti tra la presenza della specie e le attività produttive della popolazione umana residente. L'assenza del predatore ha permesso l'adozione di pratiche di allevamento del bestiame basate spesso sul pascolo brado o semi brado in assenza di sorveglianza e ha portato all'abbandono degli usuali e sperimentati metodi di prevenzione dei danni all'allevamento del bestiame. Infatti, nelle regioni dell'Appennino centromeridionale, in cui il lupo è sempre stato presente, la prevenzione dalle predazioni è attuata con diversi sistemi (sorveglianza delle greggi o mandrie, ricovero notturno, recinti anti-lupo), mentre nelle aree in cui il predatore è stato per molto tempo assente, la mancata

“coevoluzione” tra modalità di allevamento e presenza del lupo genera forti conflitti. Con l'espansione della presenza del lupo, i danni al bestiame rappresentano senza dubbio uno dei conflitti maggiori, anche in termini economici, con le attività umane. I conflitti tra lupo e attività zootecniche sono il principale elemento limitante la diffusione della specie.

I conflitti tra uomo e predatore si esprimono anche nell'ambito dell'attività venatoria. Infatti, l'incremento delle popolazioni d'ungulati selvatici avvenuto negli ultimi dieci anni, ha creato un marcato interesse dell'attività venatoria per queste specie. Il lupo, predatore di grandi erbivori, è, di conseguenza, percepito come un competitore dell'uomo cacciatore.

Il lupo rappresenta un elemento fondamentale degli ecosistemi naturali e la conservazione di questa specie comporta un beneficio per tutte le altre componenti ambientali ad essa interrelate.

Questo carnivoro necessita infatti di vasti spazi di habitat idonei con abbondanza di prede ed ha inoltre esigenze ecologiche che comprendono anche le esigenze di molte altre specie. La conservazione di popolazioni vitali di lupo costituisce pertanto un contributo importante al mantenimento della biodiversità, anche per l'effetto “ombrello” su altre specie e sull'habitat.

Attualmente il monitoraggio sulla specie si basa principalmente sulla stima della consistenza numerica e sull'analisi genetica finalizzata al reperimento di informazioni sullo stato di salute dei gruppi familiari, sulle abitudini alimentari del carnivoro e sul grado di ibridazione con il cane. Meno frequenti, invece, sono le analisi sul comportamento spaziale, sull'idoneità degli habitat occupati dalla specie e sull'utilizzo delle risorse di un territorio. L'analisi della selezione dell'habitat ad una scala locale può permettere di acquisire informazioni importanti per individuare i fattori ambientali che permettono al lupo di occupare stabilmente alcune zone dell'area di distribuzione [17]. Le analisi inerenti alla selezione dell'habitat ad una scala locale permettono di acquisire informazioni su quali possono essere i fattori o la combinazione dei fattori che permettono alla specie di occupare stabilmente un territorio. La conoscenza dell'habitat di una specie risulta, quindi, importante e necessaria al fine di pianificare misure di gestione capaci di rispondere alle esigenze di conservazione di quella determinata specie, e infine di elaborare soluzioni alle eventuali problematiche generate dalla

condivisione delle risorse e dello spazio di un territorio da parte delle attività umane e della specie stessa.

Per quanto riguarda il lupo, data la sua elevata capacità di adattamento alle differenti condizioni ecologiche, risulta difficile individuare le caratteristiche geomorfologiche, climatiche o vegetazionali che possono definire in maniera univoca l'habitat occupato. Trattandosi di uno dei mammiferi selvatici terrestri più ampiamente distribuito, come dimostra l'ampio areale di distribuzione originario, il lupo sembra non richiedere requisiti ambientali particolari. Invece, sembrano influire sulla sua distribuzione e sull'utilizzo del territorio, una buona disponibilità di prede e la mancanza di fattori di disturbo, i quali possono interagire negativamente con la riproduzione, l'allevamento dei piccoli e le diverse forme di interazione sociale [17]. Tendenzialmente, in Europa come in America settentrionale, sembra che la probabilità di presenza e la densità di popolazione aumentino con l'aumentare dell'abbondanza delle prede e con la copertura forestale, mentre diminuiscono con il disturbo antropico (densità di abitanti, sviluppo della rete viaria, presenza di centri abitati) [17], [21].

Indipendentemente dal metodo utilizzato e dall'area investigata, diversi ricercatori europei e nordamericani hanno definito gli habitat idonei per il lupo quelli con copertura forestale diffusa, con impatto umano basso e disponibilità delle prede selvatiche elevata [17], [18], [22], [27].

Si rileva, inoltre, una preferenza per gli habitat caratterizzati da un sistema multiplo di prede che probabilmente conferisce maggiore stabilità all'ecosistema, limitando forti fluttuazioni nelle prede e nelle densità dei predatori [29]. Inoltre, un sistema multiplo può ridurre la concorrenza uomo-lupo, in quanto la presenza di diverse specie di prede selvatiche può diminuire il fenomeno delle predazioni sul bestiame domestico [30]. Le due ipotesi sono probabilmente sinergiche: un sistema multiplo di prede può fornire un'alimentazione di cibo costante in inverno, mentre la predazione estiva sul bestiame potrebbe diminuire perché l'abbondanza delle prede selvatiche non porta i lupi a cercare prede alternative [18].

La maggior parte degli autori concorda sul fatto che il lupo è una specie generalista nei suoi requisiti di habitat [31], [32]. A causa della mobilità eccezionale della specie, dell'alta percentuale di riproduzione e della bassa specificità dell'habitat, il lupo mostra un elevato livello di resilienza ecologica

rispetto ad altri grandi carnivori [33]. Di conseguenza, la selezione degli habitat del lupo non può essere attribuita solo ai parametri biologici, ma anche ai fattori di disturbo/interazione associati all'uomo [21].

È stato osservato che le popolazioni di lupo reagiscono in maniera diversa ai cambiamenti indotti dall'uomo poiché la specie mostra un comportamento variabile, condizionato in gran parte dalla storia del disturbo [33]. Questo aspetto deve essere preso in considerazione nella valutazione e definizione dei fattori che influenzano i modelli di occupazione dei lupi, e principalmente si richiede cautela nel confronto con altri studi, in particolare quelli svolti in Nord America (come riferimento generale, vedere Mech, 1995). Ogni casistica deve essere considerata nel proprio contesto di riferimento al fine di evitare estrapolazioni che possono essere fuorvianti [21].

In alcune zone questa specie è in grado di persistere a elevate densità umane e ad alti livelli di trasformazione del paesaggio, suggerendo una variazione regionale nella propria attività e nella sensibilità della specie all'uomo [34]. Tali variazioni sono guidate da contesti di interazione locale fra i fattori umani, biologici e ambientali [8], [34], [36]. In paesaggi fortemente antropizzati, la presenza e la persistenza dei grandi carnivori sembra essere regolata da forti interazioni tra fattori che influenzano i tassi riproduttivi, come la disponibilità di cibo [35], e fattori che influenzano la sopravvivenza, come l'attività umana o il contesto ambientale [38]. Tuttavia, l'importanza relativa di queste combinazioni di fattori (talvolta composti da diversi fattori) e le loro interazioni nella determinazione della distribuzione di questi predatori nei paesaggi dominati dall'uomo, rimangono poco compresi [39].

Il lupo, nonostante l'elevata adattabilità, può quindi presentare localmente una selettività nei confronti di determinate caratteristiche ambientali [17] o di determinate combinazioni fra caratteristiche ambientali e antropiche del territorio. L'analisi degli habitat può fornire indicazioni, oltre che sull'aspetto spaziale e sull'ampiezza degli areali occupati, anche sull'aspetto temporale, sulle abitudini e sulle strategie adottate dalla specie all'interno dell'areale. Studi condotti osservano una differenza dell'utilizzo dello spazio in relazione alla stagionalità o alla reperibilità di prede [18]. Secondo lo studio condotto nell'alto Appennino Reggiano [17], il lupo tende ad occupare le porzioni del Parco a quote meno

elevate, evitando aree con prolungato innevamento e temperature rigide, in quanto il persistere della copertura nevosa può ridurre la disponibilità di prede selvatiche che possono spostare la loro attività dove la copertura nevosa non rappresenta un fattore limitante; il lupo tende a seguire lo spostamento delle prede dalle aree ad elevata altitudine verso quelle ad altitudine minore.

Nella definizione dei fattori che determinano la presenza e l'occupazione stabile di un territorio da parte del lupo, si preferisce parlare di habitat ottimali, in cui tutte le variabili che favoriscono la presenza stabile sono rappresentate, e habitat marginali, in cui l'interferenza antropica si traduce in tassi di mortalità che la popolazione non è in grado di sostenere.

Nell'identificazione delle caratteristiche degli habitat occupati dal lupo e nella determinazione della potenziale distribuzione della specie, si pone il problema della scala e della risoluzione di indagine da adottare. In merito a tale questione la letteratura propone analisi su larga scala, evidenziando i vantaggi derivanti dall'utilizzo di tale approccio per la conservazione delle popolazioni [23], [40].

Per le distribuzioni di specie la scala è rilevante e comprende sia la grana che l'estensione. L'estensione di solito riflette lo scopo dell'analisi. Per esempio, gli studi di cambiamento macro-ecologico globale tendono ad essere di tipo continentale a livello mondiale [41], mentre studi che mirano a una comprensione ecologica dettagliata o alla pianificazione della conservazione tendono a raggiungere gli obiettivi locali e regionali [42].

Concettualmente non esiste una singola scala naturale in cui i modelli ecologici dovrebbero essere sviluppati [43]. Piuttosto, la scala appropriata è dettata dagli obiettivi dello studio, dal sistema di indagine e dai dati disponibili. Per esempio, nei sistemi terrestri, a scala più ampia, il clima tende a dominare le distribuzioni a livello globale, mentre per scale di maggior dettaglio (topografiche, da poche a centinaia di chilometri) le caratteristiche biofisiche influenzano maggiormente le variazioni di distribuzione delle specie [44].

In alternativa, la scala può essere considerata dal punto di vista della specie, utilizzando il concetto di ordini di selezione (selezione di micro-siti, *patch*, *home-range*) e concentrandosi sui modi in cui gli animali mobili interagiscono con la disposizione spaziale degli ambienti [45].

Le risoluzioni maggiormente impiegate per analisi ecologiche del lupo proposte sono strettamente connesse con l'*home-range* stimato per la specie, e quindi in forte relazione con il contesto oggetto di analisi. Ciò dovrà prevedere scale di indagine in grado di rappresentare l'ecologia delle differenti sottospecie di lupo. Per le popolazioni di lupo dell'Europa meridionale sono stimati *home-range* che variano da 41 km<sup>2</sup> [46] a 150 km<sup>2</sup> [47], mentre gli autori nordamericani individuano *home-range* per i branchi che variano da 220 km<sup>2</sup> [48] a 638 km<sup>2</sup> [49]; per i lupi solitari vengono definiti *home-range* da 18,9 km<sup>2</sup> a 273 km<sup>2</sup> [50]. Per le popolazioni di lupo dell'Appennino settentrionale, Massolo e Meriggi propongono aree di indagine di 23 km<sup>2</sup>, calcolate in base al 15 – 20 % dell' *home-range* stimato, secondo quanto suggerito da [85] e [51].

Due studi che analizzano le variabili ambientali che influenzano la presenza del lupo, condotte a due scale diverse, riportano risultati simili: Grilo et al. [52], lavorando con una griglia di 2000x2000 m, concludono che l'altitudine e la foresta mista sono positivamente correlate con la presenza del lupo iberico, mentre l'elevata densità del bestiame è correlata negativamente con la presenza del lupo nel fiume Douro meridionale; Llana et al. [34], lavorando a una griglia di 5000x5000 m, concludono che l'altitudine (principale predittore), l'asprezza del territorio e le aree rifugio, determinano fortemente la presenza del lupo iberico, seguito dalla pressione umana e dalla disponibilità di cibo.

Nonostante i vantaggi di utilizzare un approccio su larga scala siano stati ampiamente riconosciuti [23], [40], Cayuela [21] suggerisce un approccio a scala ridotta, ritenendo che si possa adattare meglio ad un mosaico altamente eterogeneo come quello della Spagna settentrionale. Un altro studio, condotto per la Spagna settentrionale e il Portogallo, integra l'approccio a grande scala, con maglie di 2000x2000 m e 10000x10000 m, con uno a scala ridotta, utilizzando maglie 100x100 m, al fine di derivare un'analisi di precisione [53]. Una analisi ad una risoluzione di dettaglio necessita di dati adeguati sia della specie in esame sia del territorio di indagine, altrimenti è chiaramente molto impegnativo derivare un'analisi di precisione [54].

La scelta di scale ridotte per le previsioni dei modelli di distribuzione del lupo, potrebbe non risultare completamente giustificata in considerazione della dimensione dell'*home-range* e delle esigenze spaziali dei lupi. I lupi, infatti, hanno un complesso comportamento e struttura sociale e le loro popolazioni interagiscono a grandi scale spaziali [23], [33]. Di conseguenza, occorre adottare ulteriore cautela e considerare il ruolo di queste interazioni e delle ampie scale a

cui si svolgono, trovando pertanto un compromesso tra la scala spaziale di indagine e le esigenze ecologiche e spaziali della specie.

Gli approcci degli studi che includono i fattori spaziali nella determinazione della presenza del lupo sono diversi. Ad esempio, alcuni autori [55], [56] hanno utilizzato un'analisi di correlazione per definire l'effetto della densità stradale. Mladenoff et al. [23] hanno utilizzato, come Massolo e Meriggi [18] nell'Appennino settentrionale, un approccio di regressione logistico multivariato per elaborare previsioni sull'adeguatezza degli habitat del lupo. Corsi et al. [40] hanno sviluppato un modello su larga scala di distribuzione del lupo in Italia utilizzando l'analisi multivariata. Infine Glenz et al. [20] hanno utilizzato un modello stocastico basato sulla regressione logistica.

Negli ultimi anni si sono moltiplicati gli studi di modellistica ecologica, sviluppati prevalentemente nell'ambito dello studio della distribuzione di specie animali e vegetali (*Species Distribution Models* – SDM). I modelli di distribuzione delle specie (SDM) sono strumenti numerici utilizzati per conoscere e/o per predire la distribuzione della specie in un'area di indagine. Essi combinano osservazioni di presenza o abbondanza delle specie con le caratteristiche ambientali [57], stimando la relazione tra i dati di registrazioni delle specie in un'area e le caratteristiche ambientali e/o spaziali di tali aree [58] e trovano impiego in molti ambiti (biogeografia, biologia della conservazione, ecologia) [57].

Gli SDM, provenienti dai diversi campi di applicazione, mostrano differenze significative nell'approccio di modellistica in relazione alle differenze di mobilità tra le specie. Per le specie sessili, è relativamente facile caratterizzare il loro ambiente, anche includendo l'influenza più ampia del paesaggio (ad esempio, l'acqua che scorre in un sito può essere analizzata utilizzando informazioni topografiche). Al contrario le specie mobili tendono ad utilizzare in modo intermittente le risorse distribuite in maniera diffusa in un ambiente. I modelli per le specie mobili *home-range* non estesi sono spesso elaborati con metodi simili a quelli per gli organismi sessili, attraverso i principali predittori che riassumono le informazioni dall'ambiente più prossimo [59]. Al contrario, i modelli per le specie altamente mobili devono includere descrittori di movimento [60].

Un concetto importante per gli SDM è la distinzione tra lo spazio geografico e quello ambientale. Lo spazio geografico è definito da coordinate di mappa bidimensionali, mentre lo spazio ambientale è potenzialmente multidimensionale, definito da alcuni gruppi di predittori ambientali (figura 3). L'SDM elabora

previsioni basandosi sulle posizioni delle specie in ambito ambientale anziché in quello geografico, ignorando la prossimità geografica delle localizzazioni delle specie.

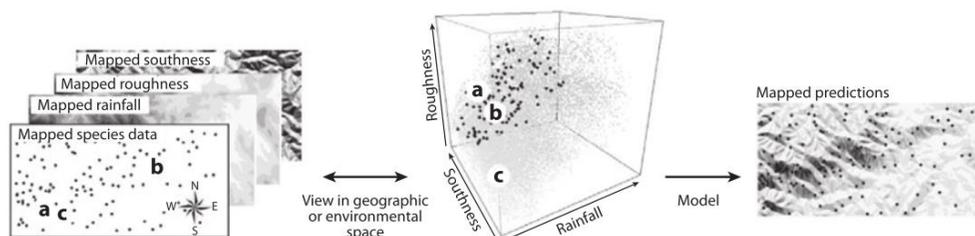


Figura 3. Rappresentazione del rapporto tra i punti di presenza della specie e i dati ambientali (a sinistra), lo spazio ambientale (al centro) e le previsioni di un modello utilizzando solo predittori ambientali (a destra). Si osserva che le distanze inter-siti nello spazio geografico potrebbero essere piuttosto diverse da quelle dello spazio ambientale (a e c sono vicine geograficamente, ma non nello spazio ambientale) [57].

In generale, gli SDM contemporanei combinano concetti legati all'ecologia tradizionale con recenti sviluppi in statistica e tecnologia informatica. La modellistica quantitativa moderna e la mappatura delle distribuzioni di specie sono emerse dalla convergenza di due ambiti di attività paralleli: da un lato, gli studi ecologici hanno beneficiato di nuovi metodi di regressione in grado di fornire trattamenti coerenti per l'errore di distribuzioni di presenza-assenza e dati di abbondanza; dall'altro, parallelamente, i progressi metodologici della geografia fisica hanno fornito nuovi sistemi di informazione, consentendo una robusta e dettagliata preparazione di modelli digitali del terreno, l'interpolazione dei parametri climatici e il rilevamento remoto delle condizioni di superficie in ambito marino e terrestre. Inoltre, lo sviluppo di sistemi avanzati di informazione geografica (GIS) ha fornito importanti strumenti per la memorizzazione e la manipolazione dei dati relativi alle specie e dei dati ambientali, con notevoli guadagni di prestazione.

Negli ultimi due decenni ci sono stati molti sviluppi nel campo della modellistica di distribuzione delle specie e, oggi, sono disponibili numerosi metodi, che si distinguono in relazione al tipo di dati che utilizzano. Nel caso di dati raccolti sistematicamente - ad esempio, in indagini biologiche in cui viene registrata la presenza / assenza o l'abbondanza di specie - i metodi di regressione, familiari alla maggior parte degli ecologisti (ad esempio, modelli generalizzati lineari o additivi, GLM o GAM, o gruppi di alberi di regressione: Random Forest o alberi

di regressione, BRT), sono i più utilizzati. Tuttavia, per la maggior parte delle aree, dati sistematici dell'indagine biologica tendono ad essere scarsi e/o limitati. La necessità di massimizzare l'utilità di tali risorse ha generato una serie di metodi SDM in grado di gestire dati di sola presenza. I dati di presenza sono costituiti da record che descrivono le manifestazioni (presenza) delle specie conosciute. Nonostante i loro limiti, l'uso di tali dati è spesso giustificato dalla mancanza di dati sistematici di indagine, accompagnata da una diffusa richiesta di modelli di previsione. La necessità di gestire dati di sola presenza ha portato allo sviluppo di numerose tecniche in grado confrontare i record di presenza con i punti di background o pseudo-assenza (ad esempio i metodi GARP, ENFA e metodi di regressione). MaxEnt [3] è uno di questi metodi ed è la tecnica utilizzata in questo elaborato.

### 3. METODOLOGIA APPLICATA

#### 3.1 PREMESSA METODOLOGICA

Data la natura estremamente poco specifica della specie rispetto ad habitat caratteristici o definiti [21], il processo metodologico che ha condotto alla elaborazione dei risultati è stato caratterizzato da una indagine che ha preso in considerazione diversi livelli di analisi, seguendo un principio di dettaglio crescente (figura 4).

Come detto in precedenza, le stesse variabili sono state analizzate alle tre risoluzioni di indagine. Per ogni risoluzione sono state testate combinazioni di variabili diverse legate sia alla dimensione di interazione con l'ambiente antropico, sia di carattere naturale come espressione dell'ambiente biofisico del territorio indagato. Per la risoluzione di maggiore dettaglio (250x250 m) è stato ulteriormente aumentato il livello di complessità suddividendo i dati di presenza del lupo, per i tre anni disponibili, in relazione alla stagionalità, all'attività venatoria e al periodo riproduttivo, al fine di valutarne le variazioni di distribuzione in relazione al comportamento temporale della specie.



Figura 4. Schema del processo metodologico utilizzato.

### 3.2 MAXENT

MaxEnt (Maximum Entropy algorithm) è una tecnica di apprendimento automatico basato sul principio di massima entropia [61]. Si tratta di una metodologia generica per la stima di distribuzioni di probabilità a partire da informazioni di base incomplete, adatta a tutte le applicazioni esistenti che coinvolgono *dataset* di presenza (*presence-only data*). Il principio di MaxEnt è quello di stimare una distribuzione di probabilità finale di massima entropia (la più vicina all'uniforme), cercando l'approssimazione che soddisfa una serie di vincoli di tale distribuzione e che massimizza l'entropia della distribuzione risultante [3]. Nell'ambiente di Maxent, lo spazio di riferimento è una mappa suddivisa in un numero finito di celle, la distribuzione elaborata è la probabilità che un esemplare casuale della specie target si verifichi in una determinata cella; i campioni sono record di presenza e le “*features*” sono variabili ambientali o loro funzioni. Quando MaxEnt viene applicato all'elaborazione di distribuzioni di specie a partire da dati di sola presenza, i pixel dell'area di studio costituiscono lo spazio su cui viene definita la distribuzione di probabilità di massima entropia; i pixel che contengono i record di presenza della specie costituiscono i punti di campionamento (*sample points*) e le “*features*” (insieme di covariate) rappresentano le variabili climatiche, di elevazione, categoria di uso del suolo, il tipo di vegetazione o altre variabili ambientali. MaxEnt, utilizzando le informazioni ambientali disponibili per i punti di presenza della specie, confrontate con quelle di punti casuali detti *background* (punti casuali dell'area di indagine), restituisce una distribuzione spaziale dell'idoneità del territorio per la specie stessa.

Il metodo, basato sul principio di massima entropia, individua appunto la distribuzione a entropia massima, ovvero quella che, tenendo conto della natura dei fattori ambientali che caratterizzano sia i punti di presenza sia l'intera area di studio, si avvicina maggiormente ad una distribuzione uniforme [3].

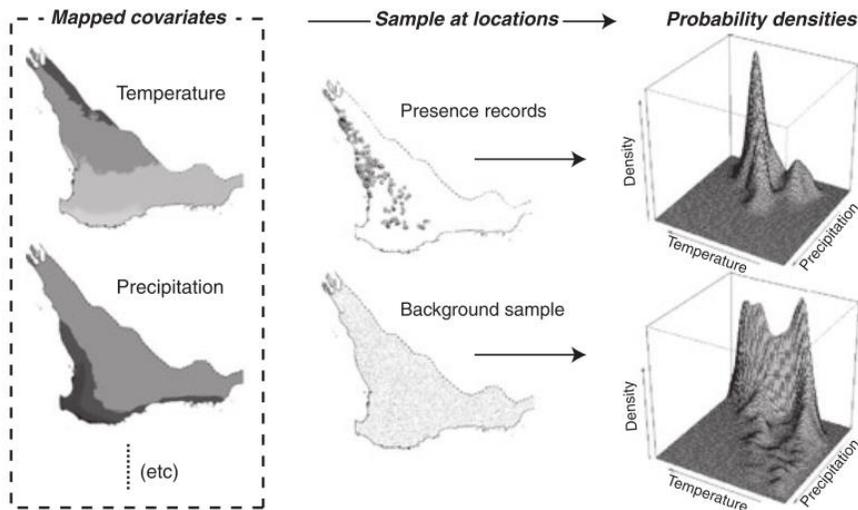


Figura 5. Rappresentazione delle densità di probabilità. Le mappe a sinistra sono due covariate di esempio (temperatura e precipitazione). Al centro sono rappresentate le localizzazioni dei campioni di presenza e di background. A destra le stime di densità mostrano le distribuzioni per i campioni di presenza (in alto a destra) e di fondo (in basso a destra) [62].

Il Principio della Massima Entropia viene enunciato nella seguente definizione: *“In presenza di dati e/o evidenze sperimentali riguardanti un determinato fenomeno fisico-statistico per stimarne la relativa distribuzione di probabilità è sufficiente scegliere un modello che sia consistente con i dati disponibili ma che altrove abbia la massima entropia”*. Tale principio trova applicazione nella mitigazione dei problemi inferenziali basati su dati non completamente noti, a priori viziati da errori di qualche tipo. Massimizzare l'entropia di una distribuzione di probabilità, significa generalizzarne il comportamento statistico su tutto ciò che non è conosciuto a priori. Si massimizza l'incertezza assunta sui parametri del sistema non noti, ottenendo dei modelli basati solo su dati certi.

Maxent offre alcuni vantaggi. Il principale vantaggio è che, a differenza di altri noti modelli predittivi, i modelli basati sul principio della Massima Entropia sono formulati esclusivamente dai dati di sola presenza (*presence-only data*), oltre che dalle informazioni ambientali per l'intera area di studio. Molti autori, infatti, hanno evidenziato come analisi condotte su dati di presenza-assenza possano portare ad una fuorviante valutazione dei parametri ambientali che influiscono sulla distribuzione di una specie [63], [64]. È infatti noto come l'assenza sia, ad

eccezione di alcuni casi, difficile da accertare, soprattutto quando si ha a che fare con specie rare o dal comportamento criptico ed elusivo. Per quanto riguarda la specie lupo, i dati disponibili possono essere limitati temporalmente o non essere disponibili per tutto il territorio indagato. Ad esempio, non è possibile affermare *a priori* che l'assenza di raccolta del segno di presenza del lupo in una zona, sia dovuta al fatto che lì non ci sono le condizioni per l'utilizzo di quello spazio da parte del lupo; potrebbe, infatti, averlo occupato in passato ma senza lasciare segni della sua presenza, oppure potrà utilizzarlo in futuro.

Per questo motivo è necessario massimizzare l'utilità delle informazioni disponibili per i dati di sola presenza, non potendo fare assunzioni riguardo al motivo dell'assenza in una determinata area. Tra i vantaggi si ricorda la possibilità di MaxEnt di utilizzare sia variabili continue che categoriche, di poter includere interazioni tra variabili diverse e la capacità di convergere verso una distribuzione di probabilità ottimale (massima entropia), attraverso algoritmi deterministici efficienti.

La prestazione predittiva di MaxEnt risulta competitiva con i metodi più performanti [65]. È stato utilizzato ampiamente per calcolare le distribuzioni delle specie, attraverso molte applicazioni ecologiche, evolutive e di conservazione.

Per questo lavoro è stato utilizzato l'ultimo release di MaxEnt (3.4.1k).

Il software assegna una probabilità per ogni pixel dell'area di studio con risultati che vanno da 0 a 100, fornendo una mappa che indica il gradiente di probabilità per la distribuzione potenziale della presenza [3]. Pixel con valori prossimi a 100 sono quelli dove è massima la probabilità, mentre le celle con valori vicini allo 0 sono quelle a minor probabilità all'interno dell'area presa in considerazione.

In tutti i casi analizzati, i modelli sono stati elaborati utilizzando l'output di tipo logistico per consentire una riclassificazione binaria (idoneo e non idoneo) del valore continuo di idoneità ambientale fornito da MaxEnt. L'output logistico calcola la probabilità di presenza assumendo che il progetto di campionamento sia tale che località tipiche di presenza abbiano probabilità di presenza di circa 0,5. Questo valore di 0,5 è abbastanza arbitrario e può essere regolato, utilizzando il parametro "prevalenza predefinita". Il parametro di prevalenza pari a 0,5 (come impostato di default dal software) indica il 50% di probabilità di trovare la specie

indagata nel punto in cui sussistono le condizioni ottimali per quella specie. Valori più elevati sono suggeriti per le specie più facilmente “intercettabili”, mentre per le specie dal comportamento più elusivo si utilizzano valori più bassi di prevalenza [66]. Date tali premesse e in considerazione del carattere elusivo della specie lupo, per i modelli di seguito descritti è stato utilizzato il parametro di prevalenza pari a 0,4.

Per la valutazione dell’efficienza dei modelli ottenuti, è stato utilizzato il valore dell’area sotto la curva ROC (Receiver Operating Characteristic) nota come AUC, ampiamente utilizzata per stimare l’accuratezza predittiva dei modelli distributivi derivanti da dati relativi alla presenza-assenza di specie [67].

L’area sotto la curva ROC, AUC, è ampiamente utilizzata per stimare l’accuratezza predittiva dei modelli distributivi derivati dai dati delle specie di presenza-assenza. Poiché l’output delle diverse tecniche di modellazione, che utilizzano i dati binari come variabili dipendenti, produce probabilità continue di presenza (P), dove P e 1 - P rappresentano il grado a cui ciascun caso è membro di uno dei due eventi, si rende necessaria una soglia per predire l’appartenenza alla classe di presenza o di assenza. Così, i casi sopra la soglia vengono classificati come presenze, e i rimanenti casi assenze [67].

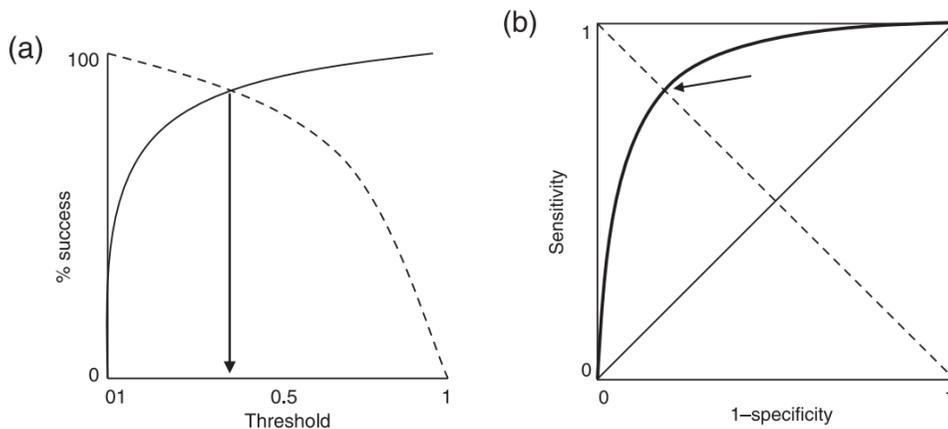


Figura 6. (a) Variazione della percentuale di successo nella predizione delle presenze (linea continua) e delle assenze (linea spezzata) con la variazione della soglia utilizzata per discriminare le due condizioni verificabili da una variabile di probabilità continua. La freccia rappresenta la soglia che minimizza la differenza tra sensibilità e specificità. (b) ROC plot in cui la freccia mostra il punto di soglia [67].

Nello specifico, sottoponendo il modello ad un campione misto di veri positivi (TP) e veri negativi (TN), rispettivamente le presenze e le assenze, il modello risponderà restituendo, oltre la frazione di veri positivi e veri negativi, anche una frazione di falsi positivi e di falsi negativi. La presenza di falsi positivi (FP) e falsi negativi (FN) è dovuta alla natura inferenziale del modello, nel quale la distribuzione di frequenza delle presenze e quella delle assenze, possono non essere nettamente distinte.

Il valore di AUC, che può variare da 0 (modello senza nessuna capacità predittiva) a 1 (modello che prevede esattamente la presenza della specie), indica la qualità del modello stesso. Valori pari a 0.5 indicano un comportamento assolutamente casuale. Valori superiori a 0.6 indicano un modello che nel 40 per cento dei casi effettua previsioni errate. Per la distribuzione di specie si considera 0.75 valore al limite dell'accettabilità di efficacia per le specie animali [67].

Il programma, attraverso il coefficiente di regolazione [68], consente di modulare il rischio di errate valutazioni sull'importanza di alcune variabili e soprattutto sull'esistenza di valori soglia ecologicamente poco coerenti e difficilmente spiegabili. A valori più alti del coefficiente corrispondono relazioni più smussate e più facilmente interpretabili da un punto di vista ecologico. Per l'elaborazione dei modelli nel caso di studio qui presentato, è stato utilizzato un coefficiente di regolarizzazione pari a 2.

Le variabili considerate sono state valutate anche sulla base di due parametri calcolati sul modello: il contributo percentuale e l'importanza di permutazione. Il contributo percentuale è espressione della variazione marginale di una singola covariata. Questo prevede che venga calcolato un modello per ogni singola covariata, considerando le altre *features* bloccate al valore medio registrato nei punti di presenza. La definizione dei valori di contributo percentuale dipende dal percorso specifico utilizzato dal codice MaxEnt per raggiungere la soluzione ottimale e un diverso algoritmo potrebbe arrivare alla stessa soluzione tramite un percorso diverso, determinando valori diversi di contributo percentuale. Inoltre, quando esistono variabili ambientali altamente correlate, i contributi percentuali devono essere interpretati con cautela.

L'importanza di permutazione indica il contributo di ciascuna covariata, determinato dalla permutazione casuale dei valori di questa tra i punti di presenza del fenomeno e quelli di background dell'area indagata, misurando la conseguente variazione nei valori di AUC. Una diminuzione elevata (espressa in termini di perdita percentuale) del valore di AUC indica che il modello dipende fortemente dalle informazioni contenute in quella covariata.

In relazione alle tre risoluzioni di indagine proposte, per l'elaborazione del modello di distribuzione della specie sono stati considerati 72 punti di *background* per la risoluzione 5000x5000 m, 288 per la risoluzione 2500x2500 m e 29000 per quella di maggior dettaglio 250x250 m. Sono state effettuate cinque repliche di calcolo, dove, per ogni replica i punti di presenza che compongono i *dataset* di *train* e di *test* (30% *Random Test percentage*) sono stati ricampionati con il metodo *bootstrap*. Questo ha permesso di evitare che la stima della distribuzione del rischio potesse essere influenzata dall'estrazione casuale di un *dataset* parzialmente rappresentativo.

È stato inoltre eseguito il test di *jackknife* (*Jackknife Repeated Replication - JRR*), un metodo di ricampionamento delle variabili, che consiste nel ricalcolare le stime escludendo dal calcolo una osservazione alla volta e permette di valutare il guadagno, in termini di *performance* del modello. Con questo test il software calcola diversi modelli, per ognuno dei quali ogni variabile viene esclusa, creando il modello con le variabili residue; successivamente viene creato un modello usando ogni variabile da sola.

### 3.3 INQUADRAMENTO DEL PROGETTO

Le elaborazioni di seguito descritte riguardano i dati raccolti all'interno del progetto "*Monitoraggio dei Chiroteri, dell'avifauna nidificante e svernante e del lupo nel territorio della Provincia di Pistoia*". Il progetto è stato realizzato con il contributo della Regione Toscana sul bando 2013 della Misura C.2.2. Az. a) del Piano Regionale Agricolo Forestale (PRAF) - Sostegno alle attività di valorizzazione dell'ambiente e della fauna di interesse regionale. Azione a) iniziative e attività di monitoraggio faunistico di interesse regionale in materia faunistico-venatoria.

Nella Provincia di Pistoia il lupo è stato presente quasi sicuramente fino ai primi del Novecento, per essere successivamente considerato estinto come nel resto dell'Appennino settentrionale. I primi segni di ricomparsa si sono verificati all'inizio degli anni '80: nel 1983 tre lupi vengono uccisi nel corso di una battuta di caccia nell'alto Appennino pistoiese, sul confine con la provincia di Modena; nel 1984 due femmine vengono rinvenute morte, una investita in località Casotti di Cutigliano e l'altra avvelenata a Lizzano Pistoiese. Dagli anni novanta si intensificano le segnalazioni di avvistamenti e il ritrovamento di individui morti.

Il 2014 è stato il primo anno di ricerca sulla specie *Canis Lupus* condotto con specifico progetto nella Provincia di Pistoia.

Tale progetto, oltre al censimento delle specie ed all'acquisizione di informazioni di carattere fenologico, è stato sviluppato con un'ottica di maggiore dettaglio nell'individuazione delle relazioni maggiormente significative fra gli elementi caratteristici del territorio e la presenza di specie e comunità di rilevante interesse faunistico, con le seguenti finalità specifiche:

- colmare le lacune di conoscenza della distribuzione e consistenza numerica di queste specie/gruppi di specie nel territorio in esame;
- supportare il lavoro delle Amministrazioni Pubbliche ai fini dell'elaborazione di strumenti di governo del territorio;
- definire misure gestionali adeguate alla conservazione degli habitat funzionale alle specie oggetto di indagine.

Per quanto riguarda il lupo, si tratta del primo studio finalizzato ed effettuato in modo coordinato sul territorio provinciale, precedentemente mai indagato se non a titolo volontario da esperti del settore. Il progetto di monitoraggio ha i seguenti obiettivi:

- accertare le aree di presenza della specie;
- accertare la presenza di nuclei riproduttivi;
- approfondire le conoscenze sulla genetica della popolazione di lupo creando una banca dati digitalizzata contenente i genotipi degli individui presenti sul territorio e consentendo al contempo di accertare eventuali casi di ibridazione con il cane.
- avviare e standardizzare una serie di attività che dovranno essere ripetute negli anni in modo da poter monitorare la popolazione di lupo a lungo termine nel territorio provinciale.

Il progetto ha avuto inizio nel 2014 ed è terminato alla fine del 2016. L'area di studio, che inizialmente comprendeva le aree forestali appenniniche della Provincia di Pistoia con particolare riferimento al SIC Tre Limentre-Reno (9.360 ettari) e alle Riserve Naturali Statali gestite dal CFS<sup>1</sup> (1.515 ettari complessivi), dal 2015 è stata ampliata a tutto il territorio della Provincia di Pistoia, ovvero a tutte le aree potenzialmente utilizzabili dalla specie e quindi non solo a quelle a carattere marcatamente forestale e di crinale dell'Appennino (figura 7).

---

<sup>1</sup> Riserva Naturale Biogenetica di Acquerino, Riserva Naturale Biogenetica di Abetone, Riserva Naturale Orientata di Campolino e Riserva Naturale Biogenetica di Pian degli Ontani

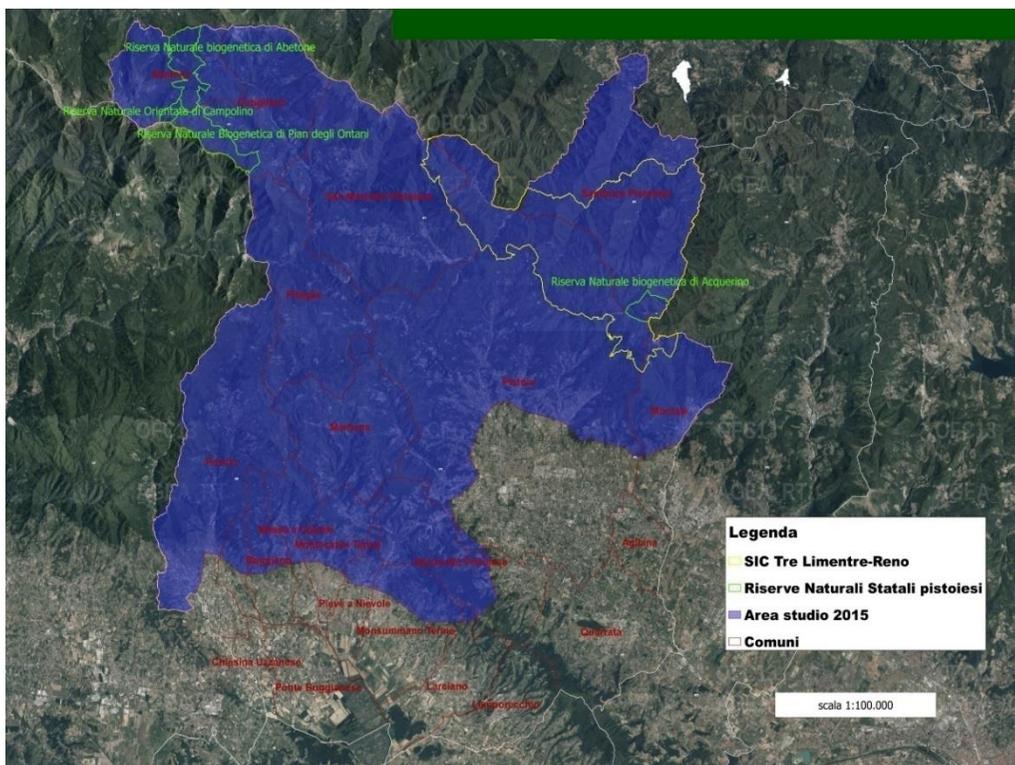


Figura 7. area di studio del progetto di monitoraggio del lupo nella Provincia di Pistoia (fonte: Castanea).

I modelli elaborati prendono in considerazione i dati di presenza della specie lupo, raccolti attraverso metodi indiretti di monitoraggio, che consentono di ottenere informazioni relative alla presenza, distribuzione e abbondanza ricercando i segni specie-specifici di presenza sul territorio, quindi senza interagire direttamente con l'animale.

I segni di presenza nell'area di indagine sono stati rilevati attraverso specifici transetti per il rilievo delle fatte; i transetti sono stati scelti con criterio opportunistico a seguito di una indagine conoscitiva condotta sul territorio di Pistoia per l'individuazione delle potenziali aree di occupazione della specie. Ogni segno di presenza è stato georeferito con GPS e registrato su apposita scheda cartacea. Sono inoltre state registrate su apposita scheda le segnalazioni ritenute attendibili e pervenute da personale d'istituto (agenti del CFS, agenti della Polizia Provinciale).

I segni di presenza considerati sono:

- escrementi, impronte e tracce attribuibili alla specie. I campioni fecali sono stati raccolti, oltre che su transetti appositamente percorsi, anche vicino a resti di pasto e a siti di marcatura accertati e consolidati nel tempo;
- carcasse di animali (sia selvatici che domestici) predati o comunque consumati;
- avvistamenti effettuati da personale direttamente coinvolto nell'attività di monitoraggio;
- pista su neve;
- vocalizzazioni;
- foto e video ottenuti attraverso l'attività di fototrappolaggio.

### **3.4 SCELTA DELLE VARIABILI**

L'elaborazione dei modelli per il territorio di Pistoia è stata condotta attraverso una prima fase di indagine mirata alla discriminazione delle variabili indipendenti da utilizzare. In considerazione dei requisiti ecologici noti per il lupo [23] sono state selezionate le variabili che si ritiene influenzino la distribuzione nello spazio della specie: variabili che definiscono le caratteristiche del territorio in termini di altimetria, uso del suolo, presenza di aree protette, distribuzione delle prede selvatiche; variabili che definiscono l'attività dell'uomo sul territorio, quali la presenza di viabilità e la presenza di centri abitati. La densità umana e il tipo di attività umana che insiste in una determinata area possono essere fattori importanti che determinano il livello e il tipo di pressione umana su una popolazione di lupi [34]. Si tiene a precisare che la natura "ambientale" o "antropica" delle variabili considerate è spesso arbitraria, in quanto anche nelle variabili cosiddette "ambientali" è insita una certa influenza dell'attività antropica. Per esempio, gli usi del suolo, per quanto siano un'espressione delle caratteristiche fisiche dell'ambiente indagato, trovano la loro definizione e limitazione attraverso l'azione dell'uomo sul territorio. Così pure la limitazione di aree a divieto di caccia è espressione di una fase decisionale operata dall'uomo attraverso la definizione di confini stabiliti. Anche per la distribuzione delle prede selvatiche del lupo esiste una influenza antropica principalmente per l'azione che

l'attività venatoria esercita sugli spostamenti di questi animali. L'elenco delle variabili considerate è riportato in tabella 1.

*Tabella 1: elenco delle variabili utilizzate per l'elaborazione dei modelli.*

Variabile utilizzata	Fonte	Tipo di predittore	Tipo di variabile
Copertura del suolo	SIT Regione Toscana	ambientale	categorica
Corine Land Cover Europe (2006)	SIT Regione Emilia Romagna	ambientale	categorica
Elevazione (DEM)	Geoportale nazionale	ambientale	continua
Distanza dalle aree protette	Portale cartografico nazionale	ambientale	continua
Distanza dalle infrastrutture	Iter.net - Regione Toscana	antropica	continua
Prede selvatiche UD	ATC16 - DREAM Italia	ambientale/antropica	continua

Una prima fase relativa alla preparazione ha riguardato l'analisi mirata ad evidenziare eventuali collinearità dirette tra i predittori di tipo ambientale.

La collinearità [69] descrive la situazione in cui, in un modello, due o più covariate, presentano una relazione lineare. In considerazione del fatto che molti approcci statistici utilizzati in ecologia, sono spesso sensibili alla collinearità, l'analisi dei predittori può condurre a stime dei parametri instabili, che inducono di conseguenza a statistiche inferenziali deviate. Possono dunque insorgere problemi connessi alla collinearità. In tutti i fenomeni naturali esiste un certo grado di collinearità tra le variabili predittive, a causa del fatto che spesso la dipendenza lineare tra covariate è intrinseca, ovvero che le variabili collineari sono differenti manifestazioni delle stesse condizioni (ad esempio, le relazioni tra le variabili termiche, quelle pluviometriche e la quota altimetrica).

Per testare le eventuali relazioni di linearità tra le variabili considerate sono stati estratti i valori delle suddette variabili in corrispondenza dei punti di presenza della specie e analizzati attraverso la matrice di varianza/covarianza, e, successivamente alla standardizzazione delle stesse variabili, attraverso il calcolo della matrice di correlazione (tabella 2 e figura 8).

Di seguito si riporta la matrice di varianza/covarianza calcolata per le variabili prese in esame.

Tabella 2

	dem	dist_div_c	ud_ext	dist_infra
dem	156549,2	-302277,1	-226,9	164868,9
dist_div_c	-302277,1	2411038,6	440,6	-120953,1
ud_ext	-226,9	440,6	0,9	-411,9
dist_infra	164868,9	-120953,1	-411,9	535758,9

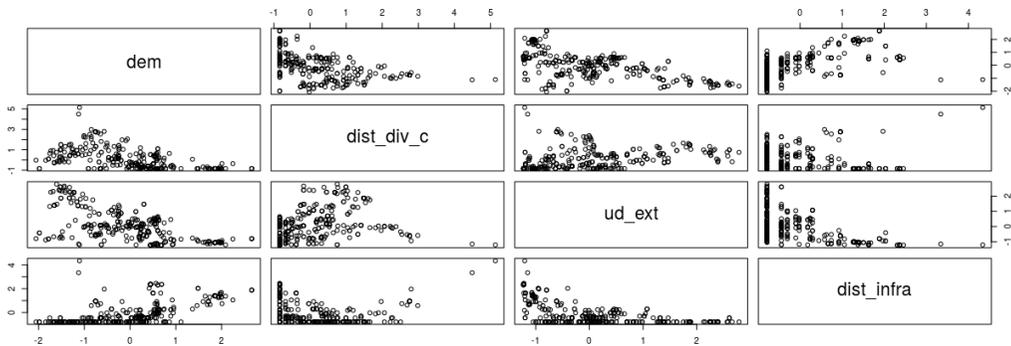


Figura 8

Infine si riporta la matrice di correlazione calcolata sui valori standardizzati delle variabili (tabella 3).

Tabella 3. Matrice di correlazione calcolata su valori standardizzati delle variabili.

	DEM	DIST_DIV_C	UD_EXT	DIST_INFRA
DEM	1,000	-0,492	-0,613	0,569
DIST_DIV_C	-0,492	1,000	0,303	-0,106
UD_EXT	-0,613	0,303	1,000	-0,601
DIST_INFRA	0,569	-0,106	-0,601	1,000

Per quanto riguarda la variabile altitudine, uno studio sull'ideoneità ambientale per il lupo condotto in Valais (Svizzera) mette in relazione l'altitudine minima con la probabilità di presenza, rilevando come, per altitudini sotto 800 - 900 m e superiori a 1800 - 2000 m, l'habitat non risulti idoneo; il primo per la maggiore pressione antropica, il secondo per la carenza di prede per la complessità geomorfologica [20]. La variabile altimetrica è stata ricavata dal modello digitale

di elevazione (DEM) contenuto nel *dataset* del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - Portale cartografico nazionale.

Come evidenziato in letteratura, la copertura del suolo è considerata un probabile indicatore di selezione da parte del lupo in quanto influisce sulla distribuzione delle prede, mostrando, infatti, una preferenza per alcune tipologie di habitat [70]. L'analisi sulla frequentazione dei tipi di habitat nell'alto Appennino Reggiano [17] ha evidenziato un sovrautilizzo delle praterie sommitali e delle radure ed un sottoutilizzo dei boschi misti di latifoglie, delle faggete e dei prato-pascoli. Il report finale dello studio condotto sul lupo iberico [53] osserva che, tra le variabili del paesaggio, sia le aree aperte sia le aree forestali sono importanti per la presenza del lupo, evidenziando l'importanza della complementarità tra i due tipi di aree per soddisfare le esigenze della specie per la caccia e il rifugio.

Per la definizione della variabile "uso del suolo" sono stati utilizzati gli strati informativi della Regione Toscana e della Regione Emilia Romagna: mappa di copertura "Uso e copertura del suolo della Regione Toscana" (*dataset* rilasciato con licenza CC BY 4.0) e mappa "Coperture vettoriali dell'uso del suolo" della regione Emilia Romagna (*dataset* rilasciato con licenza CC BY 2.5). Gli strati informativi originali di copertura sono stati rasterizzati e riclassificati in classi di utilizzo per meglio rappresentare i più significativi per l'habitat del lupo. Il *dataset* toscano classifica 46 tipologie di uso del suolo, quello dell'Emilia Romagna 81, per un totale di 127 classi di copertura. Le classi sono state omogeneizzate per le due regioni e ridotte a 12 tipologie.

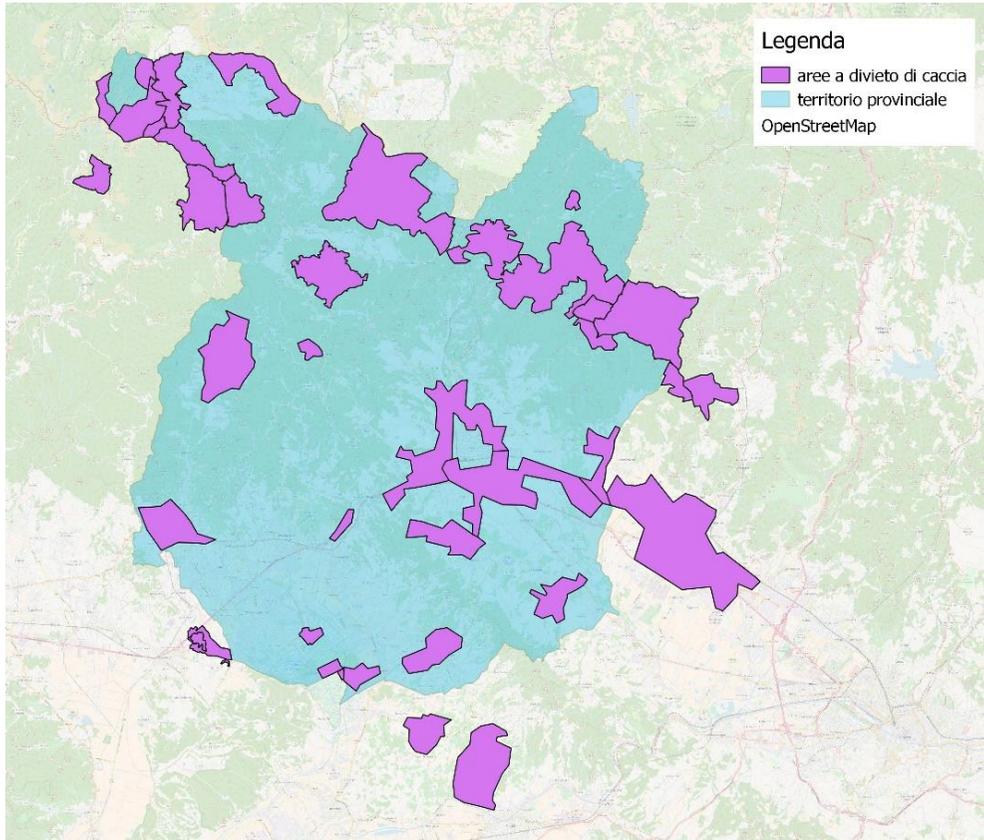
La volontà di includere le aree protette fra le variabili potenzialmente influenzanti la distribuzione del predatore, tiene conto di risultati riscontrati in letteratura circa l'"effetto rifugio" che alcune aree protette rappresentano per gli ungulati selvatici. Uno studio condotto nella provincia di Arezzo (Alpe di Catenaia) ha indagato l'effetto dell'attività venatoria sull'*home-range* dei caprioli e sugli spostamenti verso aree a divieto di caccia. I risultati hanno mostrato che la caccia ha causato un significativo aumento della dimensione dell'*home-range* dei caprioli controllati, nonché il verificarsi di un "effetto rifugio", per cui gli animali hanno utilizzato l'area protetta come rifugio dai cacciatori [71]. Anche per il cervo si riscontra una risposta all'attività venatoria attraverso la modifica del

comportamento spaziale [72], la selezione degli habitat [73] e selezione negativa per aree con attività umana [74].

In merito all'importanza delle aree protette si esprime anche il Piano di conservazione e gestione del lupo in Italia (gennaio 2017), che ritiene particolarmente rilevante per la conservazione del lupo il regime di divieto di caccia nelle aree a protezione, stabilito dalla L. 394/91, nell'ottica di prevenire i possibili conflitti con le attività venatorie e ridurre il rischio di bracconaggio. Il piano sottolinea l'importanza delle aree contigue ai parchi nazionali e alle aree protette regionali, che, attraverso un'attenta regolamentazione delle attività venatorie, possono favorire la presenza di popolazioni di specie preda ed un'efficace repressione del bracconaggio. Inoltre le aree protette possono favorire la tutela e il recupero degli habitat del lupo e delle specie preda, consentendo una gestione più organica ed uniforme del territorio, un'organica pianificazione ed applicazione di misure di prevenzione per la zootecnia, nonché la realizzazione di programmi di monitoraggio e di ricerca coordinati delle popolazioni di lupo.

A seguito di tali considerazioni, sono state inserite nell'analisi le aree protette presenti nel territorio di Pistoia: Riserva Naturale Statale Biogenetica di Acquerino, Riserva Naturale Regionale Acquerino Cantagallo, Riserva Naturale Biogenetica di Abetone, Riserva Naturale Orientata di Campolino e Riserva Naturale Biogenetica di Pian degli Ontani, Riserva Naturale del Padule di Fucecchio, Riserva Naturale Lago di Sibolla. Sono state inoltre incluse tutte le aree ricadenti all'interno del territorio provinciale con divieto di caccia: aree demaniali (divieto di esercizio dell'attività venatoria, "Piano Faunistico Venatorio Provinciale"); aree a divieto di caccia istituite dalla L.R. 12 gennaio 1994, n. 3 "Norme per la protezione della fauna selvatica omeoterma e per il prelievo venatorio", ovvero "zone di protezione" (art.14), "oasi di protezione" (art.15), "zone di ripopolamento e cattura" (art.16) (figura 9).

Gli strati informativi utilizzati appartengono alla banca dati del Portale Cartografico Nazionale (PCN) ed estratti dal portale cartografico toscano Geoscopio.



*Figura 9. Rappresentazione delle aree a divieto di caccia presenti sul territorio di Pistoia.*

La relazione tra il predatore e le attività umane sono oggetto di numerosi studi e analisi, al fine di definire il grado di disturbo esercitato dalle attività antropiche nei confronti della specie, nonché di individuare i possibili conflitti derivanti dalla relazione uomo-lupo. Uno studio condotto in Finlandia riporta una selezione negativa per le aree caratterizzate da disturbo antropico, osservando che i lupi continuano a evitare aree residenziali e non trascorrono tempo nei pressi degli insediamenti umani [75]. Altri studi mostrano invece un possibile utilizzo di aree con un determinato livello di disturbo antropico. Infatti, questa specie è in grado di occupare stabilmente aree caratterizzate da elevate densità umane e ad alti livelli di trasformazione del paesaggio, mostrando una variabilità nella sensibilità alla attività umana, in relazione alle diverse combinazioni di fattori umani, biologici o ambientali che caratterizzano un determinato territorio [34], [36], [67].

In Alaska [77] si osserva l'utilizzo, da parte dei lupi, di strade e altri corridoi lineari come percorsi facilitati in aree con attività limitata dell'uomo, e, come riportato anche da Boitani [39], i lupi possono adattarsi a vivere vicini alle attività umane purché non siano disturbati. Blanco et al. [78] hanno osservato che l'elemento stradale singolo sembra non avere un effetto barriera ai movimenti del lupo, ma che diversi ostacoli (come strade, ferrovie, habitat disturbati ecc.) possono agire sinergicamente e fungere da barriera alla diffusione del lupo. Secondo Ciucci et al. [79], la tattica di sopravvivenza dei lupi in aree in cui l'ambiente è stato alterato dall'attività umana può comportare un processo di adattamento finemente regolato dalle condizioni locali; la posizione e la configurazione dell' *home-range*, l'uso degli habitat, l'attività e i movimenti sono altamente integrati per avere il miglior compromesso funzionale tra la necessità di sfruttare le risorse alimentari principali disponibili e la necessità di evitare qualsiasi forma diretta di disturbo da parte degli esseri umani.

La componente antropica, secondo quanto riportato in letteratura, può essere rappresentata dalle informazioni geografiche relative alla densità abitativa e dalla distanza dalle infrastrutture stradali. In questo caso di studio, vista la scarsa disponibilità di dati censuari ad adeguata scala di dettaglio riguardanti la densità abitativa, è stata utilizzata solo la variabile di distanza delle celle raster dalle infrastrutture, calcolata sulla distanza euclidea dagli elementi stradali e dai civici a tre diverse risoluzioni. I dati sono stati ricavati dall'archivio "Stradario Iter.net - Regione Toscana" (*dataset* rilasciato con licenza CC BY-SA 4.0).

Nei modelli è stata inoltre inclusa la variabile che definisce la disponibilità/presenza di prede selvatiche. Infatti, l'effetto della disponibilità di prede selvatiche sull'utilizzo del territorio da parte del lupo sembra essere rilevante, come riportato per uno studio condotto sull'appennino settentrionale [18], per cui l'abbondanza di ungulati selvatici determina una occupazione stabile dell'habitat da parte dei lupi. Tale effetto si manifesta anche sui movimenti del predatore che tendono a seguire gli ungulati selvatici quando si spostano da habitat ad alta quota a quelli più bassi nei periodi invernali, quando la copertura della neve limita la disponibilità di alimento [80]. Anche in studi condotti in alcuni paesi europei si evidenzia la stessa tendenza; in Svizzera si è osservato che l'indice di densità di ungulati selvatici è la variabile di habitat con l'influenza più

forte sul modello [20]. In Polonia, per le aree in cui l'habitat primario (foreste) risultava scarso, sono stati individuati due habitat secondari (paludi e prati / pascoli) preferiti dai lupi, entrambi biologicamente rilevanti in quanto, nell'Europa dell'est, le paludi naturali ospitano popolazioni fiorenti di alci e quindi sono anche buoni habitat per i lupi [19].

L'incidenza delle prede selvatiche sulla distribuzione potenziale del lupo è stata analizzata attraverso la stima della distribuzione di utilizzo (UD) delle prede selvatiche, a partire dalla banca dati dei censimenti a vista di cinghiale, cervo, capriolo e daino, fornita dal Comitato di Gestione Ambito Territoriale di Caccia di Pistoia e da DREAM Italia.

In merito alle risoluzioni impiegate per l'analisi, la letteratura propone, per la specie lupo, scale di indagine pari al 15 – 20 % dell'*home-range* stimato [51]. Per le popolazioni di lupo dell'Europa meridionale sono stimati *home-range* che variano da 41 km<sup>2</sup> a 150 km<sup>2</sup> [47], per cui le risoluzioni di indagine più impiegate possono variare da 5000x5000 m a 10000x10000 m. Anche se i vantaggi di utilizzare un approccio su larga scala alla conservazione delle popolazioni del lupo sono state ampiamente riconosciute [23], [40], uno studio sviluppato per la Spagna e il Portogallo, suggerisce un approccio a scala ridotta, che meglio si adatta ad un mosaico paesaggistico altamente eterogeneo come quello della Spagna settentrionale, al fine di derivare un'analisi di precisione [53].

Per evitare errori di interpretazione dei risultati dei modelli di probabilità di distribuzione dei lupi, sono state utilizzate tre diverse risoluzioni spaziali: 5000x5000 m; 2500 m x 2500 m; 250 m x 250 m. Quest'ultima, di maggiore dettaglio, è mirata ad approfondire l'analisi a livello microzonale col fine di rispondere in maniera più accurata alla disomogeneità di un territorio come quello appenninico. Si ritiene, infatti che per l'area in esame, analisi condotte a risoluzioni inferiori potrebbero condurre a considerazioni imprecise e che male si adattano al territorio considerato.

### 3.5 PREPARAZIONE DEI DATI IN INPUT

Tutte le elaborazioni di seguito riportate sono state condotte in ambiente GIS.

I punti di presenza del lupo (figura 10), ricavati dalla banca dati fornita dalla Società Cooperativa Castanea, responsabile del monitoraggio del lupo nell'ambito del progetto “*Monitoraggio dei chiroteri, dell'avifauna nidificante e svernante e del lupo nel territorio della Provincia di Pistoia*”, sono stati registrati nel periodo di tre anni (dal 2014 al 2016), per un totale di 350 punti confermati, forniti in formato vettoriale nel sistema di riferimento Roma40 Gauss-Boaga orientato a Monte Mario (EPSG: 3003). La tipologia dei segni di presenza rilevati è riportata in tabella 4:

Tabella 4. Tipologia di punti di presenza analizzati.

Tipologia	n°
<i>Escrementi fecali</i>	182
<i>Avvistamenti di lupo</i>	8
<i>Carcasse di lupo</i>	2
<i>Eventi di ripresa con fototrappola (video/foto)</i>	70
<i>Predazioni su ungulati selvatici</i>	36
<i>Eventi di Risposta durante le sessioni di wolf-howling.</i>	21

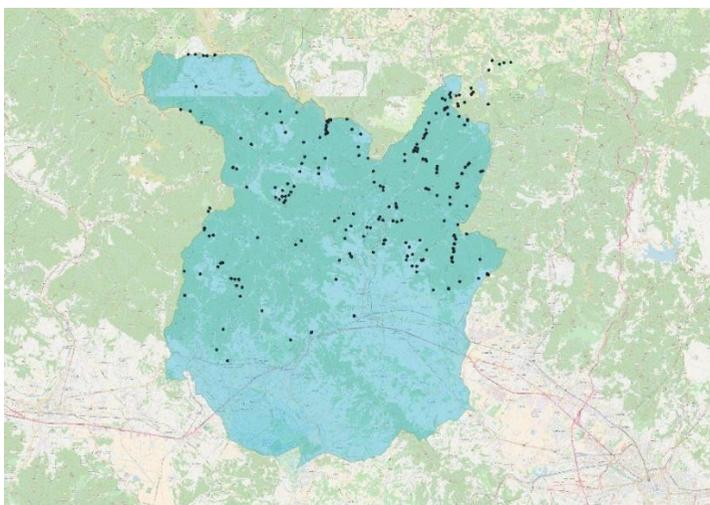


Figura 10. I punti in nero rappresentano la localizzazione dei punti di presenza del lupo raccolti nell'ambito del progetto di monitoraggio del lupo nella provincia di Pistoia.

Per ogni punto di presenza sono state registrate le informazioni relative alla data di rilievo e le coordinate geografiche del punto. Una prima fase di preparazione ha riguardato la normalizzazione del database con le caratteristiche standard richieste dal software MaxEnt. Al fine di indagare le eventuali differenze nell'utilizzo del territorio in relazione all'anno, alla stagione, all'impatto dell'attività venatoria e al ciclo riproduttivo della specie, il *dataset* è stato suddiviso come segue:

- Per anno: 2014 - 2015 - 2016
- Per stagione: primavera (marzo – aprile – maggio); estate (giugno – luglio – agosto); autunno (settembre – ottobre – novembre); inverno (dicembre – gennaio – febbraio);
- Per stagione riproduttiva: periodo caratterizzato dalla presenza dei cuccioli (da maggio a ottobre);
- Per stagione venatoria: periodo venatorio (da ottobre a gennaio); periodo non venatorio (da febbraio a settembre).

### **3.6 VARIABILI**

Le variabili indipendenti sono state ricampionate per omogeneizzare le risoluzioni spaziali dei dati. I raster prodotti sono in formato ASCII grid, con le seguenti caratteristiche in relazione alla risoluzione considerata:

- Risoluzione 5000x5000 m; dimensione 8X x 9Y (72 n. celle totali)
- Risoluzione 2500x2500 m; dimensione 16X x 18Y (288 n. celle totali)
- Risoluzione 250x250 m; dimensione 161X x 181Y (29141 n. celle totali)

#### **Variabile “Uso del suolo”**

Gli strati informativi di copertura del suolo, classificati a livello regionale secondo le specifiche tecniche del Corine Land Cover (CLC, 2006), sono stati rasterizzati e riclassificati in classi di utilizzo in relazione alla maggiore significatività per l'habitat del lupo, nonché per uniformare gli strati relativi alle due regioni (Toscana ed Emilia Romagna). Il sistema di classificazione è stato realizzato mantenendo un livello di dettaglio maggiore (III livello) per alcune tipologie di

copertura del suolo, mentre per classi di uso omogenee si è ritenuto opportuno un raggruppamento con un livello di dettaglio minore (I e II livello).

Per le risoluzioni 5000x5000 m e 2500x2500 m, vista l'ampiezza delle celle, si è ritenuto opportuno il calcolo della percentuale di usi per ogni cella, attraverso la creazione di un raster per ogni codice di uso (in figura 11 sono riportati solo i raster per l'uso "agricolo"). Per la risoluzione 250x250 m, è stato calcolato un solo raster, con celle che contengono l'informazione di uso del suolo (un codice uso per ogni cella) (figura 11). Le categorie di uso del suolo considerate sono riepilogate in tabella 5.

Tabella 5. Categorie di uso del suolo riclassificate e utilizzate per l'analisi.

<b>CODICE CLC</b>	<b>DESCRIZIONE</b>
<b>1</b>	Urbano
<b>2</b>	Aree agricole
<b>4</b>	Zone umide
<b>32</b>	Cespuglieti
<b>33</b>	Aree a vegetazione scarsa
<b>231</b>	Prati stabili
<b>311</b>	Boschi di latifoglie
<b>312</b>	Boschi di conifere
<b>313</b>	Boschi misti
<b>321</b>	Pascoli naturali
<b>511</b>	Fiumi
<b>12</b>	Specchi d'acqua

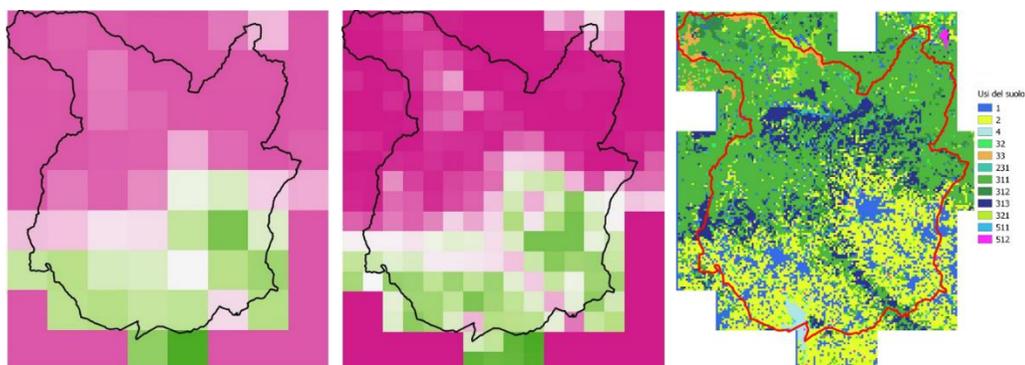
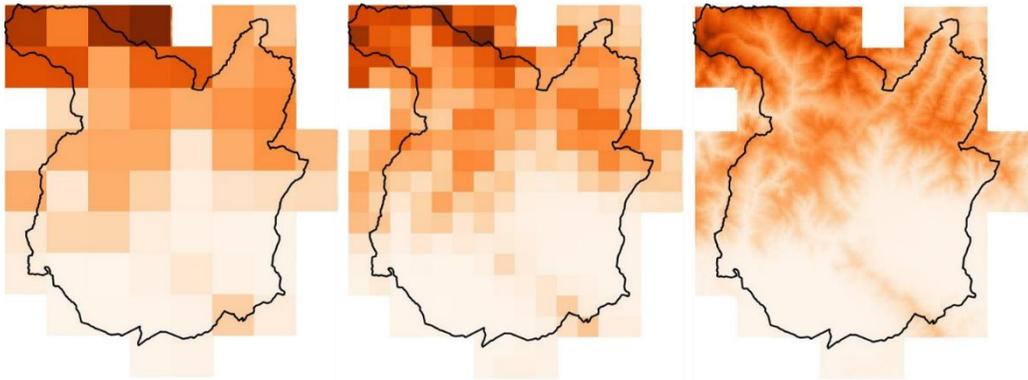


Figura 11. Raster uso "agricolo" 5000x5000 m e 2500x2500 m. Raster usi 250x250 m

### **Variabile “Altitudine”**

Per la variabile altimetrica sono stati prodotti tre raster informativi per le tre risoluzioni di indagine, contenenti un valore medio di altitudine (figura 12) per ogni cella.



*Figura 12. Raster per la variabile altitudinale per le tre risoluzioni: 5000x5000 m (a sinistra), 2500x2500 m (al centro), 250x250 m (a destra).*

### **Variabile “Distanza dalle Aree a divieto di caccia”**

Per valutare l’effetto della prossimità delle aree a divieto di caccia sulla potenziale distribuzione del predatore nel territorio indagato, è stato calcolato un raster di distanza dai confini di queste aree, che presenta valori nulli per le celle ricadenti all’interno dei confini e un gradiente di valori crescenti all’allontanarsi dai confini. Sono stati quindi prodotti tre raster per le tre risoluzioni di indagine (figura 13).

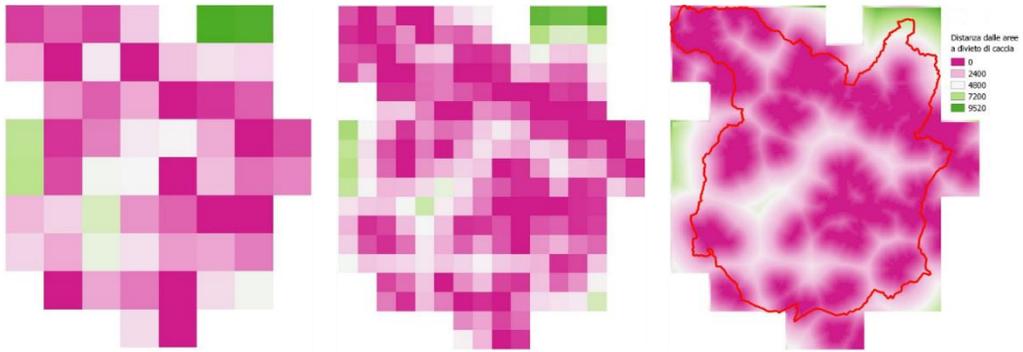


Figura 13. Raster di distanza dalle aree a divieto di caccia per le tre risoluzioni: 5000x5000 m (a sinistra), 2500x2500 m (al centro), 250x250 m (a destra).

### **Variabile “Distanza dalle Infrastrutture”**

L’attività antropica è stata considerata in termini di distanza dalle infrastrutture, attraverso l’unione del vettore “strade” ed il vettore “civici”, producendo un raster con un gradiente di valori crescenti per celle più distanti dalle infrastrutture considerate (figura 14).

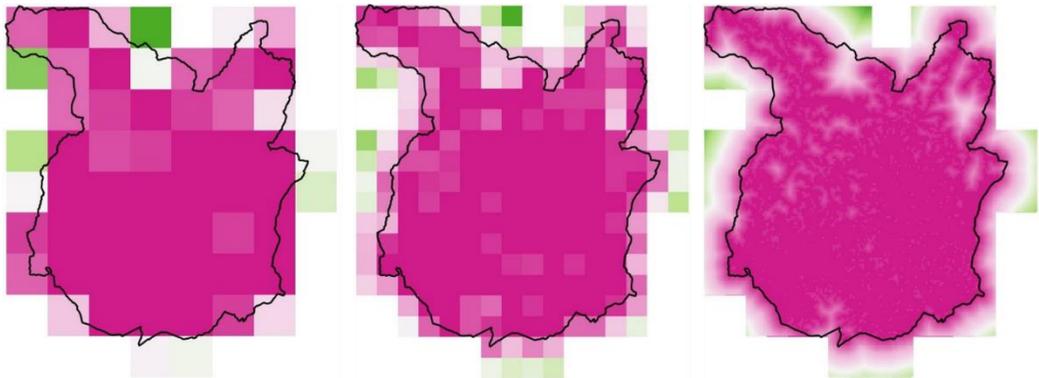


Figura 14. Raster di distanza dalle infrastrutture per le tre risoluzioni: 5000x5000 m (a sinistra), 2500x2500 m (al centro), 250x250 m (a destra).

### Variabile “Distribuzione di Utilizzazione (UD) prede selvatiche”

Per quanto riguarda gli ungulati selvatici, il *dataset* fornito dall’ATC16 contiene informazioni riguardanti i censimenti a vista effettuati sul territorio provinciale dal 2011 al 2016, delle seguenti specie: capriolo, cinghiale, daino e cervo. Data la natura del database fornitoci, non è stato possibile differenziare i punti di avvistamento per ogni specie censita, quindi sono stati considerati nella loro totalità.

La variabile relativa alla risorsa trofica è stata definita attraverso una distribuzione di utilizzazione (UD) (figura 15) ottenuta dai punti dei censimenti a vista, attraverso la definizione dell’*home-range* e della core-area delle prede. La distribuzione di utilizzazione [81] definisce l'uso dello spazio da parte degli animali attraverso una funzione di densità di probabilità bivariata, l'UD, che fornisce la densità di probabilità di localizzare l'animale in un qualsiasi punto (definito da una coppia di coordinate x, y) di questo luogo. L’UD è stata stimata con il metodo Kernel [82] attraverso il pacchetto per il programma R, *adehabitatHR* [83], specializzato per la stima degli *home-range*. La *Kernel Analysis* (KA), letteralmente analisi del nocciolo, consente la conversione di una distribuzione discontinua di punti (segni di presenza della specie) in una distribuzione continua, definendo aree a valori di densità differente.

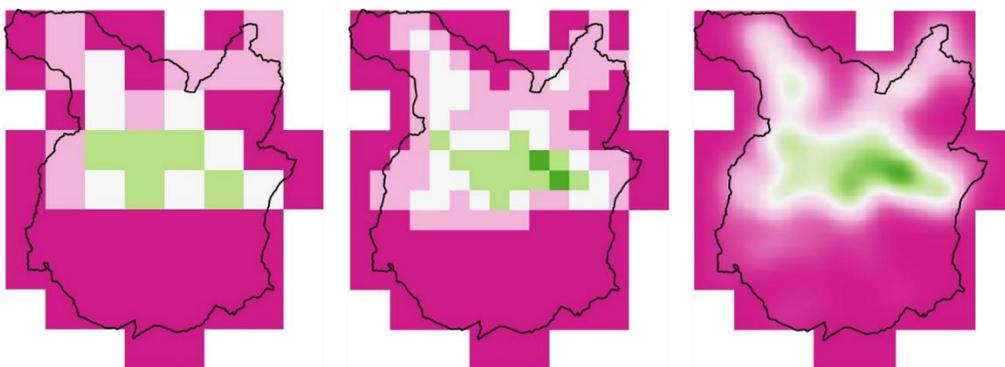


Figura 15. Rater informativo della distribuzione di utilizzo (UD) delle prede per le tre risoluzioni: 5000x5000 m (a sinistra), 2500x2500 m (al centro), 250x250 m (a destra).

## 4 RISULTATI DELL'APPLICAZIONE DEI MODELLI

Al fine di indagare il fenomeno di distribuzione della specie nella Provincia di Pistoia, sono stati elaborati modelli in relazione alle tre risoluzioni scelte, alle diverse combinazioni di variabili prese in esame e alla suddivisione dei punti di presenza del lupo nei vari periodi dell'anno. L'elaborazione dei modelli alle risoluzioni inferiori (5000x5000 m e 2500x2500 m) sono state condotte con la collaborazione del Laboratorio di Eco-etologia del Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente (Università di Pavia).

Per tutti i modelli di seguito riportati sono state utilizzate le seguenti impostazioni di MaxEnt (tabella 6).

*Tabella 6. Parametri utilizzati nei modelli di distribuzione del lupo.*

<b>PARAMETRO</b>	<b>VALORE</b>
Random test	30 %
Fattore di regolarizzazione	2
Repliche	5
Replicated run type	bootstrap
Default prevalence	0,4

### 4.1 MODELLI DI MASSIMA ENTROPIA (5000 X 5000 m)

Un primo livello di analisi è stato realizzato con una risoluzione di indagine di 5000x5000 metri, dimensione del raster 8X x 9Y (72 n. celle totali). Data la dimensione dei raster di input sono stati utilizzati 72 punti di background per l'elaborazione dei modelli. A questa risoluzione sono stati elaborati e messi a confronto due modelli. Uno (modello 5A) che prende in considerazione solo le variabili di tipo ambientale disponibili per l'area in esame: uso del suolo, altitudine e risorsa trofica. L'altro (modello 5B), oltre alle variabili ambientali, considera anche le variabili antropiche, viabilità, civici, distanza dalle aree a divieto di caccia, allo scopo di aggiungere qualità informative che possano spiegare meglio il modello di distribuzione. Per quanto riguarda i dati di presenza

della specie lupo, sono stati considerati tutti i punti di presenza per i tre anni di dati disponibili (2014, 2015, 2016).

Il confronto dei valori di AUC (tabella 7 e figura 16) esprime un aumento passando dal modello 5A con AUC pari a 0,781 al modello 5B con AUC di 0,791. Si osserva, quindi, una maggiore efficacia per il modello che include nell'analisi di distribuzione anche le variabili antropiche. Le mappe di idoneità elaborate dal software a questa risoluzione evidenziano, per entrambi i modelli, una distribuzione potenziale su tutta l'area centrale e settentrionale del territorio in esame. Dalle tabelle dei contributi delle variabili al modello (figura 18) si osserva la predominanza delle variabili legate all'altitudine e alla distribuzione delle prede; il modello 5B mostra il più elevato contributo percentuale per i boschi di latifoglie. Dall'analisi del grafico *jackknife* le variabili che pesano maggiormente su l'efficacia del modello 5A sono il dem e gli usi del suolo "agricolo", "boschi di latifoglie" e "urbano". Per il modello 5B le variabili che contribuiscono maggiormente all'efficacia sono "UD prede", "boschi di conifere" e "dem". Le mappe (figura 17) mostrano una idoneità per tutta l'area centrale e settentrionale della Provincia.

Tabella 7. Valori di AUC per il modello con le sole variabili ambientali (5A) e per il modello con tutte le variabili (5B)

	Modello 5A	Modello 5B
AUC	0.781	0.791

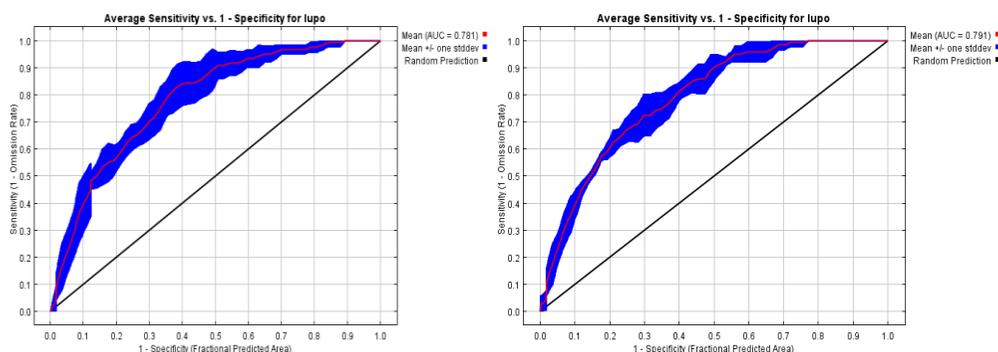


Figura 16. Curva ROC delle performance medie delle cinque reiterazioni per il modello 5A (a sinistra) e per il modello 5B (a destra.)

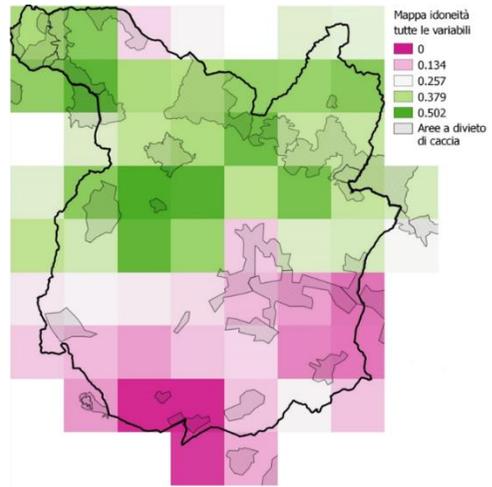
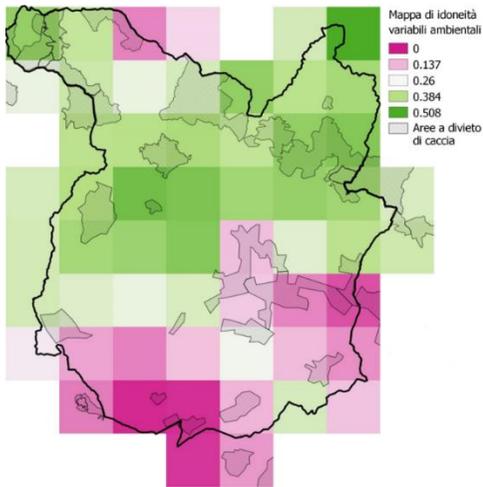


Figura 17. Mappe di idoneità elaborate per il modello 5A (a sinistra) e per il modello 5B (a destra).

Variable	Percent contribution	Permutation importance
dem	28.2	24
prede_50	26.5	16.4
agricolo	11.6	15.5
zone umide	7.9	11.9
b_latifoglie	5.8	0.3
b_misti	4.7	1.2
pascoli	4.1	7.3
veg scarsa	3.1	3.2
fiumi	3.1	3.7
bacini	2.7	0.9
urbano	1.7	9.4
prati stabili	0.4	0.7
b_conifere	0.2	5.4
cespuglieti	0	0

Variable	Percent contribution	Permutation importance
b_latifoglie	24.8	0.1
prede_50	11.8	8
dem	9.5	1.2
fiumi	7.7	4.6
pascoli	7.5	14.6
urbano	6.8	21.9
bacini	6.2	5.1
dist div caccia	6	5.1
agricolo	5.8	12
zone umide	5.3	5.7
b_misti	4.1	5.3
b_conifere	2.1	5.4
dist infr	1.6	4.9
veg scarsa	0.5	3.6
prati stabili	0.2	0.1
cespuglieti	0.2	2.4

Figura 18. Contributo percentuale (CP) e importanza di permutazione percentuale (IPP) delle variabili del modello 5A (a sinistra) e del modello 5B (a destra).

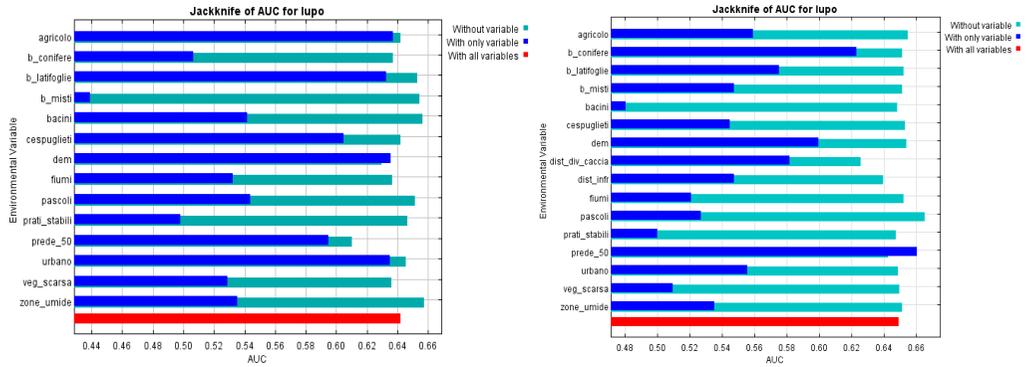


Figura 19. Rappresentazione grafica di JRR applicato al modello 5A (sinistra) e al modello 5B (destra). In blu sono riportati i valori di AUC registrati per modelli che considerano una sola variabile alla volta; in verde sono riportati i valori di AUC per i modelli che considerano l'intero set di variabili meno quella in ordinata.

## 4.2 MODELLI DI MASSIMA ENTROPIA (2500 X 2500 m)

Di seguito si riportano i modelli elaborati a risoluzione 2500x2500 m, dimensione dei raster 16X x 18Y (288 n. celle totali). Data la dimensione dei raster di input sono stati utilizzati 288 punti di background. Anche per questa risoluzione si riportano due modelli a confronto: modello 2.5A elaborato con le variabili ambientali; modello 2.5B calcolato con tutte le variabili prese in considerazione. I dati di presenza del lupo sono stati utilizzati nella loro totalità.

Anche per questa risoluzione si osserva un aumento dell'efficacia passando da un modello a minore complessità (2.5A), che registra un valore di AUC pari a 0.783, ad uno di complessità superiore (2.5B) con AUC pari a 0.805. Inoltre, si evidenzia un aumento dei valori di AUC registrati per il modello con una risoluzione di maggiore dettaglio (2500 x 2500 m) rispetto al modello con risoluzione 5000 x 5000 m, come riportato in tabella 8.

Le mappe di idoneità elaborate dal software a questa risoluzione evidenziano, per entrambi i modelli, una idoneità per tutta l'area centrale e settentrionale del territorio in esame (figura 20).

Dalle tabelle dei contributi delle variabili al modello (figura 21) si osserva la predominanza delle variabili legate alla distribuzione delle prede, all'altitudine e ai boschi di latifoglie, confermata anche dal grafico *jaccknife* (figura 22).

*Tabella 8. Confronto fra i valori di AUC per le i modelli elaborati con risoluzione 5000x5000 m (5A e 5B) e con risoluzione 2500x2500 m (2,5A e 2,5B).*

Modello	5A	5B	2.5A	2.5B
AUC	0.781	0.791	0.783	0.805

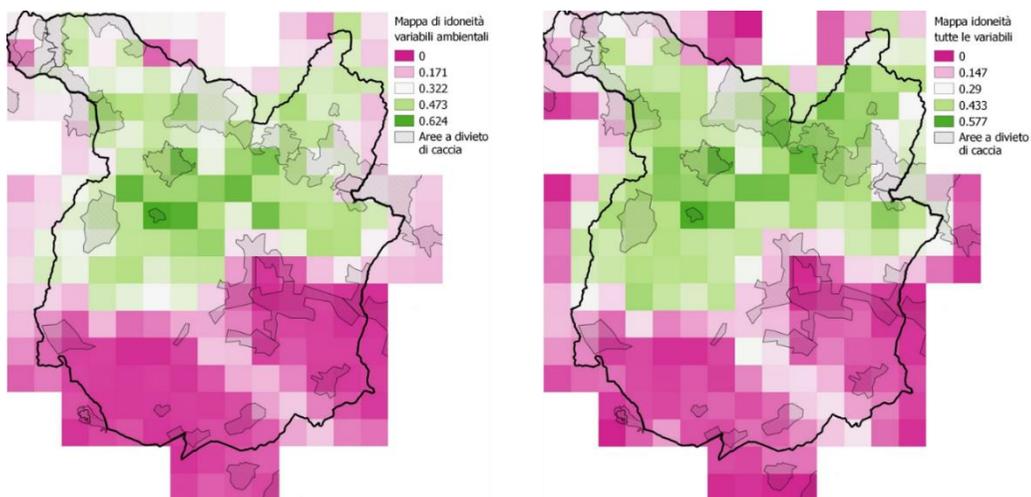


Figura 20. Mappe di idoneità elaborate per il modello 2,5A (a sinistra) e per il modello 2,5B (a destra).

Variable	Percent contribution	Permutation importance
prede_25	39.5	28.4
b_latifoglie	21.9	18
dem	18.7	9
b_misti	4.9	4.2
urbano	4	9.8
fiumi	2.7	6.8
arbusteti	2.1	4.8
agricolo	1.8	1.1
b_conifere	1.3	4.2
prati_stabili	1.1	0.9
pascoli	1	4.4
veg_scarsa	0.5	6.1
bacini	0.4	0.9
z_umide	0.1	1.4

Variable	Percent contribution	Permutation importance
prede_25	37.2	13.9
dem	21.6	5.7
dist_infras	9	26.7
b_latifoglie	8	6.3
b_misti	4.9	3.5
agricolo	4.7	3.7
urbano	3.5	18.8
bacini	3.3	3.6
b_conifere	2.2	8.3
prati_stabili	1.3	1.7
dist_div_caccia	1.1	1.2
pascoli	1.1	1.5
veg_scarsa	1	1.7
arbusteti	0.7	1.1
fiumi	0.2	1.7
z_umide	0.2	0.5

Figura 21. Contributo percentuale (CP) e importanza di permutazione percentuale (IPP) delle variabili del modello 2,5A (a sinistra) e del modello 2,5B (a destra).

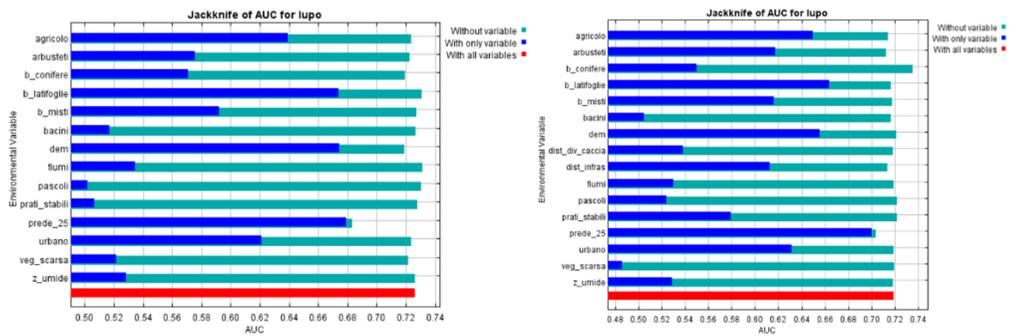


Figura 22. Rappresentazione grafica di JRR applicato al modello 2,5A (sinistra) e al modello 2,5B (destra). In blu sono riportati i valori di AUC registrati per modelli che considerano una sola variabile alla volta; in verde sono riportati i valori di AUC per i modelli che considerano l'intero set di variabili meno quella in ordinata.

### 4.3 MODELLI DI MASSIMA ENTROPIA (250 X 250 m)

#### Modello A e B

Gli strati informativi per questa analisi sono stati prodotti alla risoluzione di 250x250 m, per una dimensione di 161X x 181Y (29141 n. celle totali). Data la risoluzione dei raster di input sono stati utilizzati 29000 punti di background.

Per quanto riguarda le variabili potenzialmente influenzanti, sono stati elaborati e messi a confronto due primi modelli: il modello A, che prende in considerazione solo le variabili di tipo ambientale disponibili per l'area in esame (uso del suolo e altitudine) e il modello B che, oltre alle variabili ambientali, considera anche le variabili antropiche, quali viabilità e civici, al fine di aggiungere qualità informative che possano delineare meglio il modello di distribuzione. Per quanto riguarda i dati di presenza della specie lupo, sono stati considerati tutti i punti di presenza per tutti e tre gli anni in esame (2014, 2015, 2016).

Il confronto dei valori di AUC (figura 23) esprime un aumento passando dal modello A con AUC pari a 0,749, valore al limite dell'accettabilità di efficacia per le specie animali [84], al modello B con AUC di 0,796. Si osserva, quindi, una maggiore efficacia per il modello che include nell'analisi di distribuzione anche le variabili antropiche.

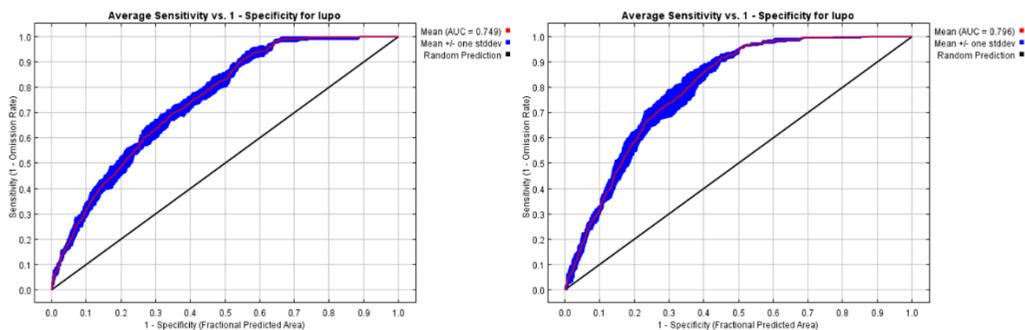


Figura 23. Curva ROC delle performance medie delle cinque reiterazioni per il modello A (a sinistra) e per il modello B (a destra.)

La variabile con maggior peso, esprimendo il più alto valore di contributo percentuale (CP) e di importanza di permutazione (IP), è la variabile altitudinale per entrambi i modelli (tabella 9 e 10).

L'analisi delle curve marginali di risposta di questa variabile (curve che indicano la variazione della probabilità di distribuzione al variare di una variabile mantenendo tutte le altre al loro valore medio) evidenzia che la distribuzione probabilistica non casuale (>50%) si ha al di sopra dei 1.700 m s.l.m. per il modello A e al di sopra dei 1.500 m s.l.m. per il modello B (figura 24). Tale informazione è però in contrasto con le caratteristiche del territorio, nel quale quote superiori a 1.500 m s.l.m. si riscontrano soltanto in limitate porzioni situate in corrispondenza della parte nord-ovest dell'Appennino (figura 25 e 26). Inoltre, l'informazione derivata dal modello contrasta con quanto rilevato durante il progetto di monitoraggio, per cui sono stati registrati segni di presenza soprattutto alle quote più basse.

*Tabella 9. Contributo percentuale (CP) e importanza di permutazione percentuale (IPP) delle variabili del modello A.*

<b>Modello A Variabile</b>	<b>Contributo percentuale</b>	<b>Importanza di permutazione</b>
DEM	86.7	83.4
Usi	13.3	16.6

*Tabella 10. Contributo percentuale (CP) e importanza di permutazione percentuale (IPP) delle variabili del modello B.*

<b>Modello B Variabile</b>	<b>Contributo percentuale</b>	<b>Importanza di permutazione</b>
DEM	73	63.8
Dist_infrastrutture	16.4	24.7
Usi	7	7.2
Dist_div_caccia	3.5	4.3

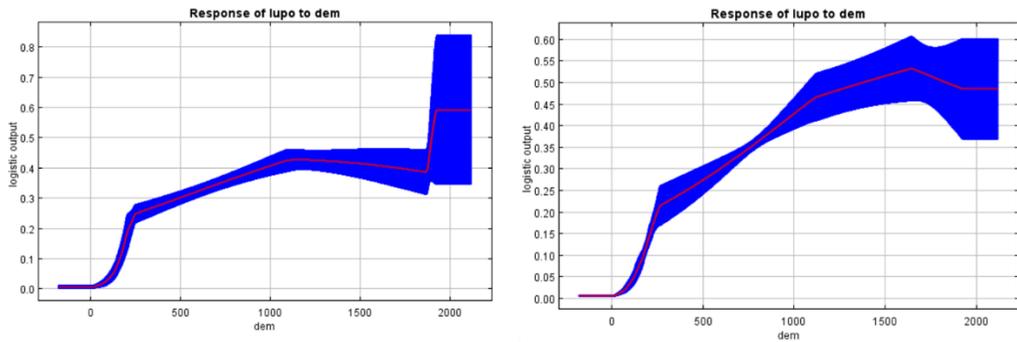


Figura 24. Probabilità di distribuzione della specie in relazione alla variabile altitudinale (*dem*). Curve di risposta marginale per il modello A (sinistra) e per il modello B (destra).

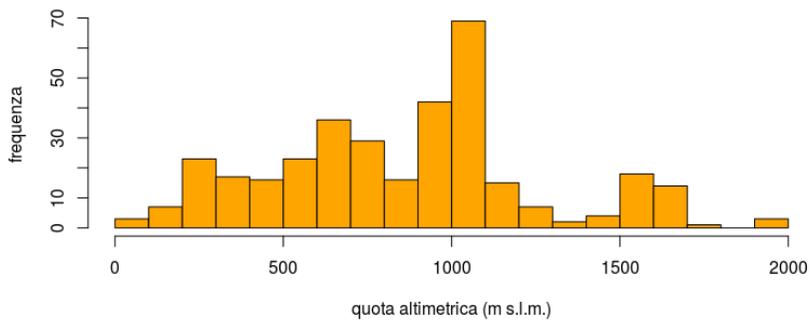


Figura 25. Frequenza di distribuzione per le quote altimetriche nel territorio di indagine.

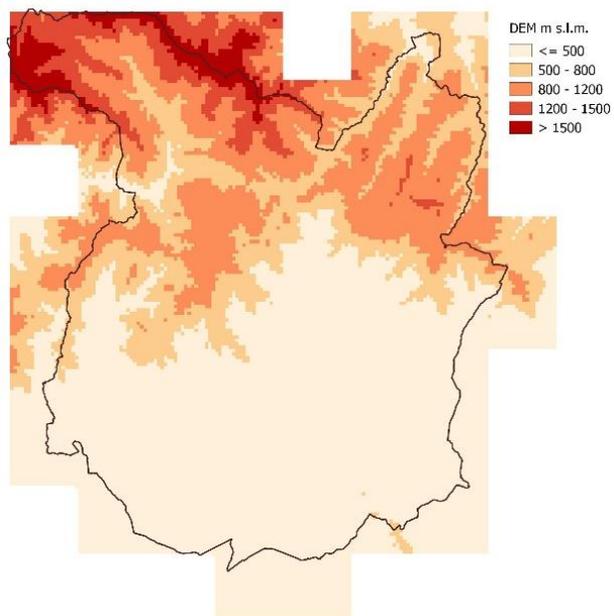


Figura 26. Modello digitale di elevazione (DEM) per il territorio di Pistoia.

Di seguito è riportato il grafico *jackknife* per entrambi i modelli: la quota risulta essere la variabile senza la quale il modello riduce la sua capacità predittiva. Questa perdita di efficacia è comunque di entità minore per il modello B, a conferma che, con l'introduzione delle variabili antropiche, si ha un miglioramento nella *performance* del modello.

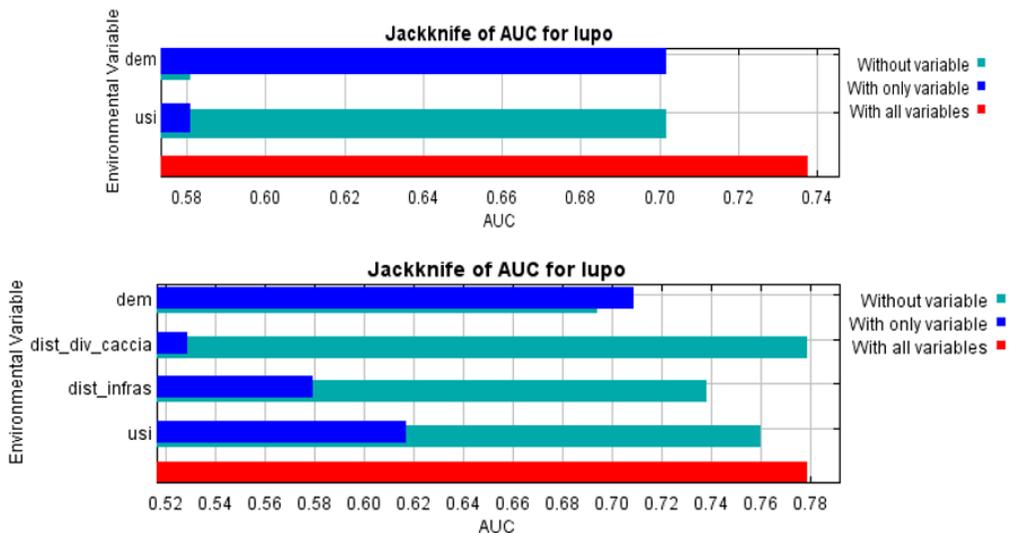


Figura 27. Rappresentazione grafica di JRR applicato al modello A (in alto) e al modello B (in basso). In blu sono riportati i valori di AUC registrati per modelli che considerano una sola variabile alla volta; in verde sono riportati i valori di AUC per i modelli che considerano l'intero set di variabili meno quella in ordinata.

Dato quanto riportato sopra, emerge come l'altitudine sia una variabile che può "nascondere" altre informazioni. È stato quindi aumentato il livello di complessità del modello, aggiungendo maggiori qualità informative che possano spiegare meglio la distribuzione della specie.

### Modello C

Per aumentare la complessità del modello di distribuzione, è stata inserita la variabile di distribuzione di utilizzo delle prede selvatiche (modello C1). Si osserva un aumento di efficacia del modello che riporta un valore di AUC di 0,822 (figura 28). La variabile con maggior peso, esprimendo il più alto valore di contributo percentuale (CP 49) e di importanza di permutazione (IP 43.4), è ancora la variabile altitudinale, seguita dalla distribuzione di utilizzo delle prede selvatiche, con un contributo percentuale pari a 39.5 e un'importanza di permutazione di 37.6 (tabella 11 e 12). Sono bassi invece i valori degli usi del suolo, della distanza dalle aree a divieto di caccia e la distanza dalle infrastrutture.

Tabella 11. Contributo percentuale (CP) e importanza di permutazione percentuale (IPP) delle variabili del modello C.

Modello C Variabile	Contributo percentuale	Importanza di permutazione
DEM	49	43.4
Prede selvatiche UD	39.5	37.6
Usi	7	8.6
Dist_div_caccia	2.8	3.7
Dist_infrastrutture	1.8	6.6

Tabella 12.. Confronto dei valori di AUC per il modello B e C.

Modello B	AUC 0,796
Modello C	AUC <b>0,822</b>

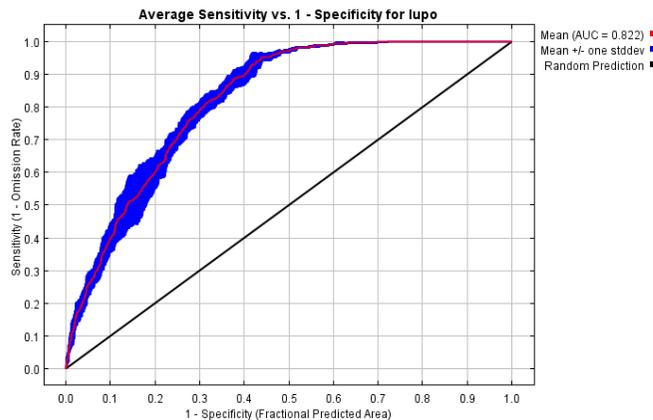


Figura 28. Curva ROC delle performance medie delle cinque reiterazioni per il modello C.

Analizzando le curve marginali delle variabili più importanti si osserva che la curva relativa al DEM migliora, ma ancora non rappresenta la situazione del territorio, indicando una distribuzione probabilistica non casuale (>50%) al di sopra dei 1.300 m s.l.m circa (figura 29). Interessante è la variazione della probabilità di distribuzione del lupo in relazione alla distribuzione di utilizzo delle prede selvatiche, per la quale si osserva un aumento della distribuzione del

predatore molto più che proporzionale riguardo ai valori più bassi della variabile. Ciò suggerisce come una densità minima di prede sia condizione “necessaria” alla definizione del comportamento spaziale del carnivoro (figura 29).

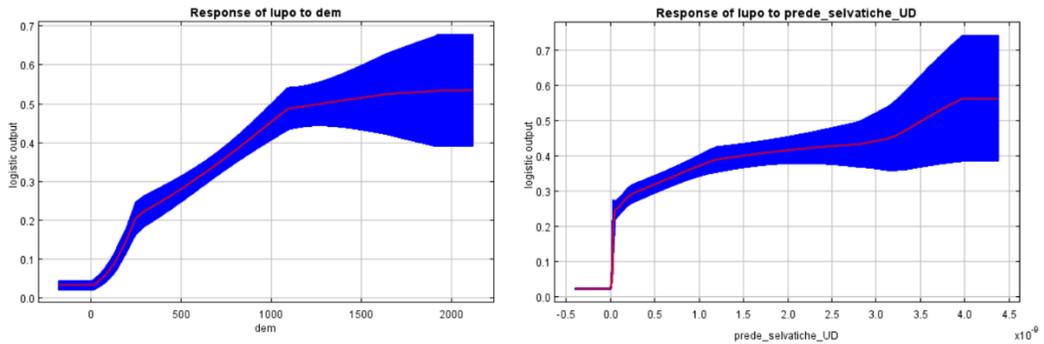


Figura 29. Probabilità di distribuzione della specie per il modello C in relazione alla variabile altitudinale (sinistra) e in relazione alla UD delle prede (a destra).

Il grafico *jackknife* (figura 30) prodotto da questo modello indica la prevalenza di contributo al modello della variabile altitudinale e della UD delle prede selvatiche. Il contributo della variabile altitudinale all’efficacia del modello è minore, ovvero, se omessa, non si ha una elevata perdita di capacità predittiva.

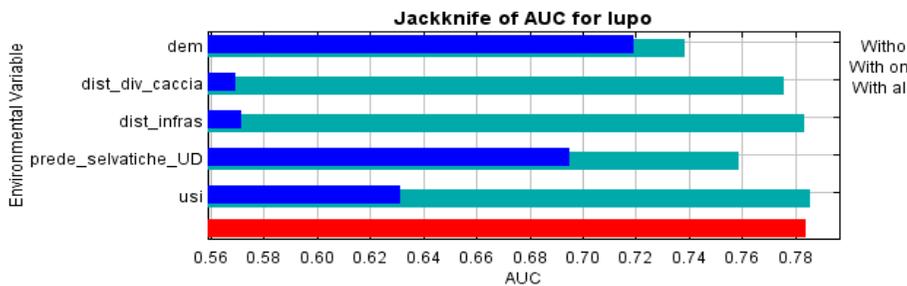


Figura 30. Rappresentazione grafica di JRR applicato al modello C. In blu sono riportati i valori di AUC registrati per modelli che considerano una sola variabile alla volta; in verde sono riportati i valori di AUC per i modelli che considerano l’intero set di variabili meno quella in ordinata.

In questa fase di discriminazione delle variabili, è stato inoltre condotta una elaborazione con l’esclusione della variabile “distanza dalle infrastrutture”, al fine di verificare se quest’ultima e la quota potessero apportare lo stesso tipo di informazione al modello. L’effetto è una perdita di capacità predittiva del

modello, con un valore di AUC pari a 0.811, perdendo circa l'1% in termini di efficacia.

### **Modello E**

Un successivo livello di indagine ha interessato l'elaborazione di un modello (modello E) con l'inclusione di tutte le variabili considerate, partendo quindi dal miglior risultato in termini di efficienza ottenuto dai modelli precedenti e i dati di input di presenza del lupo suddivisi in due periodi:

- Stagione riproduttiva: maggio - ottobre
- Stagione invernale: novembre – aprile

I valori di AUC indicano buona *performance* per entrambi i periodi, con un valore di 0.826 per il periodo maggio-ottobre e 0.864 per il periodo novembre-aprile (figura 31). Nei due periodi analizzati, le variabili che pesano maggiormente sull'output del modello sono la distribuzione delle prede e la variabile altitudinale, come mostrato in tabella 13 e 14.

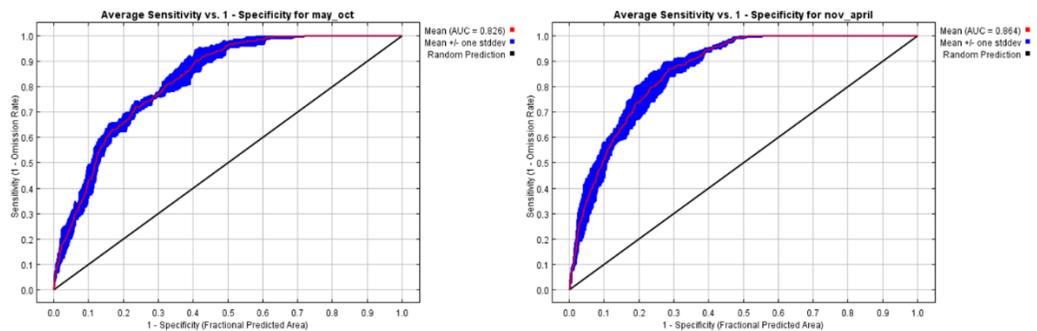


Figura 31. Curva ROC delle performance medie delle cinque reiterazioni per il modello E: periodo maggio-ottobre (a sinistra), periodo novembre-aprile (a destra).

Tabella 13. Contributo percentuale (CP) e importanza di permutazione percentuale (IPP) delle variabili per il periodo maggio-ottobre.

<b>Modello E maggio - ottobre Variabile</b>	<b>Contributo percentuale</b>	<b>Importanza di permutazione</b>
Prede selvatiche UD	42.3	36.7
DEM	38.5	37.1
Usi	11.9	8.9
Dist_div_caccia	5.3	9.3
Dist_infrastrutture	2.1	8

Tabella 14. Contributo percentuale (CP) e importanza di permutazione percentuale (IPP) delle variabili per il periodo novembre-aprile.

<b>Modello E novembre - aprile Variabile</b>	<b>Contributo percentuale</b>	<b>Importanza di permutazione</b>
DEM	48.9	58.9
Prede selvatiche UD	30.2	19.8
Usi	8.3	7
Dist_div_caccia	7.7	5.8
Dist_infrastrutture	4.94	8.4

Il grafico *jackknife* (figura 32 e 33) mostra che la variabile altitudinale registra ancora punteggi di importanza significativi per la *performance* dei modelli andando però a condividere l'informatività con la variabile legata all'offerta trofica (UD). Questo evidenzia in che modo un livello di complessità maggiore dell'approccio modellistico possa meglio definire i fattori che concorrono alla distribuzione di una specie poco habitat specifica come il lupo.

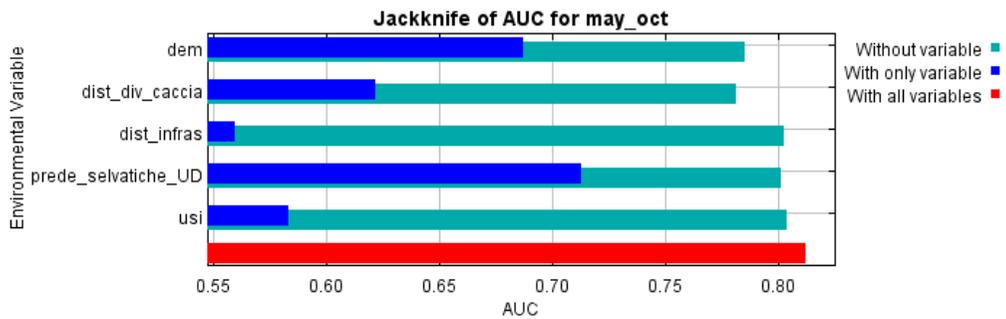


Figura 32. Rappresentazione grafica di JRR applicato al modello E per il periodo maggio-ottobre. In blu sono riportati i valori di AUC registrati per modelli che considerano una sola variabile alla volta; in verde sono riportati i valori di AUC per i modelli che considerano l'intero set di variabili meno quella in ordinata.

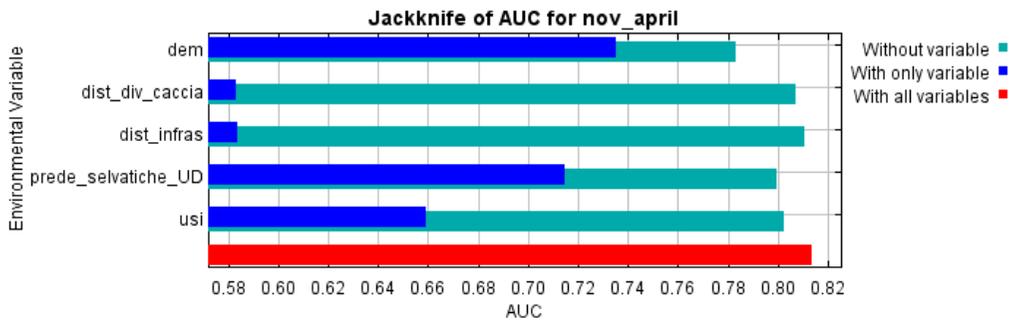


Figura 33. Rappresentazione grafica di JRR applicato al modello E per il periodo novembre-aprile. In blu sono riportati i valori di AUC registrati per modelli che considerano una sola variabile alla volta; in verde sono riportati i valori di AUC per i modelli che considerano l'intero set di variabili meno quella in ordinata.

La mappa di idoneità prodotta per il periodo maggio-ottobre (periodo che comprende la riproduzione e la nascita dei cuccioli) mostra una sovrapposizione delle aree a maggiore probabilità di distribuzione del lupo (in verde) con i punti di risposta durante le campagne di *wolf-howling* nei 3 anni, come si può osservare dalla figura 34.

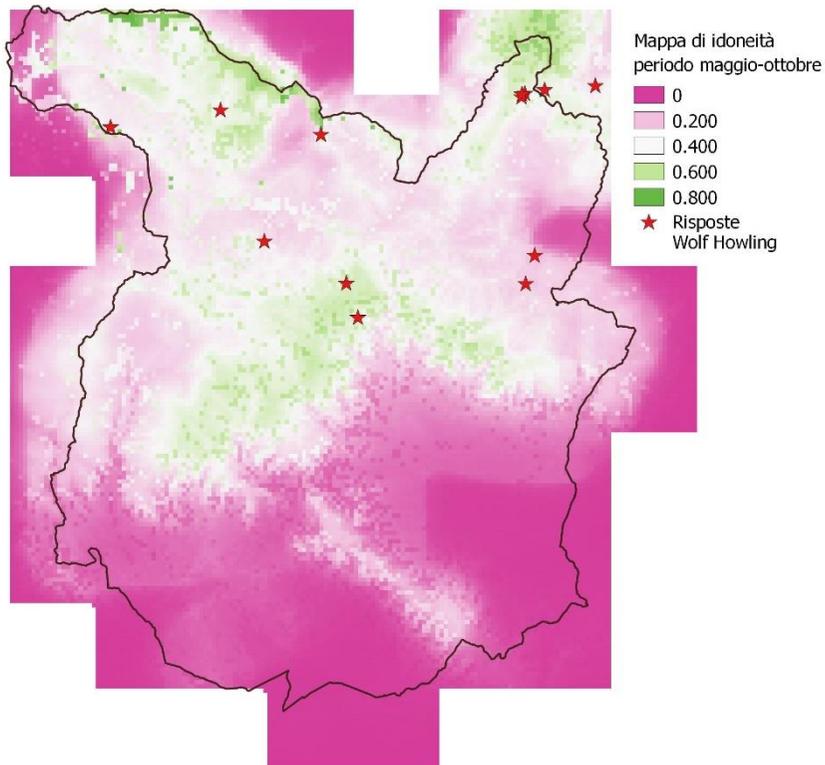


Figura 34. Mappa di idoneità per il lupo nel periodo maggio-ottobre. In rosso i punti di risposta delle sessioni di wolf-howling.

Di seguito si riportano le curve di risposta marginale per le variabili “dem” (figura 35), “prede selvatiche UD” (figura 37), “distanza da aree a divieto di caccia” (figura 36). Quest’ultima, nonostante non ricopra un ruolo fondamentale nella spiegazione del modello (vedi contributo percentuale e importanza di permutazione, tabella 13 e 14), presenta un andamento opposto per i due periodi, nello specifico crescente nel periodo maggio-ottobre e decrescente nel periodo novembre-aprile, indicando un possibile “effetto rifugio” rappresentato dalle aree protette durante la stagione venatoria. Osserviamo inoltre una selezione positiva per la distribuzione delle prede.

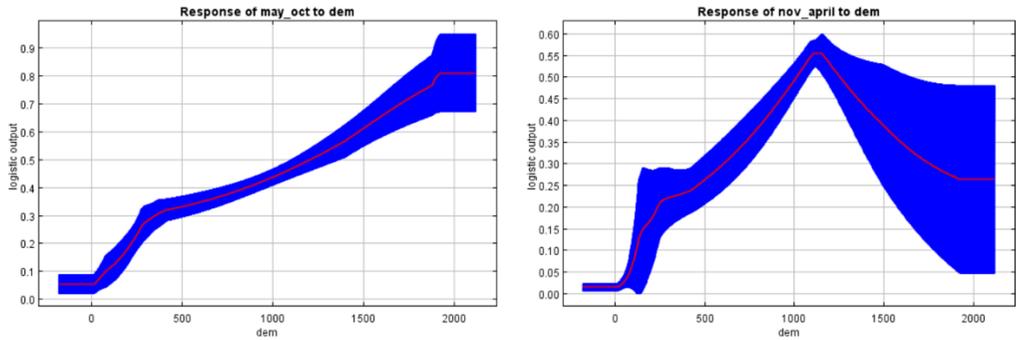


Figura 35. Probabilità di distribuzione della specie per il modello E in relazione alla variabile altitudinale per i periodi maggio-ottobre (a sinistra) e novembre-aprile (a destra).

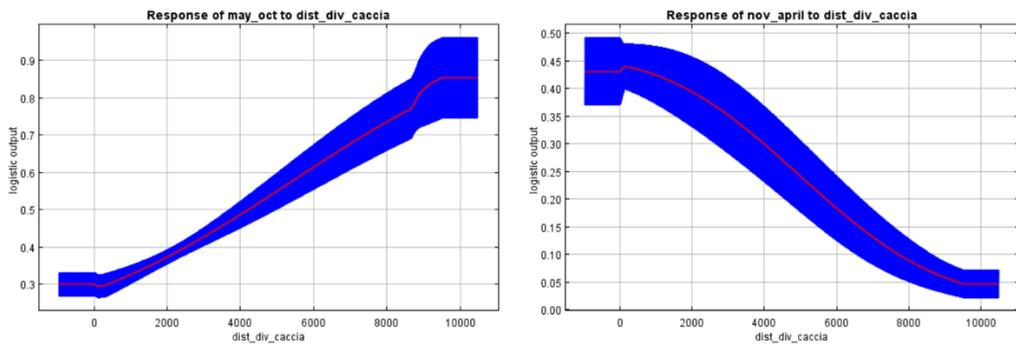


Figura 36. Probabilità di distribuzione della specie per il modello E in relazione alla variabile di distanza dalle aree a divieto di caccia: periodo maggio-ottobre (a sinistra); periodo novembre-aprile (a destra).

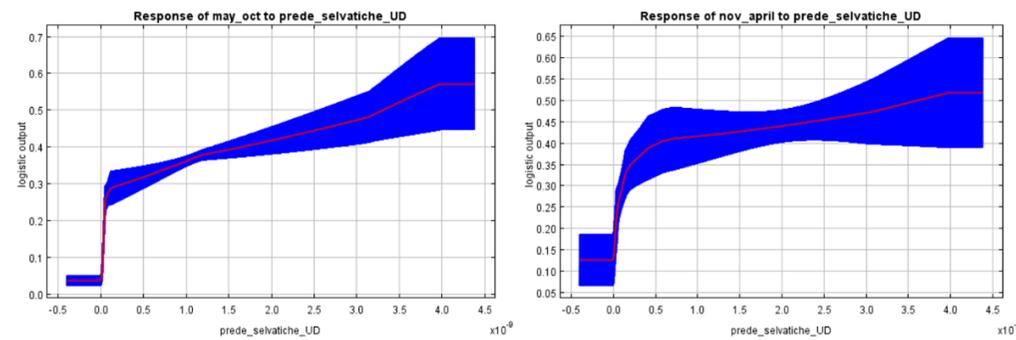


Figura 37. Probabilità di distribuzione della specie per il modello E in relazione alla distribuzione di utilizzo delle prede (UD): periodo maggio-ottobre (a sinistra); periodo novembre-aprile (a destra).

### **Modello G e H**

Sono stati inoltre elaborati modelli annuali per ogni anno del periodo in esame. Si è però ritenuto di non prendere in considerazione tali modelli, in quanto il protocollo di campionamento del progetto di monitoraggio del lupo nella provincia di Pistoia ha subito un cambiamento dal 2015. Infatti, nonostante MaxEnt mostri buone prestazioni anche per set di campioni non uniformi, è dimostrata una maggiore efficacia dei modelli a partire da dati derivanti da disegni campionari uniformi [85].

Viste le considerazioni emerse con l'elaborazione del modello E in merito alle risposte alla variabile distanza dalle aree a divieto di caccia, l'analisi ha previsto un ulteriore livello suddividendo i dati di presenza del lupo nei seguenti periodi:

- In relazione all'attività venatoria (modello G):
  - o Stagione venatoria (ottobre – gennaio);
  - o stagione non venatoria (febbraio – settembre);
- 4 stagioni (modello H):
  - o Autunno (settembre – novembre);
  - o Inverno (dicembre – febbraio);
  - o Primavera (marzo – maggio);
  - o Estate (giugno – agosto).

Entrambi i modelli sono stati elaborati prendendo in considerazione tutte le variabili a disposizione: altitudine, usi del suolo, distanza dalle aree a divieto di caccia, distribuzione delle prede e distanza dalle infrastrutture.

Per il modello G la scelta di suddividere l'anno in relazione all'attività venatoria è rivolta a individuare la potenziale influenza di tale attività sul comportamento spaziale del lupo e l'eventuale verificarsi dell'effetto rifugio esercitato dalle aree a divieto di caccia.

Il modello G mostra valori di AUC per i due periodi soddisfacenti (tabella 17). Il contributo di ogni variabile per i due periodi analizzati è riportato in tabella 15 e 16, risultando ancora predominanti i valori per la distribuzione delle prede e per la quota altimetrica; la distanza dalle aree di protezione è più influente per il periodo venatorio piuttosto che per il periodo non venatorio.

Tabella 15. Contributo percentuale (CP) e importanza di permutazione percentuale (IPP) delle variabili per la stagione venatoria.

<b>Modello G Stagione Venatoria Variabile</b>	<b>Contributo percentuale</b>	<b>Importanza di permutazione</b>
Prede selvatiche UD	47.8	32.9
DEM	27.7	39.9
Dist_div_caccia	14	18.3
Usi	8.3	6.6
Dist_infrastrutture	2.2	2.3

Tabella 16. Contributo percentuale (CP) e importanza di permutazione percentuale (IPP) delle variabili per la stagione non venatoria.

<b>Modello G Stagione non venatoria Variabile</b>	<b>Contributo percentuale</b>	<b>Importanza di permutazione</b>
DEM	54.7	45.6
Prede selvatiche UD	29	28.8
Usi	10.8	9.7
Dist_infrastrutture	2.9	10.8
Dist_div_caccia	2.6	5.1

Nonostante i valori che esprimono l'importanza delle aree a divieto non siano elevati, le mappe di idoneità per i due periodi mostrano un comportamento spaziale della specie diverso. Durante la stagione venatoria la mappa indica che le zone a maggiore idoneità sono quelle prossime alle aree a divieto di caccia, principalmente intorno all'area di ripopolamento e cattura "ZRC – Pistoia nord-ovest" (in giallo in figura 39). Tale comportamento spaziale è confermato anche dagli andamenti delle curve marginali per la distanza dalle aree a divieto di caccia (figura 41) che, come per il modello E, presentano un andamento opposto per i due periodi, nello specifico crescente nel periodo di silenzio venatorio e

decescente nel periodo venatorio. Confermata anche la selezione positiva per la distribuzione delle prede, come per il modello E.

La variabile relativa alla quota altimetrica, in questi modelli, evidenzia una propensione della distribuzione per le quote più elevate durante la stagione venatoria, mentre la stagione non venatoria risulta meno sensibile alla quota (figura 40).

Tabella 17. Confronto dei valori di AUC per la stagione venatoria e non venatoria.

	Stagione non venatoria AUC	Stagione venatoria AUC
Modello G	0.833	0.857

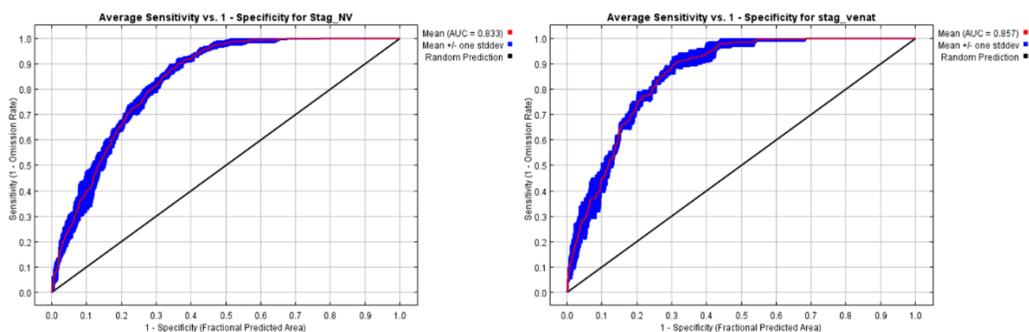


Figura 38. Curva ROC delle performance medie delle cinque reiterazioni per il modello G: stagione non venatoria (a sinistra), stagione venatoria (a destra).

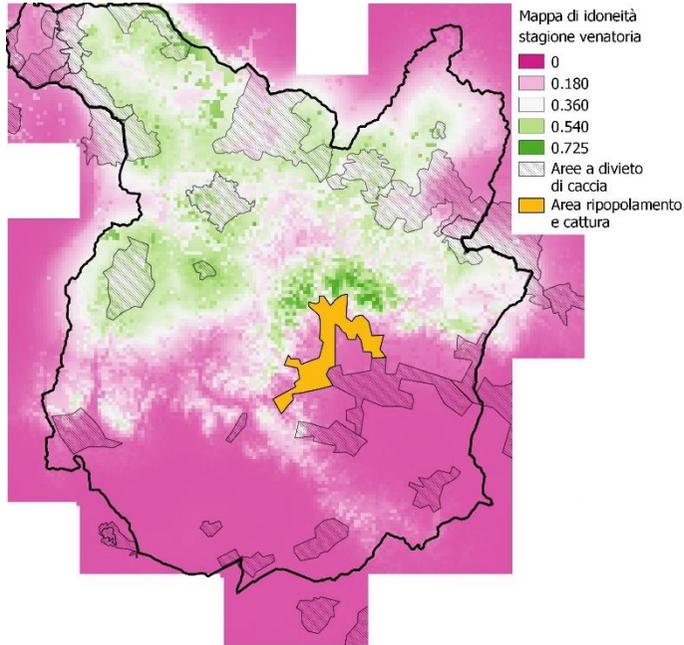


Figura 39. Mappa di idoneità elaborata per il lupo nella stagione venatoria. periodo maggio-ottobre. In giallo l'area di ripopolamento e cattura "ZRC – Pistoia nord-ovest".

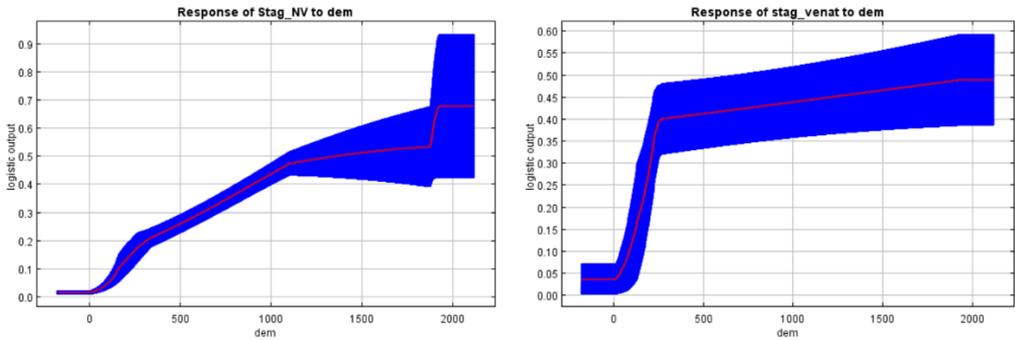


Figura 40. Probabilità di distribuzione della specie per il modello G in relazione alla variabile altitudinale per la stagione non venatoria (a sinistra) e la stagione venatoria (a destra).

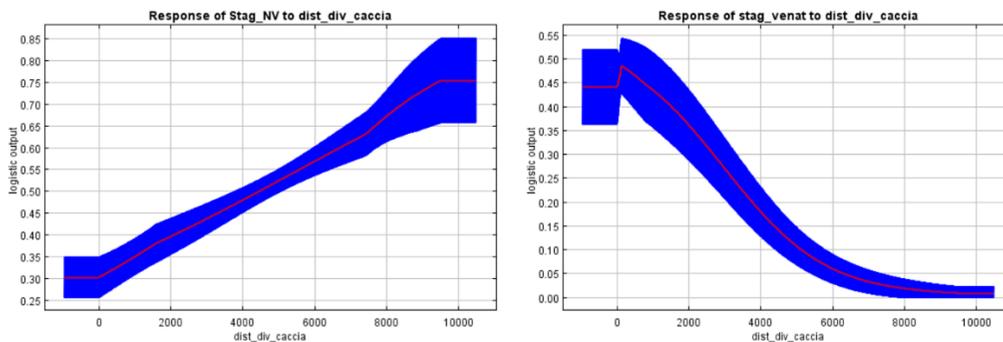


Figura 41. Probabilità di distribuzione della specie per il modello G in relazione alla variabile di distanza dalle aree a divieto di caccia: stagione non venatoria (a sinistra); stagione venatoria (a destra).

Il modello H è finalizzato all'analisi di potenziali differenze nel comportamento spaziale in relazione alle stagioni dell'anno. Di seguito si riportano i valori di AUC (tabella 18) per i quattro periodi considerati e il contributo di ogni variabile. La quota altimetrica risulta ancora importante per la stagione invernale, primaverile, estiva, mentre perde importanza nella distribuzione autunnale; la UD delle prede è la più importante in termini di contributo percentuale e importanza di permutazione per la stagione autunnale e invernale (tabella 19).

Tabella 18. . Confronto dei valori di AUC per il modello stagionale H.

Modello H	AUC
autunno	0.869
inverno	0.851
primavera	0.852
estate	0.858

Tabella 19. Contributo percentuale (CP) e importanza di permutazione percentuale (IPP) delle variabili per il modello stagionale H.

autunno			inverno			primavera			estate		
Variabile	PC	PI									
<b>Prede UD</b>	55	41	<b>Prede UD</b>	56	40	<b>DEM</b>	61	65	<b>DEM</b>	57	50
<b>Usi</b>	14	9.8	<b>DEM</b>	23	36	<b>Prede UD</b>	18	12	<b>Prede UD</b>	18	9.8
<b>Infrastr</b>	14	23	<b>No caccia</b>	13	10	<b>Usi</b>	15	8.3	<b>Infrastr</b>	8.8	18
<b>DEM</b>	13	24	<b>usi</b>	6.2	7.5	<b>No caccia</b>	4	5.4	<b>Usi</b>	8.7	11
<b>No caccia</b>	4.8	2.4	<b>Infrastr</b>	0.9	5.8	<b>Infrastr</b>	1.6	8.6	<b>No caccia</b>	7.1	11

Per quanto riguarda le curve di risposta, la variabile relativa alla quota altimetrica mostra una probabilità di distribuzione maggiore per le quote più elevate durante la stagione primaverile, mentre le altre stagioni risultano meno sensibili alla quota. Come sottolineato dalle precedenti elaborazioni riguardanti l'effetto delle aree protette durante la stagione venatoria, anche per il modello H si conferma una probabilità di distribuzione maggiore al diminuire della distanza dalle aree a divieto di caccia durante la stagione autunnale e invernale, stagioni caratterizzate dall'attività venatoria (figura 44). Tale comportamento è espresso anche dalle mappe di idoneità, che in inverno registrano valori elevati di idoneità all'interno delle aree in cui non viene praticata l'attività venatoria, mentre in autunno la maggiore idoneità si ha per aree limitrofe alle zone protette (figure 42 e 43). In merito all'offerta trofica, si riscontra anche in questo caso una distribuzione maggiore in relazione alla distribuzione delle prede per tutte le stagioni indagate. La distanza dalle infrastrutture, che nei modelli precedenti non ha assunto valori rilevanti, acquista valori più elevati per la stagione autunnale, con 14 % di contributo percentuale e 23 % di importanza di permutazione (tabella 19), con curve che indicano, per le quattro stagioni, una tendenza decrescente della probabilità di distribuzione all'aumentare della distanza dalle infrastrutture (figura 45). Lo stesso si può dire per la variabile uso del suolo, che nei modelli finora descritti non registra valori elevati, mentre per il modello stagionale acquista importanza principalmente in autunno e in primavera (tabella 19). Dal grafico in figura 46 si osserva una probabilità di presenza superiore al 50% di:

- pascoli naturali in autunno;
- aree agricole in inverno;
- aree agricole, aree a vegetazione scarsa e boschi di conifere in primavera;

- aree agricole, aree a vegetazione scarsa e urbano in estate.

Il *jackknife* indica che la risorsa trofica è la variabile che apporta il maggior contributo all'efficacia del modello per la stagione autunnale e invernale (figure 47 e 48), suggerendo una più forte relazione preda-predatore nei mesi caratterizzati da condizioni di vita più estreme, soprattutto in ambiente montano.

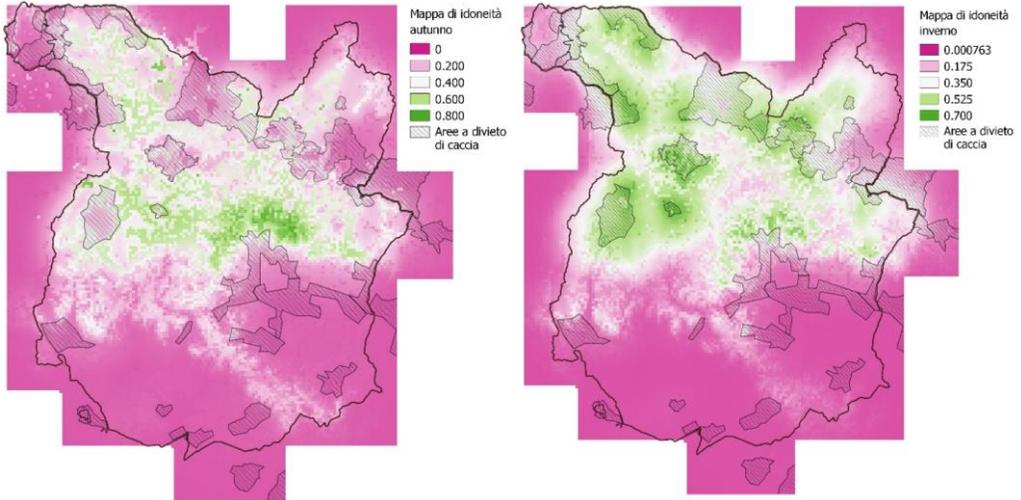


Figura 42. Mappe di idoneità elaborata per il lupo per l'autunno (sinistra) e l'inverno (destra).

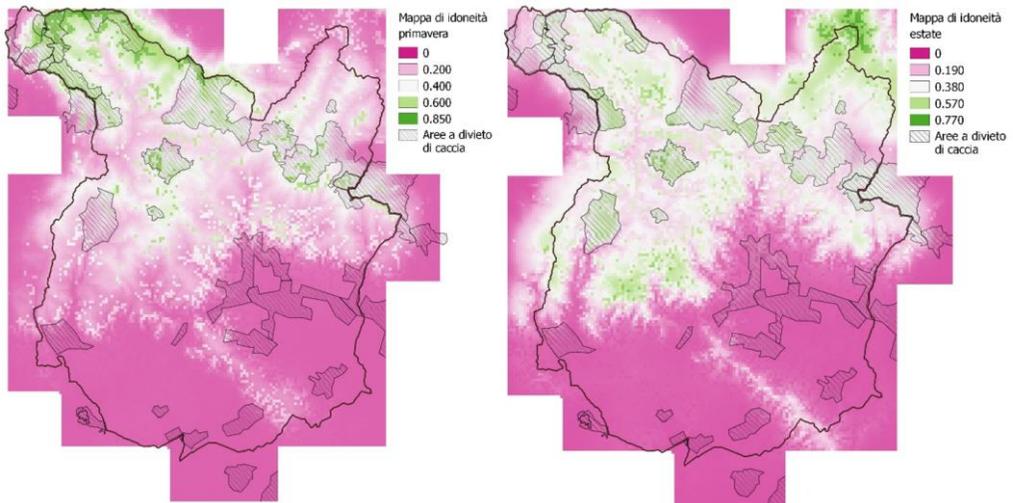


Figura 43. Mappe di idoneità elaborata per il lupo per la primavera (sinistra) e l'estate (destra).

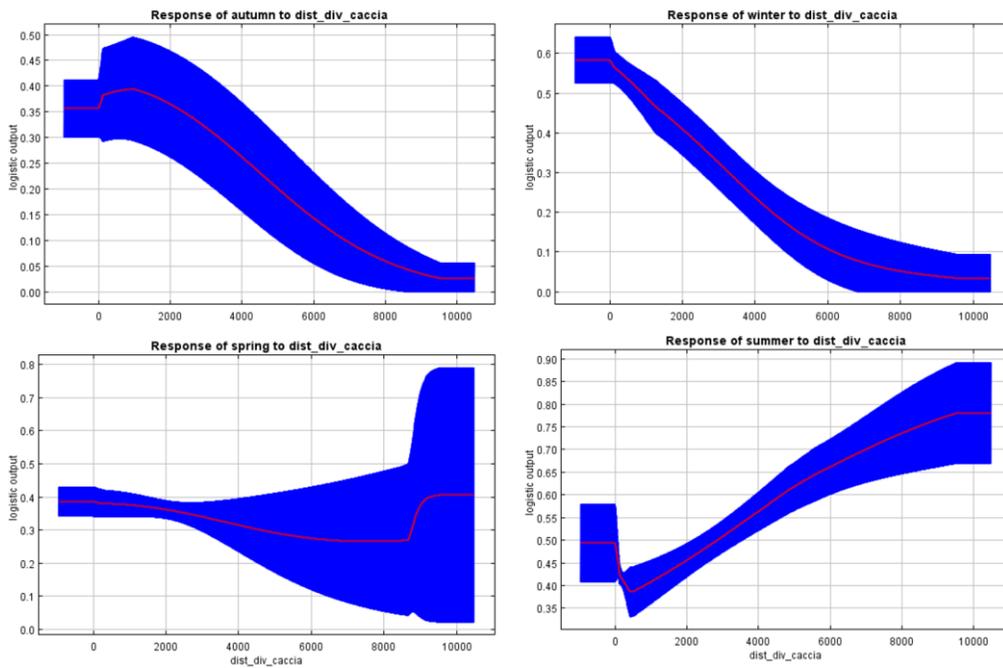


Figura 44. Probabilità di distribuzione della specie per il modello H in relazione alla variabile di distanza dalle aree a divieto di caccia per le stagioni analizzate.

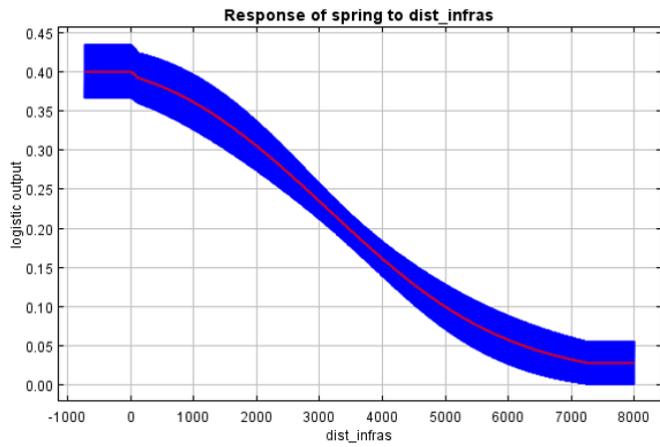


Figura 45. Probabilità di distribuzione della specie per il modello H in relazione alla variabile di distanza dalle infrastrutture.

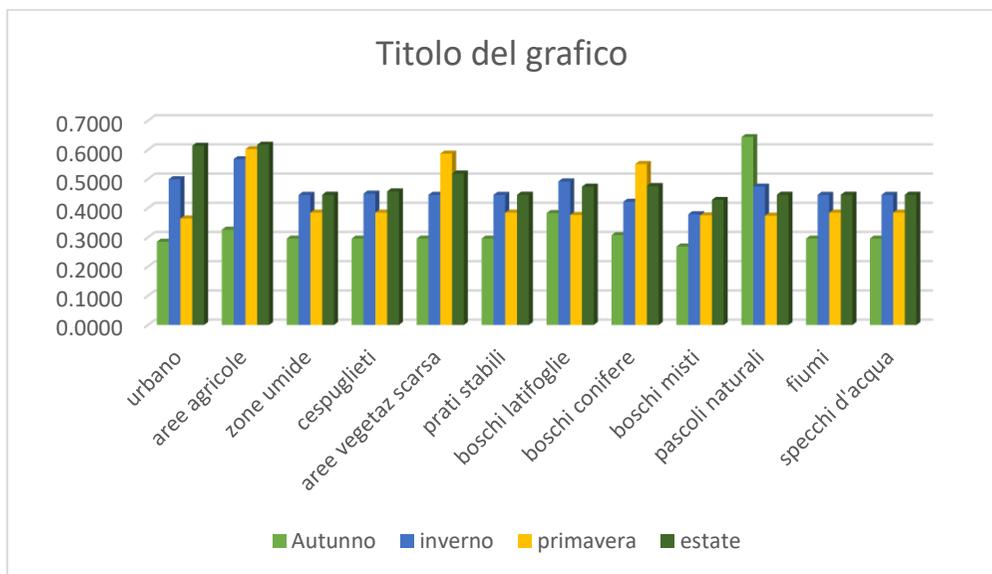


Figura 46. Ripartizione della distribuzione di probabilità per gli usi del suolo utilizzati.

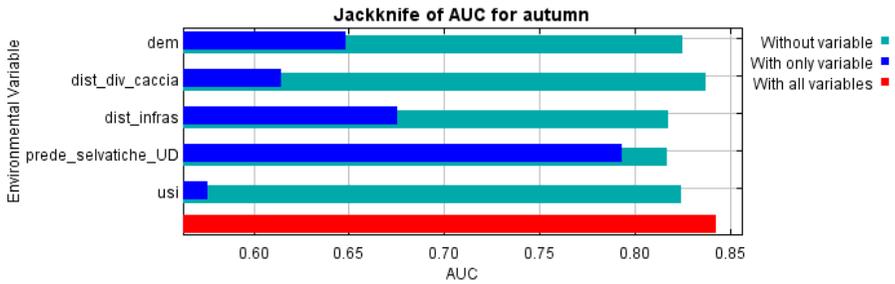


Figura 47. Rappresentazione grafica di JRR applicato al modello H per l'autunno. In blu sono riportati i valori di AUC registrati per modelli che considerano una sola variabile alla volta; in verde sono riportati i valori di AUC per i modelli che considerano l'intero set di variabili meno quella in ordinata.

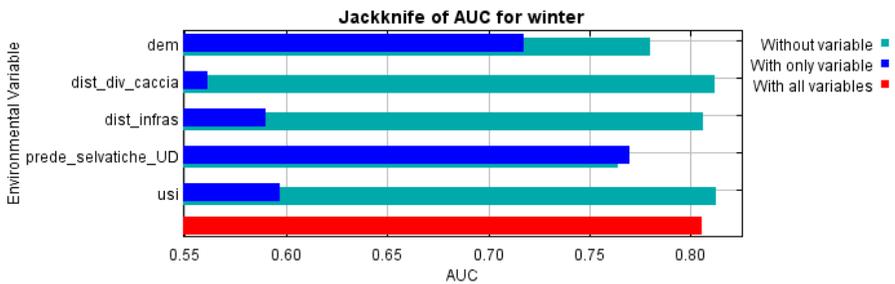


Figura 48. Rappresentazione grafica di JRR applicato al modello H per l'inverno. In blu sono riportati i valori di AUC registrati per modelli che considerano una sola variabile alla volta; in verde sono riportati i valori di AUC per i modelli che considerano l'intero set di variabili meno quella in ordinata.

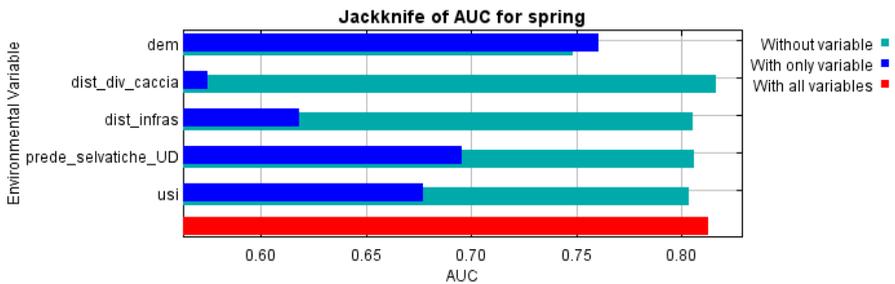


Figura 49. Rappresentazione grafica di JRR applicato al modello H per la primavera. In blu sono riportati i valori di AUC registrati per modelli che considerano una sola variabile alla volta; in verde sono riportati i valori di AUC per i modelli che considerano l'intero set di variabili meno quella in ordinata.

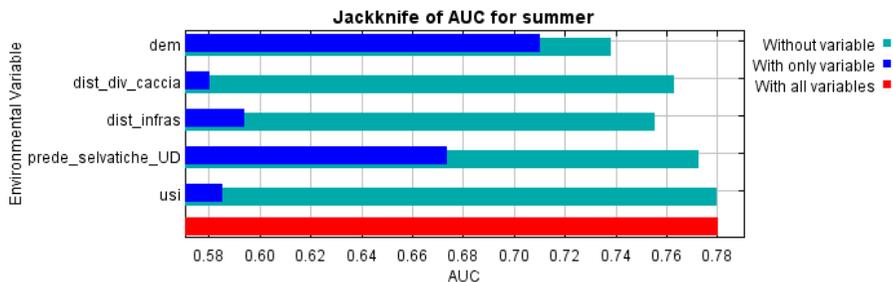


Figura 50. Rappresentazione grafica di JRR applicato al modello H per l'estate. In blu sono riportati i valori di AUC registrati per modelli che considerano una sola variabile alla volta; in verde sono riportati i valori di AUC per i modelli che considerano l'intero set di variabili meno quella in ordinata.

### Modello W

L'ultimo livello di analisi ha riguardato lo sviluppo di una simulazione, attraverso la "distorsione" dell'informazione legata alla risorsa trofica. Questa operazione è finalizzata all'approfondimento delle relazioni preda-predatore.

A tale proposito, si ritiene che il database riguardante i dati di censimento degli ungulati selvatici possa essere affetto da incompletezza del dato, per ragioni legate alla tecnica di monitoraggio impiegata, la quale prevede un censimento condotto soltanto in alcuni periodi dell'anno e che interessa quasi esclusivamente le aree di competenza dell'ATC preposto, regolamentate dalla L.R. n. 10/2016 "Legge obiettivo per la gestione degli ungulati in Toscana" (Modifiche alla L.R. 3/1994). L'area censita copre principalmente il territorio collinare e montano della provincia, ed esclude le aree protette (con divieto di caccia) e le aree di pianura più prossime all'abitato di Pistoia, costituite in buona percentuale da coltivi e vivai, che, per loro natura, potrebbero esercitare una probabile attrattiva per gli ungulati selvatici (figura 51). Al fine di compensare l'incompletezza delle informazioni di censimento degli ungulati selvatici, è stato simulato un incremento delle osservazioni di circa il 40 %, secondo una distribuzione di tipo aggregato, incrementando di conseguenza la distribuzione di utilizzo (UD) per tali specie (figura 52). È stato poi elaborato un modello stagionale (W) che ha preso in considerazione tutte le variabili finora considerate e la UD degli ungulati selvatici "aumentati", in sostituzione della UD degli ungulati con i dati di effettivo censimento. Di seguito si riportano i valori di AUC per il modello H stagionale

e il modello W stagionale (tabella 20). Le mappe di idoneità (visibili in figura 53, 54, 55, 56) a confronto per i modelli H e W, evidenziano un aumento della superficie potenzialmente idonea al lupo nei modelli con le prede selvatiche “aumentate”. Tale fenomeno è evidente per tutte le stagioni esaminate.

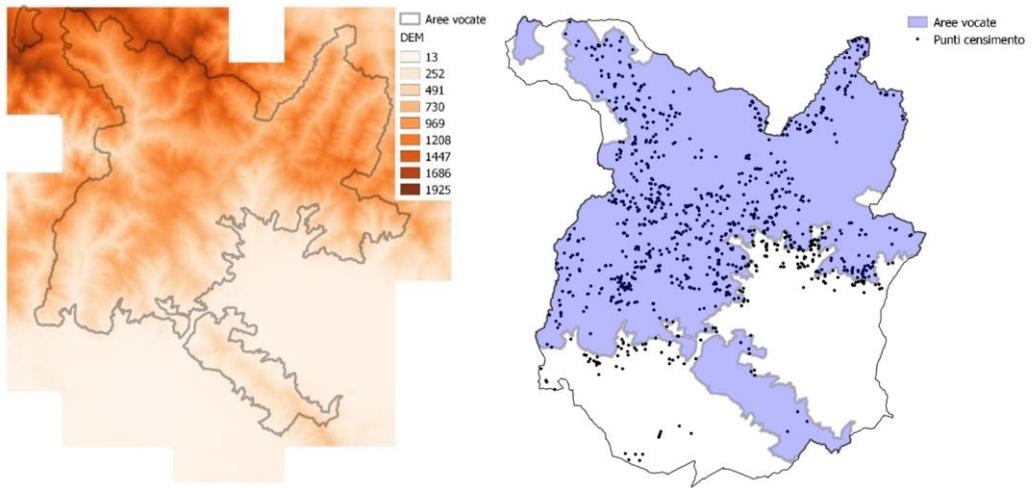


Figura 51. A sinistra Modello digitale di elevazione (DEM) e area di censimento degli ungulati di competenza dell'ATC16. A destra in nero le localizzazioni dei censimenti a vista degli ungulati.

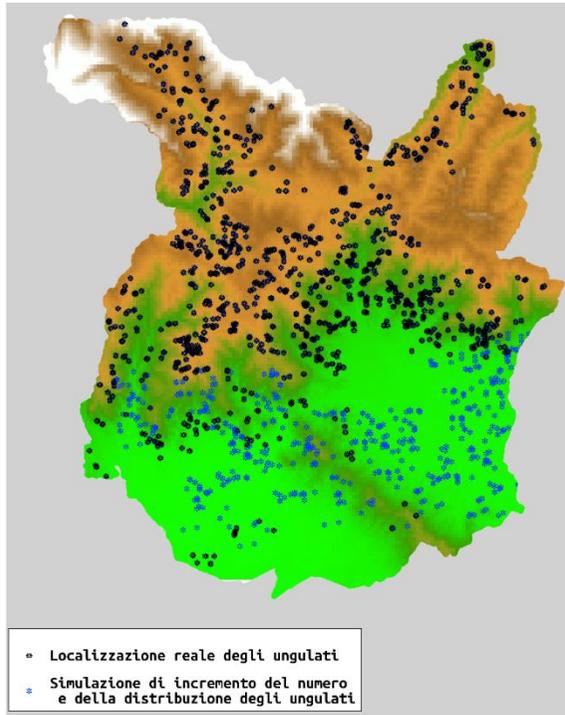


Figura 52. Procedura di aumento delle localizzazioni dei censimenti degli ungulati secondo pattern casuali.

Tabella 20. Confronto dei valori di AUC per il modello stagionale H e W.

	AUC H	AUC W
autunno	0.869	0.828
inverno	0.851	0.825
primavera	0.852	0.852
estate	0.858	0.807

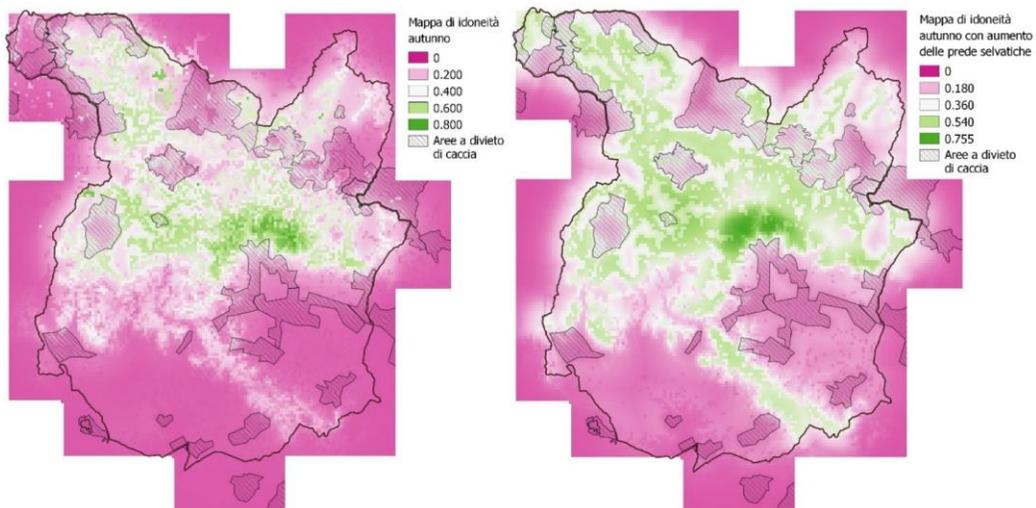


Figura 53. Mappa di idoneità elaborata per il lupo in autunno per i dati reali (sinistra) e per i dati di simulazione (destra).

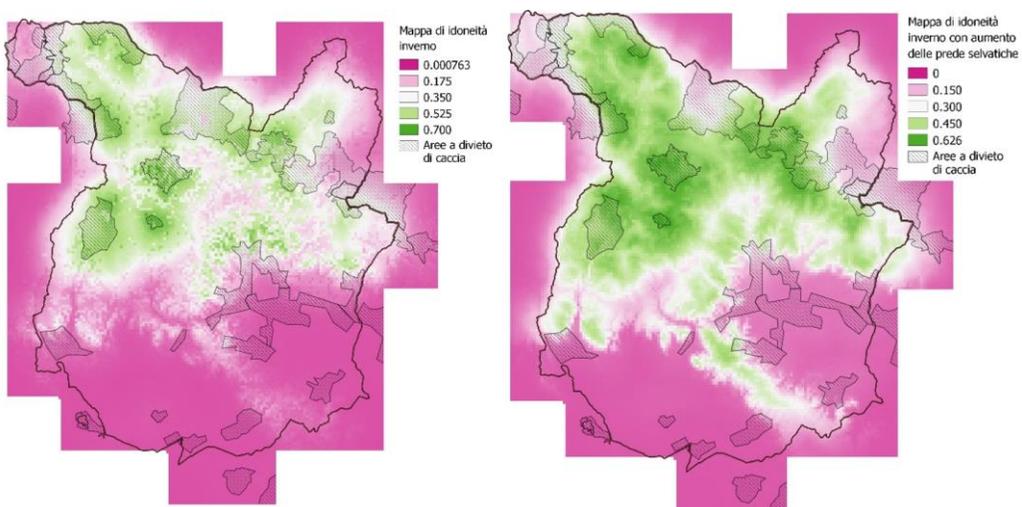


Figura 54. Mappa di idoneità elaborata per il lupo in inverno per i dati reali (sinistra) e per i dati di simulazione (destra).

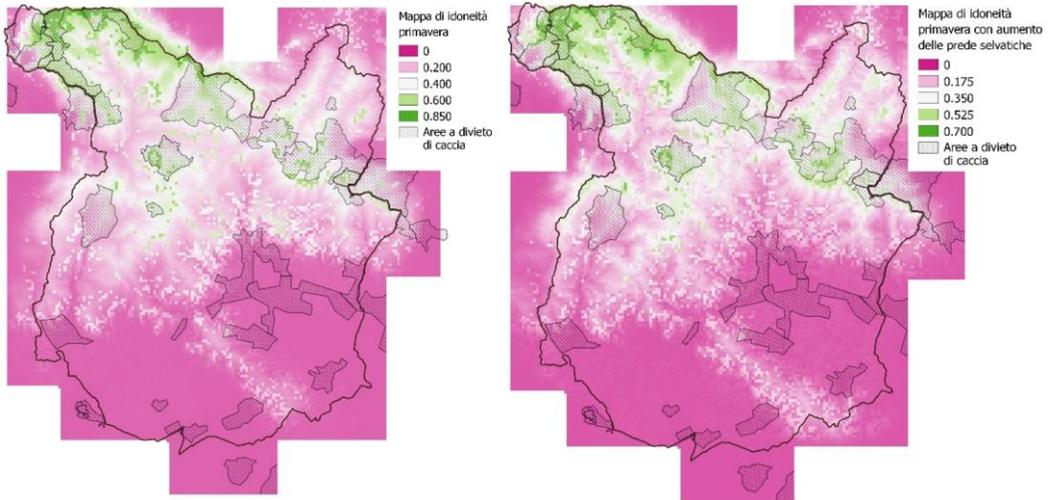


Figura 55. Mappa di idoneità elaborata per il lupo in primavera per i dati reali (sinistra) e per i dati di simulazione (destra).

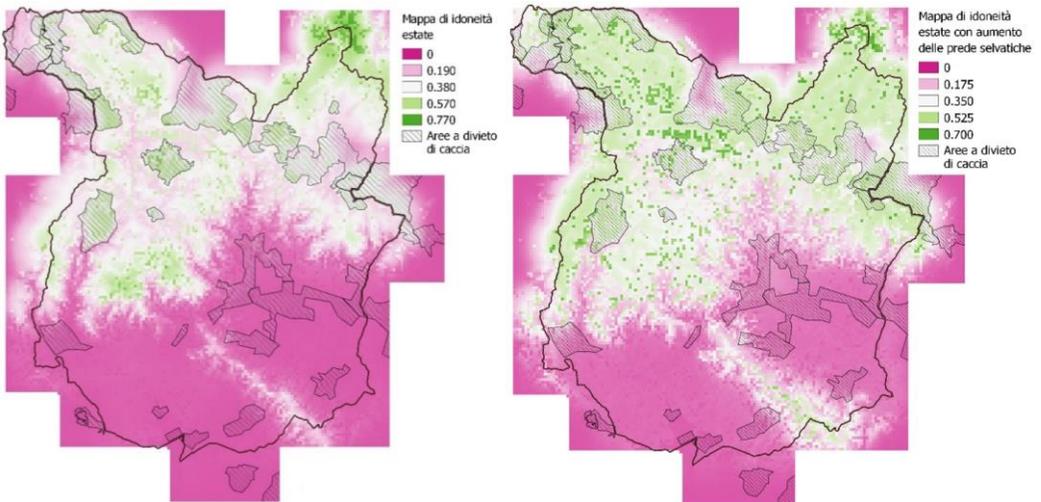


Figura 56. Mappa di idoneità elaborata per il lupo in estate per i dati reali (sinistra) e per i dati di simulazione (destra).

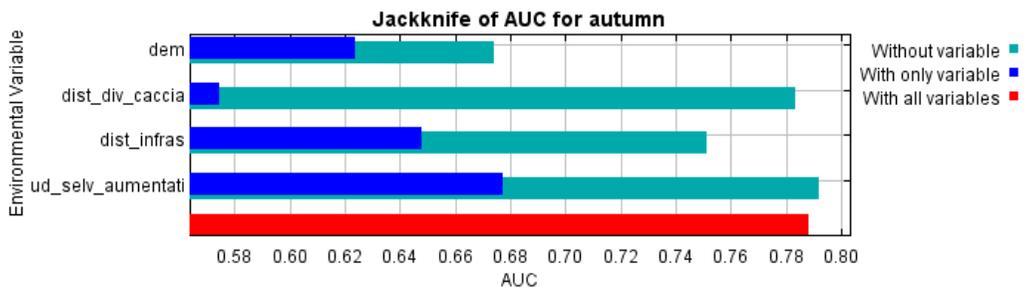


Figura 57. Rappresentazione grafica di JRR applicato al modello W per il periodo autunnale. In blu sono riportati i valori di AUC registrati per modelli che considerano una sola variabile alla volta; in verde sono riportati i valori di AUC per i modelli che considerano l'intero set di variabili meno quella in ordinata.

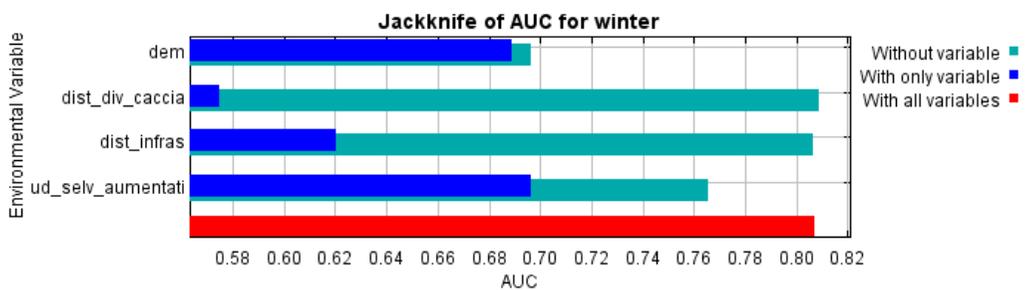


Figura 58. Rappresentazione grafica di JRR applicato al modello W per il periodo invernale. In blu sono riportati i valori di AUC registrati per modelli che considerano una sola variabile alla volta; in verde sono riportati i valori di AUC per i modelli che considerano l'intero set di variabili meno quella in ordinata.

## 5 DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

I risultati ottenuti dall'applicazione della metodologia, basata sull'algoritmo di massima entropia, allo studio della distribuzione spaziale del lupo, mostrano buone prestazioni per tutti i modelli elaborati e per tutte le scale di indagine esaminate, con *performance* paragonabili con elaborazioni condotte da altri autori in letteratura.

I dati raccolti durante i tre anni del progetto di monitoraggio, indicano che la presenza del lupo nel territorio di Pistoia non ha carattere transitorio e che l'area presenta le caratteristiche ambientali che possono garantire oltre alla presenza regolare del predatore anche l'attività riproduttiva [18] della quale si è avuto riscontro dalle attività di *wolf-howling*.

L'analisi dei risultati evidenzia una crescente *performance* dei modelli di distribuzione al crescere del grado di complessità e di dettaglio a cui sono stati elaborati. L'aumento dell'efficacia predittiva (mostrato dai valori di AUC ottenuti) si manifesta, infatti, per i tre livelli di indagine condotti e per i diversi gradi di complessità esaminati. Per quanto riguarda la risoluzione, le prestazioni dei modelli sono buone per le tre risoluzioni esaminate, con valori di AUC (tabella 21) che superano la soglia ritenuta attendibile per le distribuzioni di specie animali (0.75) [67]. Inoltre si evidenzia un aumento graduale della *performance* passando dall'indagine a risoluzione inferiore (5000x5000 m) alla risoluzione di maggiore dettaglio (250x250 m). Tale andamento è in parte confermato anche dallo studio condotto per Spagna e Portogallo, che registra valori in aumento dalla risoluzione 10000x10000 m (0.88) alla risoluzione 2000x2000 m (0.97), segnalando però una perdita di efficacia per la risoluzione di dettaglio 100x100 m (0.93) [53]. Questi andamenti sottolineano, secondo quanto riportato in letteratura, che una risoluzione a grana fina può non esprimere completamente ed esaustivamente le esigenze ecologiche del lupo, il complesso comportamento e struttura sociale su grandi scale spaziali [23], [33].

Tabella 21. Confronto dei valori di AUC per le tre risoluzioni indagate.

Risoluzione	AUC
5000x5000 m grid	0.791
2500x2500 m grid	0.805
250x250 m grid	0,822

Per approfondire l'indagine alla risoluzione di maggiore dettaglio (250x250 m), è stata aumentata la complessità dei modelli, attraverso l'analisi disgiunta dei dati disponibili sulla presenza del lupo, elaborati a livello stagionale, collezionati nei tre anni di indagine. La suddivisione dei dati di presenza del lupo evidenzia un andamento crescente dell'efficacia predittiva per le diverse combinazioni dei periodi dell'anno indagati. Oltre a questi, sono stati inoltre elaborati modelli per ogni singolo anno, come già accennato nel capitolo dei risultati. Tale discriminazione ha portato alla considerazione che i modelli elaborati potessero non rappresentare al meglio la distribuzione della specie nell'area di indagine. Tale considerazione è avvalorata dal fatto che il protocollo di campionamento del progetto di monitoraggio del lupo nella provincia di Pistoia ha subito un cambiamento dal 2015. Nonostante MaxEnt mostri buone prestazioni anche per *dataset* di campioni non uniformi, è dimostrata una maggiore efficacia dei modelli a partire da dati derivanti da disegni campionari uniformi (Dudík et al., 2006).

Tabella 22. Confronto dei valori di AUC per tutti i modelli presi in esame.

Risoluzione 250x250 m		AUC
Nessuna suddivisione dei dati	Tutti i dati di presenza	0.822
Suddivisione in relazione al ciclo riproduttivo della specie	Stagione riproduttiva	0.826
	Stagione non riproduttiva	0.864
Suddivisione in relazione all'attività venatoria	Stagione venatoria	0.857
	Stagione non venatoria	0.833
Suddivisione in relazione alla stagionalità del comportamento della specie	Stagione autunnale	0.869
	Stagione invernale	0.851
	Stagione primaverile	0.852
	Stagione estiva	0.858

L'analisi dell'importanza delle variabili scelte per la definizione delle distribuzioni potenziali, mostra una gerarchia tendenzialmente costante per tutti i modelli elaborati.

Per tutte le elaborazioni condotte, le variabili che apportano il maggior contributo, specialmente in termini di guadagno di *performance*, come indicato dai grafici *jackknife*, sono la variabile **altitudinale** e la distribuzione delle **prede selvatiche** (offerta trofica). In particolare, la risorsa trofica, mostra un peso rilevante per la stagione autunnale e invernale. Tale effetto può essere interpretato se si considerano le condizioni di vita più estreme dei mesi autunnali e invernali, soprattutto in ambiente montano, che possono spingere gli ungulati selvatici a spostarsi verso aree con maggiore disponibilità trofica, con il conseguente spostamento del predatore [80]. Lo spostamento degli ungulati selvatici può essere, inoltre, interpretato in relazione al possibile “effetto rifugio” esercitato dalle aree a divieto di caccia, verso le quali gli ungulati si possono spostare durante la stagione venatoria [71]–[74]. Tale tendenza emerge anche dall'analisi delle curve marginali di risposta alla variabile di distanza dalle aree a divieto di caccia (nonostante tale variabile non assuma elevati valori di contributo), che evidenzia un andamento crescente della distribuzione potenziale del lupo in relazione alla vicinanza alle aree protette per i mesi autunnali e invernali.

La variabile altitudinale si è dimostrata possedere un “peso” significativo per ogni modello elaborato, suggerendo spesso che fosse l'unica ad apportare informazioni rilevanti alla determinazione della distribuzione potenziale del lupo, anche quando le evidenti caratteristiche del territorio portavano a smentire tale distribuzione. Questo sottolinea l'importanza dell'esperto del settore nella fase di interpretazione dei modelli di predizione, che se non efficacemente filtrati, possono portare a conclusioni fuorvianti. In merito all'inconsistenza di predittività della sola variabile altitudinale, si evidenzia come il suo valore non aumenti in relazione alla distribuzione degli ungulati, in combinazione con la conseguente scelta di usi del suolo correlati. Si riporta la tabella 23 che mette in relazione la funzione di UD minima, massima e media con le quote altimetriche (per le quali sono indicati i valori medi, minimi e massimi), per ogni tipo di uso del suolo considerato, evidenziando la selezione positiva delle prede selvatiche

nell'utilizzo di alcuni usi del suolo (312 – 313 – 2 – 311 – 321) indipendentemente dal gradiente di quota.

La funzione di UD è stata riportata a valori in *range* 0 – 4 (la funzione di adehabitat restituiva un *range* di UD nell'ordine di grandezza di  $10^{-9}$ ; per rendere più leggibili e apprezzabili i valori sono stati moltiplicati per  $10^9$ ).

Tabella 23. Tabella di relazione tra la funzione di UD minima, massima e media e le quote altimetriche, per ogni tipo di uso del suolo considerato

UDS	UD_EXT [MIN]	UD_EXT [MAX]	UD_EXT [MEAN]	DEM [MIN]	DEM [MAX]	DEM [MEAN]
<b>4</b>	0,00	1,52	0,11	14	71	27
<b>33</b>	0,00	1,43	0,23	67	1912	1306
<b>512</b>	0,00	2,74	0,45	17	563	115
<b>32</b>	0,00	3,71	0,48	14	1728	346
<b>321</b>	0,00	1,90	0,49	656	1910	1226
<b>511</b>	0,00	3,51	0,58	14	857	238
<b>1</b>	0,00	3,79	0,66	14	1925	301
<b>231</b>	0,00	3,85	0,70	16	1307	528
<b>311</b>	0,00	3,98	0,80	14	1722	327
<b>2</b>	0,00	3,94	0,98	13	1283	360
<b>312</b>	0,00	3,97	1,13	14	1744	631
<b>313</b>	0,00	3,96	1,21	15	1700	532

In merito al possibile effetto dell'attività antropica, espressa da un gradiente di distanza dalle infrastrutture, tale variabile non registra valori rilevanti per i modelli elaborati, a suggerire la scarsa influenza che questo fattore esercita sulla distribuzione potenziale della specie. Nonostante questo, dalle curve di risposta marginale per tale variabile, si osserva un andamento decrescente della probabilità di distribuzione all'aumentare della distanza dalle infrastrutture. Si osserva quindi una tendenza della specie a preferire situazioni caratterizzate da un disturbo antropico "medio". La spiegazione di questo fenomeno, che pare contrastare con quanto riportato in letteratura [18]–[22], è forse da ricercare nelle variazioni locali nella distribuzione delle prede. In aree vicine a strade e fabbricati, caratterizzate da una maggiore presenza di attività umane, le risorse trofiche per gli erbivori possono essere maggiori, sia per l'attività diretta dell'uomo nel modificare

l'ambiente (presenza di coltivi, pascoli, ma anche una maggiore diffusione nell'esercizio del bosco ceduo), sia forse per la maggiore fertilità delle aree antropizzate.

Anche per gli usi del suolo, non si registrano valori di contributo elevati per i modelli elaborati, ad eccezione del modello stagionale dove acquista importanza (con valori comunque inferiori al DEM e alla risorsa trofica) principalmente in autunno e in primavera, con una probabilità di distribuzione del lupo superiore al 50% per i pascoli naturali in autunno, mentre in primavera per le aree agricole, le aree a vegetazione scarsa e i boschi di conifere. In inverno si hanno valori di distribuzione potenziale superiori per le aree agricole, mentre in estate, oltre che per le aree agricole, anche per aree a vegetazione scarsa e urbano. Tale tendenza potrebbe trovare spiegazione nell'importanza che gli usi sopra elencati (principalmente aree agricole e pascoli) rivestono per le popolazioni di ungulati selvatici.

La forte relazione preda-predatore che emerge dall'elaborazione dei modelli di distribuzione, si esprime anche nel caso particolare della simulazione, condotta attraverso un forzato aumento del numero di localizzazioni delle prede selvatiche. Anche per questo modello, l'UD degli ungulati per i mesi autunnali e invernali, contribuisce maggiormente rispetto alle altre variabili in termini di guadagno di *performance* del modello. L'effetto di tale variabile si osserva anche attraverso le mappe di idoneità, che evidenziano un aumento della superficie potenzialmente idonea al lupo per i modelli con le prede selvatiche "aumentate", per tutte le stagioni esaminate.

Per tutte le elaborazioni condotte, le mappe di idoneità evidenziano una distribuzione potenziale su tutta l'area centrale e settentrionale del territorio in esame. Si osserva inoltre una potenziale idoneità delle aree corrispondenti al Montalbano, per le quali non ci sono registrazioni della presenza della specie disponibili, suggerendo l'esistenza di un potenziale corridoio ecologico. La continuità fra l'area di certa occupazione del lupo e il potenziale corridoio ecologico è interrotta da una probabile barriera ecologica, rappresentata dal tratto autostradale A11 Firenze-mare. Possibili sviluppi futuri del progetto di monitoraggio del lupo nel territorio di Pistoia, potrebbero riguardare campagne di campionamento per l'area del Montalbano, al fine di verificare il suo possibile

ruolo di corridoio ecologico e di connessione con i nuclei di popolazioni di lupo nel territorio di Firenze, e verificare di conseguenza l'ipotizzato effetto barriera costituito dal tratto autostradale.

Per il modello elaborato in relazione alla stagione venatoria, le mappe di idoneità mostrano una idoneità parziale delle aree a divieto di caccia ed una maggiore idoneità per le zone contigue alle aree di protezione. Un maggiore effetto rifugio è espresso dalle mappe elaborate per la stagione invernale, per cui l'idoneità maggiore si ha per le aree a divieto di caccia, mentre le stagioni primaverili ed estive mostrano una limitata idoneità per tali aree. Tali considerazioni spingono a riflettere sul ruolo di queste aree, domandandosi se quelle aree di protezione, individuate, delimitate geograficamente e ritenute così importanti per la tutela e la conservazione di specie animali, vegetali, e habitat specifici, siano realmente caratterizzate dalle condizioni ottimali e capaci di ospitare le specie che cerchiamo di conservare e gestire.

La gestione del territorio rappresenta quindi, alla luce delle analisi condotte, una premessa e una condizione necessaria, ma soprattutto una grande opportunità, nell'obiettivo finale di conservazione delle specie e nella gestione dei potenziali conflitti che possono emergere dalla convivenza di attività umana e fauna selvatica. In questo senso, vista la forte relazione tra preda e predatore, capace di influenzare la distribuzione del predatore stesso, si ritiene opportuno mirare a scelte di gestione delle aree (in particolare delle aree protette) che contemplino habitat ritenuti idonei per gli ungulati selvatici (habitat caratterizzati da una maggiore presenza di prati e pascoli), ritenendo che questa soluzione possa essere una possibile strategia anche per una efficace gestione del predatore.

Come riferito dalla maggior parte degli autori, nonostante l'elevata adattabilità, il lupo può presentare localmente una selettività nei confronti di determinate caratteristiche fisiche o di interazione con l'attività umana dell'area che occupa stabilmente. Le analisi rivolte alla definizione di habitat ottimali e di distribuzioni potenziali, devono mirare a comprendere la combinazione di fattori capaci di influenzare l'occupazione stabile della specie per i diversi contesti locali di indagine e definire l'idoneità delle aree, per contesto di indagine.

Futuri sviluppi per l'analisi di distribuzione del lupo nel territorio di Pistoia, potrebbero prendere in considerazione indici che esprimono ancora più nel dettaglio il grado di complessità paesaggistica e l'interconnessione fra gli habitat, come per esempio l'indice di dimensione frattale, l'indice di ecotono, l'indice di diversità ambientale di Shannon e Wiener, l'indice di diversità ambientale di Simpson.

Si ritiene che la metodologia proposta e verificata nel presente elaborato sulla stima della distribuzione del lupo possa rivestire un ruolo importante nella comprensione del fenomeno, fornendo strumenti in grado di approfondire le relazioni e le interazioni fra le variabili determinanti. Le informazioni fornite dall'applicazione di tale metodo, inoltre, possono aumentare l'efficienza della pianificazione del monitoraggio, ottimizzando gli sforzi di campionamento per le aree ritenute maggiormente idonee. Tali indagini costituiscono un valido contributo anche per la gestione dei conflitti con le attività umane, in particolare con l'allevamento di bestiame domestico, attraverso l'individuazione delle aree a maggior rischio di conflitto, al fine di ottimizzare l'impiego di pratiche di prevenzione contro gli attacchi dei predatori ed una più mirata ed efficace strategia di indennizzo.

# ELENCO DELLE FIGURE

FIGURA 1 – CLASSIFICAZIONE DELLE POPOLAZIONI EUROPEE DI LUPO [1].....	12
FIGURA 2. DISTRIBUZIONE DEL LUPO IN ITALIA NEL 2015 (MARRONE = PRESENZA PERMANENTE; GIALLO = PRESENZA SPORADICA, VERDE = DATI DELLA DISTRIBUZIONE DELLA SPECIE NEL 2012) [2]. .....	15
FIGURA 3. RAPPRESENTAZIONE DEL RAPPORTO TRA I PUNTI DI PRESENZA DELLA SPECIE E I DATI AMBIENTALI (A SINISTRA), LO SPAZIO AMBIENTALE (AL CENTRO) E LE PREVISIONI DI UN MODELLO UTILIZZANDO SOLO PREDITTORI AMBIENTALI (A DESTRA). SI OSSERVA CHE LE Distanze inter-siti nello spazio geografico potrebbero essere piuttosto diverse da quelle dello spazio ambientale (A e C sono vicine geograficamente, ma non nello spazio ambientale) [57]. .....	23
FIGURA 4. SCHEMA DEL PROCESSO METODOLOGICO UTILIZZATO. ....	25
FIGURA 5. RAPPRESENTAZIONE DELLE DENSITÀ DI PROBABILITÀ. LE MAPPE A SINISTRA SONO DUE COVARIATE DI ESEMPIO (TEMPERATURA E PRECIPITAZIONE). AL CENTRO SONO RAPPRESENTATE LE LOCALIZZAZIONI DEI CAMPIONI DI PRESENZA E DI BACKGROUND. A DESTRA LE STIME DI DENSITÀ MOSTRANO LE DISTRIBUZIONI PER I CAMPIONI DI PRESENZA (IN ALTO A DESTRA) E DI FONDO (IN BASSO A DESTRA) [62].....	27
FIGURA 6. (A) VARIAZIONE DELLA PERCENTUALE DI SUCCESSO NELLA PREDIZIONE DELLE PRESENZE (LINEA CONTINUA) E DELLE ASSENZE (LINEA SPEZZATA) CON LA VARIAZIONE DELLA SOGLIA UTILIZZATA PER DISCRIMINARE LE DUE CONDIZIONI VERIFICABILI DA UNA VARIABILE DI PROBABILITÀ CONTINUA. LA FRECCIA RAPPRESENTA LA SOGLIA CHE MINIMIZZA LA DIFFERENZA TRA SENSIBILITÀ E SPECIFICITÀ. (B) ROC PLOT IN CUI LA FRECCIA MOSTRA IL PUNTO DI SOGLIA [67]. .....	29
FIGURA 7. AREA DI STUDIO DEL PROGETTO DI MONITORAGGIO DEL LUPO NELLA PROVINCIA DI PISTOIA (FONTE: CASTANEA). .....	34
FIGURA 8 .....	37
FIGURA 9. RAPPRESENTAZIONE DELLE AREE A DIVIETO DI CACCIA PRESENTI SUL TERRITORIO DI PISTOIA. ....	40
FIGURA 10. I PUNTI IN NERO RAPPRESENTANO LA LOCALIZZAZIONE DEI PUNTI DI PRESENZA DEL LUPO RACCOLTI NELL'AMBITO DEL PROGETTO DI MONITORAGGIO DEL LUPO NELLA PROVINCIA DI PISTOIA. ....	43
FIGURA 11. RASTER USO "AGRICOLO" 5000x5000 M E 2500x2500 M. RASTER USI 250x250 M ...	45
FIGURA 12. RASTER PER LA VARIABILE ALTITUDINALE PER LE TRE RISOLUZIONI: 5000x5000 M (A SINISTRA), 2500x2500 M (AL CENTRO), 250x250 M (A DESTRA). .....	46
FIGURA 13. RASTER DI DISTANZA DALLE AREE A DIVIETO DI CACCIA PER LE TRE RISOLUZIONI: 5000x5000 M (A SINISTRA), 2500x2500 M (AL CENTRO), 250x250 M (A DESTRA). .....	47
FIGURA 14. RASTER DI DISTANZA DALLE INFRASTRUTTURE PER LE TRE RISOLUZIONI: 5000x5000 M (A SINISTRA), 2500x2500 M (AL CENTRO), 250x250 M (A DESTRA). .....	47
FIGURA 15. RATER INFORMATIVO DELLA DISTRIBUZIONE DI UTILIZZO (UD) DELLE PREDE PER LE TRE RISOLUZIONI: 5000x5000 M (A SINISTRA), 2500x2500 M (AL CENTRO), 250x250 M (A DESTRA). .....	48

FIGURA 16. CURVA ROC DELLE PERFORMANCE MEDIE DELLE CINQUE REITERAZIONI PER IL MODELLO 5A (A SINISTRA) E PER IL MODELLO 5B (A DESTRA.).....	50
FIGURA 17. MAPPE DI IDONEITÀ ELABORATE PER IL MODELLO 5A (A SINISTRA) E PER IL MODELLO 5B (A DESTRA). .....	51
FIGURA 18. CONTRIBUTO PERCENTUALE (CP) E IMPORTANZA DI PERMUTAZIONE PERCENTUALE (IPP) DELLE VARIABILI DEL MODELLO 5A (A SINISTRA) E DEL MODELLO 5B (A DESTRA). ...	51
FIGURA 19. RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DI JRR APPLICATO AL MODELLO 5A (SINISTRA) E AL MODELLO 5B (DESTRA). IN BLU SONO RIPORTATI I VALORI DI AUC REGISTRATI PER MODELLI CHE CONSIDERANO UNA SOLA VARIABILE ALLA VOLTA; IN VERDE SONO RIPORTATI I VALORI DI AUC PER I MODELLI CHE CONSIDERANO L'INTERO SET DI VARIABILI MENO QUELLA IN ORDINATA. ....	52
FIGURA 20. MAPPE DI IDONEITÀ ELABORATE PER IL MODELLO 2,5A (A SINISTRA) E PER IL MODELLO 2,5B (A DESTRA). .....	54
FIGURA 21. CONTRIBUTO PERCENTUALE (CP) E IMPORTANZA DI PERMUTAZIONE PERCENTUALE (IPP) DELLE VARIABILI DEL MODELLO 2,5A (A SINISTRA) E DEL MODELLO 2,5B (A DESTRA). .....	54
FIGURA 22. RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DI JRR APPLICATO AL MODELLO 2,5A (SINISTRA) E AL MODELLO 2,5B (DESTRA). IN BLU SONO RIPORTATI I VALORI DI AUC REGISTRATI PER MODELLI CHE CONSIDERANO UNA SOLA VARIABILE ALLA VOLTA; IN VERDE SONO RIPORTATI I VALORI DI AUC PER I MODELLI CHE CONSIDERANO L'INTERO SET DI VARIABILI MENO QUELLA IN ORDINATA. ....	55
FIGURA 23. CURVA ROC DELLE PERFORMANCE MEDIE DELLE CINQUE REITERAZIONI PER IL MODELLO A (A SINISTRA) E PER IL MODELLO B (A DESTRA.).....	56
FIGURA 24. PROBABILITÀ DI DISTRIBUZIONE DELLA SPECIE IN RELAZIONE ALLA VARIABILE ALTITUDINALE (DEM). CURVE DI RISPOSTA MARGINALE PER IL MODELLO A (SINISTRA) E PER IL MODELLO B (DESTRA). .....	58
FIGURA 25. FREQUENZA DI DISTRIBUZIONE PER LE QUOTE ALTIMETRICHE NEL TERRITORIO DI INDAGINE. ....	58
FIGURA 26. MODELLO DIGITALE DI ELEVAZIONE (DEM) PER IL TERRITORIO DI PISTOIA. ....	59
FIGURA 27. RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DI JRR APPLICATO AL MODELLO A (IN ALTO) E AL MODELLO B (IN BASSO). IN BLU SONO RIPORTATI I VALORI DI AUC REGISTRATI PER MODELLI CHE CONSIDERANO UNA SOLA VARIABILE ALLA VOLTA; IN VERDE SONO RIPORTATI I VALORI DI AUC PER I MODELLI CHE CONSIDERANO L'INTERO SET DI VARIABILI MENO QUELLA IN ORDINATA. ....	60
FIGURA 28. CURVA ROC DELLE PERFORMANCE MEDIE DELLE CINQUE REITERAZIONI PER IL MODELLO C.....	61
FIGURA 29. PROBABILITÀ DI DISTRIBUZIONE DELLA SPECIE PER IL MODELLO C IN RELAZIONE ALLA VARIABILE ALTITUDINALE (SINISTRA) E IN RELAZIONE ALLA UD DELLE PREDE (A DESTRA). .....	62
FIGURA 30. RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DI JRR APPLICATO AL MODELLO C. IN BLU SONO RIPORTATI I VALORI DI AUC REGISTRATI PER MODELLI CHE CONSIDERANO UNA SOLA	

VARIABLE ALLA VOLTA; IN VERDE SONO RIPOSTATI I VALORI DI AUC PER I MODELLI CHE CONSIDERANO L'INTERO SET DI VARIABILI MENO QUELLA IN ORDINATA. ....	62
FIGURA 31. CURVA ROC DELLE PERFORMANCE MEDIE DELLE CINQUE REITERAZIONI PER IL MODELLO E: PERIODO MAGGIO-OTTOBRE (A SINISTRA), PERIODO NOVEMBRE-APRILE (A DESTRA). ....	63
FIGURA 32. RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DI JRR APPLICATO AL MODELLO E PER IL PERIODO MAGGIO-OTTOBRE. IN BLU SONO RIPOSTATI I VALORI DI AUC REGISTRATI PER MODELLI CHE CONSIDERANO UNA SOLA VARIABILE ALLA VOLTA; IN VERDE SONO RIPOSTATI I VALORI DI AUC PER I MODELLI CHE CONSIDERANO L'INTERO SET DI VARIABILI MENO QUELLA IN ORDINATA. ....	65
FIGURA 33. RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DI JRR APPLICATO AL MODELLO E PER IL PERIODO NOVEMBRE-APRILE. IN BLU SONO RIPOSTATI I VALORI DI AUC REGISTRATI PER MODELLI CHE CONSIDERANO UNA SOLA VARIABILE ALLA VOLTA; IN VERDE SONO RIPOSTATI I VALORI DI AUC PER I MODELLI CHE CONSIDERANO L'INTERO SET DI VARIABILI MENO QUELLA IN ORDINATA. ....	65
FIGURA 34. MAPPA DI IDONEITÀ PER IL LUPO NEL PERIODO MAGGIO-OTTOBRE. IN ROSSO I PUNTI DI RISPOSTA DELLE SESSIONI DI WOLF-HOWLING. ....	66
FIGURA 35. PROBABILITÀ DI DISTRIBUZIONE DELLA SPECIE PER IL MODELLO E IN RELAZIONE ALLA VARIABILE ALTITUDINALE PER I PERIODI MAGGIO-OTTOBRE (A SINISTRA) E NOVEMBRE-APRILE (A DESTRA). ....	67
FIGURA 36. PROBABILITÀ DI DISTRIBUZIONE DELLA SPECIE PER IL MODELLO E IN RELAZIONE ALLA VARIABILE DI DISTANZA DALLE AREE A DIVIETO DI CACCIA: PERIODO MAGGIO-OTTOBRE (A SINISTRA); PERIODO NOVEMBRE-APRILE (A DESTRA). ....	67
FIGURA 37. PROBABILITÀ DI DISTRIBUZIONE DELLA SPECIE PER IL MODELLO E IN RELAZIONE ALLA DISTRIBUZIONE DI UTILIZZO DELLE PREDE (UD): PERIODO MAGGIO-OTTOBRE (A SINISTRA); PERIODO NOVEMBRE-APRILE (A DESTRA). ....	67
FIGURA 38. CURVA ROC DELLE PERFORMANCE MEDIE DELLE CINQUE REITERAZIONI PER IL MODELLO G: STAGIONE NON VENATORIA (A SINISTRA), STAGIONE VENATORIA (A DESTRA). ....	70
FIGURA 39. MAPPA DI IDONEITÀ ELABORATA PER IL LUPO NELLA STAGIONE VENATORIA. PERIODO MAGGIO-OTTOBRE. IN GIALLO L'AREA DI RIPOPOLAMENTO E CATTURA "ZRC – PISTOIA NORD-OVEST". ....	71
FIGURA 40. PROBABILITÀ DI DISTRIBUZIONE DELLA SPECIE PER IL MODELLO G IN RELAZIONE ALLA VARIABILE ALTITUDINALE PER LA STAGIONE NON VENATORIA (A SINISTRA) E LA STAGIONE VENATORIA (A DESTRA). ....	71
FIGURA 41. PROBABILITÀ DI DISTRIBUZIONE DELLA SPECIE PER IL MODELLO G IN RELAZIONE ALLA VARIABILE DI DISTANZA DALLE AREE A DIVIETO DI CACCIA: STAGIONE NON VENATORIA (A SINISTRA); STAGIONE VENATORIA (A DESTRA). ....	72
FIGURA 42. MAPPE DI IDONEITÀ ELABORATA PER IL LUPO PER L'AUTUNNO (SINISTRA) E L'INVERNO (DESTRA). ....	74
FIGURA 43. MAPPE DI IDONEITÀ ELABORATA PER IL LUPO PER LA PRIMAVERA (SINISTRA) E L'ESTATE (DESTRA). ....	74

FIGURA 44. PROBABILITÀ DI DISTRIBUZIONE DELLA SPECIE PER IL MODELLO H IN RELAZIONE ALLA VARIABILE DI DISTANZA DALLE AREE A DIVIETO DI CACCIA PER LE STAGIONI ANALIZZATE.	75
FIGURA 45. PROBABILITÀ DI DISTRIBUZIONE DELLA SPECIE PER IL MODELLO H IN RELAZIONE ALLA VARIABILE DI DISTANZA DALLE INFRASTRUTTURE.....	76
FIGURA 46. RIPARTIZIONE DELLA DISTRIBUZIONE DI PROBABILITÀ PER GLI USI DEL SUOLO UTILIZZATI. ....	76
FIGURA 47. RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DI JRR APPLICATO AL MODELLO H PER L’AUTUNNO. IN BLU SONO RIPORTATI I VALORI DI AUC REGISTRATI PER MODELLI CHE CONSIDERANO UNA SOLA VARIABILE ALLA VOLTA; IN VERDE SONO RIPORTATI I VALORI DI AUC PER I MODELLI CHE CONSIDERANO L’INTERO SET DI VARIABILI MENO QUELLA IN ORDINATA. ....	77
FIGURA 48. RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DI JRR APPLICATO AL MODELLO H PER L’INVERNO. IN BLU SONO RIPORTATI I VALORI DI AUC REGISTRATI PER MODELLI CHE CONSIDERANO UNA SOLA VARIABILE ALLA VOLTA; IN VERDE SONO RIPORTATI I VALORI DI AUC PER I MODELLI CHE CONSIDERANO L’INTERO SET DI VARIABILI MENO QUELLA IN ORDINATA. ....	77
FIGURA 49. RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DI JRR APPLICATO AL MODELLO H PER LA PRIMAVERA. IN BLU SONO RIPORTATI I VALORI DI AUC REGISTRATI PER MODELLI CHE CONSIDERANO UNA SOLA VARIABILE ALLA VOLTA; IN VERDE SONO RIPORTATI I VALORI DI AUC PER I MODELLI CHE CONSIDERANO L’INTERO SET DI VARIABILI MENO QUELLA IN ORDINATA. ....	77
FIGURA 50. RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DI JRR APPLICATO AL MODELLO H PER L’ESTATE. IN BLU SONO RIPORTATI I VALORI DI AUC REGISTRATI PER MODELLI CHE CONSIDERANO UNA SOLA VARIABILE ALLA VOLTA; IN VERDE SONO RIPORTATI I VALORI DI AUC PER I MODELLI CHE CONSIDERANO L’INTERO SET DI VARIABILI MENO QUELLA IN ORDINATA. ....	78
FIGURA 51. A SINISTRA MODELLO DIGITALE DI ELEVAZIONE (DEM) E AREA DI CENSIMENTO DEGLI UNGULATI DI COMPETENZA DELL’ATC16. A DESTRA IN NERO LE LOCALIZZAZIONI DEI CENSIMENTI A VISTA DEGLI UNGULATI.....	79
FIGURA 52. PROCEDURA DI AUMENTO DELLE LOCALIZZAZIONI DEI CENSIMENTI DEGLI UNGULATI SECONDO PATTERN CASUALI. ....	80
FIGURA 53. MAPPA DI IDONEITÀ ELABORATA PER IL LUPO IN AUTUNNO PER I DATI REALI (SINISTRA) E PER I DATI DI SIMULAZIONE (DESTRA).....	81
FIGURA 54. MAPPA DI IDONEITÀ ELABORATA PER IL LUPO IN INVERNO PER I DATI REALI (SINISTRA) E PER I DATI DI SIMULAZIONE (DESTRA). ....	81
FIGURA 55. MAPPA DI IDONEITÀ ELABORATA PER IL LUPO IN PRIMAVERA PER I DATI REALI (SINISTRA) E PER I DATI DI SIMULAZIONE (DESTRA).....	82
FIGURA 56. MAPPA DI IDONEITÀ ELABORATA PER IL LUPO IN ESTATE PER I DATI REALI (SINISTRA) E PER I DATI DI SIMULAZIONE (DESTRA). ....	82
FIGURA 57. RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DI JRR APPLICATO AL MODELLO W PER IL PERIODO AUTUNNALE. IN BLU SONO RIPORTATI I VALORI DI AUC REGISTRATI PER MODELLI CHE CONSIDERANO UNA SOLA VARIABILE ALLA VOLTA; IN VERDE SONO RIPORTATI I VALORI DI AUC PER I MODELLI CHE CONSIDERANO L’INTERO SET DI VARIABILI MENO QUELLA IN ORDINATA. ....	83
FIGURA 58. RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DI JRR APPLICATO AL MODELLO W PER IL PERIODO INVERNALE. IN BLU SONO RIPORTATI I VALORI DI AUC REGISTRATI PER MODELLI CHE	

CONSIDERANO UNA SOLA VARIABILE ALLA VOLTA; IN VERDE SONO RIPORTATI I VALORI DI  
AUC PER I MODELLI CHE CONSIDERANO L'INTERO SET DI VARIABILI MENO QUELLA IN  
ORDINATA. ....83

# ELENCO DELLE TABELLE

TABELLA 1: ELENCO DELLE VARIABILI UTILIZZATE PER L'ELABORAZIONE DEI MODELLI .....	36
TABELLA 2.....	37
TABELLA 3. MATRICE DI CORRELAZIONE CALCOLATA SU VALORI STANDARDIZZATI DELLE VARIABILI. ....	37
TABELLA 4. TIPOLOGIA DI PUNTI DI PRESENZA ANALIZZATI. ....	43
TABELLA 5. CATEGORIE DI USO DEL SUOLO RICLASSIFICATE E UTILIZZATE PER L'ANALISI.....	45
TABELLA 6. PARAMETRI UTILIZZATI NEI MODELLI DI DISTRIBUZIONE DEL LUPO.....	49
TABELLA 7. VALORI DI AUC PER IL MODELLO CON LE SOLE VARIABILI AMBIENTALI (5A) E PER IL MODELLO CON TUTTE LE VARIABILI (5B) .....	50
TABELLA 8. CONFRONTO FRA I VALORI DI AUC PER LE I MODELLI ELABORATI CON RISOLUZIONE 5000x5000 M (5A E 5B) E CON RISOLUZIONE 2500x2500 M (2,5A E 2,5B). ....	53
TABELLA 9. CONTRIBUTO PERCENTUALE (CP) E IMPORTANZA DI PERMUTAZIONE PERCENTUALE (IPP) DELLE VARIABILI DEL MODELLO A.....	57
TABELLA 10. CONTRIBUTO PERCENTUALE (CP) E IMPORTANZA DI PERMUTAZIONE PERCENTUALE (IPP) DELLE VARIABILI DEL MODELLO B.....	57
TABELLA 11. CONTRIBUTO PERCENTUALE (CP) E IMPORTANZA DI PERMUTAZIONE PERCENTUALE (IPP) DELLE VARIABILI DEL MODELLO C.....	61
TABELLA 12.. CONFRONTO DEI VALORI DI AUC PER IL MODELLO B E C. ....	61
TABELLA 13. CONTRIBUTO PERCENTUALE (CP) E IMPORTANZA DI PERMUTAZIONE PERCENTUALE (IPP) DELLE VARIABILI PER IL PERIODO MAGGIO-OTTOBRE.....	64
TABELLA 14. CONTRIBUTO PERCENTUALE (CP) E IMPORTANZA DI PERMUTAZIONE PERCENTUALE (IPP) DELLE VARIABILI PER IL PERIODO NOVEMBRE-APRILE. ....	64
TABELLA 15. CONTRIBUTO PERCENTUALE (CP) E IMPORTANZA DI PERMUTAZIONE PERCENTUALE (IPP) DELLE VARIABILI PER LA STAGIONE VENATORIA.....	69
TABELLA 16. CONTRIBUTO PERCENTUALE (CP) E IMPORTANZA DI PERMUTAZIONE PERCENTUALE (IPP) DELLE VARIABILI PER LA STAGIONE NON VENATORIA. ....	69
TABELLA 17. CONFRONTO DEI VALORI DI AUC PER LA STAGIONE VENATORIA E NON VENATORIA. ....	70
TABELLA 18. . CONFRONTO DEI VALORI DI AUC PER IL MODELLO STAGIONALE H.....	72
TABELLA 19. CONTRIBUTO PERCENTUALE (CP) E IMPORTANZA DI PERMUTAZIONE PERCENTUALE (IPP) DELLE VARIABILI PER IL MODELLO STAGIONALE H. ....	73
TABELLA 20. CONFRONTO DEI VALORI DI AUC PER IL MODELLO STAGIONALE H E W. ....	80
TABELLA 21. CONFRONTO DEI VALORI DI AUC PER LE TRE RISOLUZIONI INDAGATE.....	85
TABELLA 22. CONFRONTO DEI VALORI DI AUC PER TUTTI I MODELLI PRESI IN ESAME. ....	85
TABELLA 23. TABELLA DI RELAZIONE TRA LA FUNZIONE DI UD MINIMA, MASSIMA E MEDIA E LE QUOTE ALTIMETRICHE, PER OGNI TIPO DI USO DEL SUOLO CONSIDERATO.....	87

## 6 BIBLIOGRAFIA

- [1] L. Boitani, “Key actions for Large Carnivore populations in Europe,” 2015.
- [2] L. Boitani *et al.*, “Piano di conservazione e gestione del lupo in Italia Piano di conservazione e gestione del lupo in Italia,” 2015.
- [3] S. J. Phillips, R. P. Anderson, and R. E. Schapire, “Maximum entropy modeling of species geographic distributions,” *Ecol. Modell.*, vol. 190, no. 3–4, pp. 231–259, Jan. 2006.
- [4] L. Boitani, “Ecological and cultural diversities in the evolution of wolf-human relationships. In Ecology and conservation of wolves in a changing world: 3-12. Carbyn, L. N., Fritts, S. H., and Seip, D. R.(Eds.). Edmonton: Canadian Circumpolar Inst,” 1995.
- [5] U. Breitenmoser, “Large predators in the Alp: the fall and rise of man’s competitors,” *Biol. Conserv.*, vol. 83, pp. 279–289, 1998.
- [6] D. Huber and H. U. Roth, “Movements of european brown bears in croatia,” *Acta Theriologica*, vol. 38. pp. 151–159, 1993.
- [7] J. L. Weaver, P. C. Paquet, and L. F. Ruggiero, “Resilience and Conservation of Large Carnivores in the Rocky Mountains,” *Conserv. Biol.*, vol. 10, no. 4, pp. 964–976, 1996.
- [8] E. B. Nilsen, I. Herfindal, and J. D. C. Linnell, “Can intra-specific variation in carnivore home-range size be explained using remote-sensing estimates of environmental productivity?,” *Ecoscience*, vol. 12, no. 1, pp. 68–75, 2005.
- [9] I. Herfindal, J. D. C. Linnell, J. Odden, E. B. Nilsen, and R. Andersen, “Prey density, environmental productivity and home-range size in the Eurasian lynx (*Lynx lynx*),” *J. Zool., L.*, vol. 265, pp. 63–71, 2005.
- [10] J. D. C. Linnell *et al.*, “Home range size and choice of management strategy for lynx in Scandinavia,” *Environ. Manage.*, vol. 27, no. 6, pp. 869–879, 2001.
- [11] C. Carroll, P. C. Paquet, and R. F. Noss, “Modeling carnivore habitat in the rocky mountain region: a literature review and suggested strategy,” *World Wildl. Fund Canada*, no. May 2014, pp. 1–104, 2000.
- [12] E. Pulliainen, “The status, structure and behaviour of populations of the wolf (*Canis l. lupus L.*) along the Fenno-Soviet border,” *Annales Zoologici Fennici*, vol. 17. pp. 107–112, 1980.
- [13] H. Ansorge, G. Kluth, and S. Hahne, “Feeding ecology of wolves *Canis*

- lupus returning to Germany,” *Acta Theriol. (Warsz.)*, vol. 51, no. 1, pp. 99–106, Mar. 2006.
- [14] J. C. Blanco, S. Reig, and L. de la Cuesta, “Distribution, status and conservation problems of the wolf *Canis lupus* in Spain,” *Biol. Conserv.*, vol. 60, no. 2, pp. 73–80, Dec. 1992.
- [15] J. Linnel, V. Salvatori, and L. Boitani, “Guidelines for population level management plans for large carnivores in Europe. A Large Carnivore Initiative for Europe report prepared for the European Commission,” *Contract 070501/2005/424162/MAR/B2*, no. 70501, p. 85, 2008.
- [16] A. Meriggi, P. Rosa, A. Brangi, and C. Matteucci, “Habitat use and diet of the wolf in northern Italy,” *Acta Theriol. (Warsz.)*, vol. 36, no. 1–2, pp. 141–151, 1991.
- [17] N. I. Gilio, C. L. Campi, C. A. Oppio, and A. L. Meriggi, “Distribuzione E Uso Dell ’ Habitat Del Lupo ( *Canis Lupus* L ., 1758 ) Nell ’ Alto Appennino Reggiano,” *Hystrix It. J. Mamm.*, vol. 15, no. 2, pp. 39–54, 2004.
- [18] A. Massolo and A. Meriggi, “Factors affecting habitat occupancy by wolves in northern Apennines (northern Italy): a model of habitat suitability,” *Ecography (Cop.)*, vol. 21, no. September 2016, pp. 97–107, 1998.
- [19] W. Jedrzejewski, B. Jedrzejewska, B. Zawadzka, T. Borowik, S. Nowak, and R. W. Myszajek, “Habitat suitability model for Polish wolves *Canis lupus* based on long-term national census,” *Anim. Conserv.*, vol. 11, no. October 2008, pp. 377–390, 2008.
- [20] C. Glenz, A. Massolo, D. Kuonen, and R. Schlaepfer, “A wolf habitat suitability prediction study in Valais (Switzerland),” *Landsc. Urban Plan.*, vol. 55, no. 1, pp. 55–65, 2001.
- [21] L. Cayuela, “Habitat evaluation for the Iberian wolf *Canis lupus* in Picos de Europa National Park, Spain,” *Appl. Geogr.*, vol. 24, no. 3, pp. 199–215, 2004.
- [22] M. J. Potvin, T. D. Drummer, J. A. Vucetich, D. E. Beyer, R. O. Peterson, and J. H. Hammill, “Monitoring and Habitat Analysis for Wolves in Upper Michigan,” *J. Wildl. Manage.*, vol. 69, no. 4, pp. 641–56, Nov. 2005.
- [23] D. J. Mladenoff, T. A. Sickley, R. G. Haight, and A. P. Wydeven, “A regional landscape analysis and prediction of favorable gray wolf habitat in the northern great lakes region,” - *Conserv. Biol.*, vol. 9, no. 2, pp. 279–294, 1995.

- [24] D. J. Mladenoff and T. A. Sickley, "Assessing Potential Gray Wolf Restoration in the Northeastern United States: A Spatial Prediction of Favorable Habitat and Potential Population Levels," *J. Wildl. Manage.*, vol. 62, no. 1, p. 1, 1998.
- [25] V. Salvatori, H. Okarma, O. Ionescu, Y. Dovhanych, S. Find'o, and L. Boitani, "Hunting legislation in the Carpathian Mountains: implications for the conservation and management of large carnivores," *Wildlife Biol.*, vol. 8, no. 1, pp. 3–10, 2002.
- [26] W. Jędrzejewski, M. Niedziałkowska, S. Nowak, and B. Jędrzejewska, "Habitat variables associated with wolf (*Canis lupus*) distribution and abundance in northern Poland," *Divers. Distrib.*, vol. 10, no. 3, pp. 225–233, 2004.
- [27] T. M. Gehring and B. A. Potter, "Wolf habitat analysis in Michigan : An example of the need for proactive land management for carnivore species," *Wildl. Soc. Bull.*, vol. 33, no. 4, pp. 1237–1244, 2005.
- [28] J. Karlsson, H. Brøseth, H. Sand, and H. Andrén, "Predicting occurrence of wolf territories in Scandinavia," *J. Zool.*, vol. 272, no. 3, pp. 276–283, 2007.
- [29] B. W. Dale, L. G. Adams, and R. T. Bowyer, "Functional Response of Wolves Preying on Barren-Ground Caribou in a Multiple-Prey Ecosystem," *J. Anim. Ecol.*, vol. 63, no. 3, p. 644, Jul. 1994.
- [30] A. Meriggi and S. Lovari, "A review of wolf predation in southern Europe: does the wolf prefer wild prey to livestock?," *J. Appl. Ecol.*, vol. 33, pp. 1561–1571, 1996.
- [31] L. D. Mech, "The Challenge and Opportunity of Recovering Wolf Populations The Challenge and Opportunity of Recovering Wolf Populations," *Conserv. Biol.*, vol. 9, no. 2, pp. 270–278, 1995.
- [32] J. Blanco and Y. Cortés, "Ecología, censos, percepción y evolución del lobo en España: análisis de un conflicto," *Soc. Española para la Conserv. y Estud. los Mamíferos*, p. 176, 2002.
- [33] C. Carroll, W. J. Zielinski, and R. F. Noss, "Using Presence-Absence Data to Build and Test Spatial Habitat Models for the Fisher in the Klamath Region, U.S.A.," *Conserv. Biol.*, vol. 13, no. 6, pp. 1344–1359, 1999.
- [34] L. Llana, J. V. López-Bao, and V. Sazatornil, "Insights into wolf presence in human-dominated landscapes: The relative role of food availability, humans and landscape attributes," *Divers. Distrib.*, vol. 18, no. 5, pp. 459–469, 2012.

- [35] M. Basille *et al.*, “What Shapes Eurasian Lynx Distribution in Human Dominated Landscapes : Selecting Prey or Avoiding People ?,” *Ecography (Cop.)*, vol. 32, no. 4, pp. 683–691, 2009.
- [36] J. C. Blanco and Y. Cortés, “Dispersal patterns, social structure and mortality of wolves living in agricultural habitats in Spain,” *J. Zool.*, vol. 273, no. 1, pp. 114–124, 2007.
- [37] R. Woodroffe, “Predators and people: using human densities to interpret declines of large carnivores,” *Anim. Conserv.*, vol. 3, no. 2, pp. 165–173, 2000.
- [38] R. Woodroffe and J. R. Ginsberg, “Edge Effects and the Extinction of Populations Inside Protected Areas,” *Science (80-. )*, vol. 280, no. 5372, pp. 2126–2128, 1998.
- [39] L. Boitani, “Action Plan for the conservation of the wolves ( *Canis lupus* ) in Europe,” *Conv. Conserv. Eur. Wildl. Nat. HABITATS*, no. June, pp. 22–24, 2000.
- [40] F. Corsi, E. Duprè, and L. Boitani, “A Large-Scale Model of Wolf Distribution in Italy for Conservation Planning,” *Conserv. Biol.*, vol. 13, no. 1, pp. 150–159, 1999.
- [41] M. B. Araújo and M. New, “Ensemble forecasting of species distributions,” *Trends Ecol. Evol.*, vol. 22, no. 1, pp. 42–47, 2007.
- [42] S. Ferrier, “Extended statistical approaches to modelling spatial pattern in biodiversity in northeast New SouthWales. I. Species-level modelling,” *Biodivers. Conserv.*, vol. 11, pp. 2275–2307, 2002.
- [43] S. A. Levin, “The problem of pattern and scale in ecology,” *Ecology*, vol. 73, no. 6. pp. 1943–1967, 1992.
- [44] B. G. Mackey and D. B. Lindenmayer, “Towards a hierarchical framework for modelling the spatial distribution of animals,” *J. Biogeogr.*, pp. 1147–1166, 2001.
- [45] J. F. Addicott, J. M. Aho, M. F. Antolin, D. K. Padilla, J. S. Richardson, and D. a Soluk, “Ecological neighborhoods: scaling environmental patterns,” *Oikos*, vol. 49, no. February, pp. 340–346, 1987.
- [46] C. Vila, V. Urios, and J. Castroviejo, “Ecología del lobo en la Cabrera (Leon) y la Carballeda (Zamora),” *El lobo*, no. ZOOREC:ZOOR13000020651, pp. 95–108, 1990.
- [47] L. Boitani, “Wolf management in intensively used areas of Italy,” *Wolves of the world*, pp. 158–172, 1982.
- [48] L. D. Mech and P. D. Karns, “Role of the wolf in a deer decline in the Superior National Forest,” 1977.

- [49] R. O. Peterson, J. D. Woolington, and T. N. Bailey, "Wolves of teh Kenai peninsula, Alaska," *Wildl. Monogr.*, no. 88, pp. 3–52, 1984.
- [50] T. K. Fuller and L. B. Keith, "Wolf Population Dynamics and Prey Relationships in Northeastern Alberta," *J. Wildl. Manage.*, vol. 44, no. 3, pp. 583–602, 1980.
- [51] T. T. Schulz and L. A. Joyce, "A spatial application of a marten habitat model," *Wildl. Soc. Bull.*, vol. 20, no. 1, pp. 74–83, 1992.
- [52] C. Grilo, G. Moço, A. T. Cândido, A. S. Alexandre, and F. Petrucci-Fonseca, "Challenges for the recovery of the Iberian wolf in the Douro river south region," *Rev. Biol.*, vol. 20, no. January, pp. 121–133, 2002.
- [53] M. G. C. Seara, "Predicting Occurrence Of Iberian Wolf: The Role Of Sample Size And Spatial Scale," 2013.
- [54] M. G. Turner *et al.*, "Usefulness of spatially explicit population models in land management," *Ecol. Appl.*, vol. 5, no. 1, pp. 12–16, 1995.
- [55] R. P. Thiel, "Relationship between Road Densities and Wolf Habitat Suitability in Wisconsin," *Am. Midl. Nat.*, vol. 113, no. 2, pp. 404–407, 1985.
- [56] L. D. Mech, "Estimated costs of maintaining a recovered wolf population in agricultural regions of Minnesota," *Wildl. Soc. Bull.*, vol. 26, no. 4, pp. 817–822, 1998.
- [57] J. Elith and J. R. Leathwick, "Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time," *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, vol. 40, no. 1, pp. 677–697, 2009.
- [58] J. Franklin, "Mapping species distributions. Spatial inference and prediction," *Ecol. Biodivers. Conserv.*, vol. 53, no. 9, p. 340, 2009.
- [59] S. Ferrier, M. Drielsma, G. Manion, and G. Watson, "Extended statistical approaches to modelling spatial pattern in biodiversity in northeast New South Wales. II," *Biodivers. Conserv.*, vol. 11, no. 12, pp. 2309–2338, 2002.
- [60] J. R. Leathwick, J. Elith, W. L. Chadderton, D. Rowe, and T. Hastie, "Dispersal, disturbance and the contrasting biogeographies of New Zealand's diadromous and non-diadromous fish species," *J. Biogeogr.*, vol. 35, no. 8, pp. 1481–1497, 2008.
- [61] E. T. Jaynes, "Information theory and statistical mechanics," *Phys. Rev.*, vol. 106, no. 4, pp. 620–630, 1957.
- [62] J. Elith, S. J. Phillips, T. Hastie, M. Dudík, Y. E. Chee, and C. J. Yates, "A statistical explanation of MaxEnt for ecologists," *Divers. Distrib.*, vol. 17, no. 1, pp. 43–57, Jan. 2011.

- [63] A. Moilanen, "Implications of empirical data quality to metapopulation model parameter estimation and application," *Oikos*, vol. 96, no. NA, pp. 516–530, 2002.
- [64] W. Gu and R. K. Swihart, "Absent or undetected? Effects of non-detection of species occurrence on wildlife-habitat models," *Biol. Conserv.*, vol. 116, no. 2, pp. 195–203, 2004.
- [65] J. Elith *et al.*, "Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data," *Ecography (Cop.)*, vol. 29, no. January, pp. 129–151, 2006.
- [66] J. Elith, S. J. Phillips, T. Hastie, M. Dudík, Y. E. Chee, and C. J. Yates, "A statistical explanation of MaxEnt for ecologists," *Divers. Distrib.*, vol. 17, no. 1, pp. 43–57, 2011.
- [67] J. M. Lobo, A. Jiménez-valverde, and R. Real, "AUC: A misleading measure of the performance of predictive distribution models," *Glob. Ecol. Biogeogr.*, vol. 17, no. 2, pp. 145–151, 2008.
- [68] S. J. Phillips *et al.*, "Sample selection bias and presence-only distribution models : implications for background and pseudo-absence data," *Ecol. Appl.*, vol. 19, no. 1, pp. 181–197, 2009.
- [69] C. F. Dormann *et al.*, "Collinearity: A review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance," *Ecography (Cop.)*, vol. 36, no. 1, pp. 027–046, 2013.
- [70] J. K. Oakleaf *et al.*, "Habitat Selection by Recolonizing Wolves in the Northern Rocky Mountains of the United States," *J. Wildl. Manage.*, vol. 70, no. 2, pp. 554–563, 2006.
- [71] S. Grignolio, E. Merli, P. Bongio, S. Ciuti, and M. Apollonio, "Effects of hunting with hounds on a non-target species living on the edge of a protected area," *Biol. Conserv.*, vol. 144, no. 1, pp. 641–649, 2011.
- [72] P. Sunde, C. R. Olesen, T. L. Madsen, and L. Haugaard, "Behavioural Responses of GPS-Collared Female Red Deer *Cervus elaphus* to Driven Hunts," *Wildlife Biol.*, vol. 15, no. 4, pp. 454–460, 2009.
- [73] J. C. Kilgo, R. F. Labisky, and D. E. Fritzen, "Influences of hunting on the behavior of white-tailed deer: Implications for conservation of the Florida panther," *Conserv. Biol.*, vol. 12, no. 6, pp. 1359–1364, 1998.
- [74] M. Apollonio, S. Ciuti, and S. Luccarini, "Long-term influence of human presence on spatial sexual segregation in fallow deer (*Dama dama*)," *J. Mammal.*, vol. 86, no. 5, pp. 937–946, 2005.
- [75] S. Kaartinen, I. Kojola, and A. Colpaert, "Finnish wolves avoid roads and settlements," *Ann. Zool. Fennici*, vol. 42, no. 5, pp. 523–532, 2005.

- [76] J. D. C. Linnell, J. E. Swenson, and R. Anderson, "Predators and people: conservation of large carnivores is possible at high human densities if management policy is favourable," *Anim. Conserv.*, vol. 4, no. 4, pp. 345–349, 2001.
- [77] J. M. Thurber, R. O. Peterson, T. D. Drummer, and S. A. Thomasma, "Gray Wolf Response to Refuge Boundaries and Roads in Alaska," *Wildl. Soc. Bull.*, vol. 22, no. 1, pp. 61–68, 1994.
- [78] J. C. Blanco, Y. Cortés, and E. Virgós, "Wolf response to two kinds of barriers in an agricultural habitat in Spain," *Can. J. Zool.*, vol. 83, no. 2, pp. 312–323, 2005.
- [79] P. Ciucci, L. Boitani, F. Francisci, and G. Andreoli, "Home range, activity and movements of a wolf pack in central Italy," *J. Zool.*, vol. 243, pp. 803–819, 1997.
- [80] F. W. Hovey and A. S. Harestad, "Estimating Effects of Snow on Shrub Availability for Black-Tailed Deer in Southwestern British Columbia," *Wildl. Soc. Bull.*, vol. 20, no. 3, pp. 308–313, 1992.
- [81] W. Van Winkle, "Comparison of Several Probabilistic Home-Range Models," *J. Wildl. Manage.*, vol. 39, no. 1, p. 118, 1975.
- [82] B. Silverman, "Density estimation for statistics and data analysis," *Monogr. Stat. Appl. Probab.*, vol. 37, no. 1951, p. 176, 1986.
- [83] C. Calenge, "Home Range Estimation in R : the adehabitatHR Package," *R vignette*, pp. 1–60, 2015.
- [84] J. M. Lobo, "More complex distribution models or more representative data?," *Biodivers. Informatics*, vol. 5, pp. 14–19, 2008.
- [85] M. Dudík, R. E. Schapire, S. J. Phillips, P. Ave, and F. Park, "Correcting sample selection bias in maximum entropy density estimation," *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 18, 2006.
- [85] S. A. Laymon and R. H. Barrett, "Developing and testing habitat-capability models: pitfalls and recommendations" *Univ. of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin*, pp. 87-92., 1986.
- [86] L.D. MECH and L. BOITANI, "Wolves. Behavior, Ecology and Conservation," *The University of Chicago Press*, 2003.
- [87] L. Boitani, "Dalla parte del lupo," *Editoriale Giorgio Mondadori*, 1986.
- [88] M.L. Poulle, L. Carles, B. Lequette, "Significance of ungulates in the diet of recently settled wolves in the Mercantour Mountains (Southeastern France)," *Revue d'Ecologie. (Terre Vie)* 52:357-368, 1997