

Progetto LIFE 12 NAT/IT/000807 WOLFALPS

*Wolf in the Alps: implementation of coordinated wolf conservation actions in core areas and beyond
Azione A9*

Relazione tecnica

MODELLO SPAZIALE DI IDONEITÀ AMBIENTALE SUI SITI DI RIPRODUZIONE DEL LUPO NELLE ALPI PIEMONTESI

A cura di:

Elisa Avanzinelli ¹ e Francesca Marucco ²

(¹ Ente di Gestione delle Aree Protette delle Alpi Marittime - Parco Naturale del Marguareis, LIFE WOLFALPS)

(² Centro Gestione e Conservazione Grandi Carnivori - Parco Naturale delle Alpi Marittime, LIFE WOLFALPS)

Settembre 2016

Progetto LIFE 12 NAT/IT/000807 WOLFALPS
A9- Modello Spaziale di Idoneità Ambientale sui i Siti di Riproduzione del lupo nelle Alpi piemontesi

A cura di:

Elisa Avanzinelli (Ente di Gestione delle Aree Protette delle Alpi Marittime - Parco Naturale del Marguareis, LIFE WOLFALPS)
Francesca Marucco (Centro Gestione e Conservazione Grandi Carnivori - Parco Naturale delle Alpi Marittime, LIFE WOLFALPS)

Indicazione per la citazione:

Avanzinelli E. & Marucco F. (2016). Modello spaziale di idoneità ambientale sui siti di riproduzione del lupo nelle Alpi Piemontesi. Report tecnico Progetto LIFE 12 NAT/IT/00080 WOLFALPS - Azione A9.

In collaborazione con:

- Ente di Gestione delle Aree Protette delle Alpi Marittime
- Ente di Gestione delle Aree Protette delle Alpi Cozie
- Ente di Gestione delle Aree Protette dell'Ossola
- Regione Piemonte - Settore Biodiversità e Aree Naturali
- Istituto per le piante da legno e ambiente- I.P.L.A. S.p.a.

Si ringraziano in particolare:

- Davide Sigauco (Ente di Gestione delle Aree Protette delle Alpi Marittime)
- Laura Martinelli (Ente di Gestione delle Aree Protette delle Alpi Marittime)
- Roberto Sindaco (I.P.L.A. S.p.a.)
- Fabio Giannetti (I.P.L.A. S.p.a.)
- Gianbartolomeo Siletto (Regione Piemonte - Settore Sistema Informativo Territoriale e Ambientale)
- Parco Nazionale del Mercantour
- Achaz von Hardenberg
- John F. Benson

Indice

| | |
|---|---------|
| <i>ABSTRACT</i> | pag. 2 |
| 1. INTRODUZIONE, MOTIVAZIONI E FINALITA' DELL'ANALISI | pag. 4 |
| 2. METODI | |
| 2.1 Area di studio | pag. 5 |
| 2.2 Il monitoraggio della popolazione di lupo in Piemonte: i dati per la stima dell'utilizzo delle risorse | pag. 6 |
| 2.3 Le variabili ambientali | pag. 7 |
| 2.4 Analisi dell'uso e della disponibilità delle risorse | pag. 11 |
| 2.5 Elaborazione del Modello Spaziale e creazione della Mappa di Idoneità Ambientale | pag. 12 |
| 3. RISULTATI | |
| 3.1 Il modello spaziale di idoneità ambientale per i siti di riproduzione del lupo | pag. 14 |
| 3.2 La mappa di idoneità ambientale dei siti di riproduzione del lupo | pag. 17 |
| 4. DISCUSSIONE E IMPLICAZIONI GESTIONALI | pag. 21 |
| 4.1 Indicazioni e possibili applicazioni gestionali | pag. 25 |
| 6. BIBLIOGRAFIA | pag. 26 |

ABSTRACT

La perdita di habitat idonei per la riproduzione con lo sviluppo progressivo e rapido delle attività umane, la mortalità accidentale e la persecuzione diretta possono ancora rappresentare una minaccia per la popolazione di lupo alpina, che non ha ancora raggiunto un stato di conservazione soddisfacente, anche se oramai stabile sulle Alpi Occidentali e in espansione verso le regioni orientali alpine. Infatti il disturbo antropico può influenzare la distribuzione del lupo e mettere a rischio la disponibilità di siti di riproduzione idonei, che sono le zone più sensibili alla presenza umana nel periodo estivo. La sopravvivenza dei cuccioli e il loro reclutamento in una popolazione ancora minacciata come quella del lupo sulle Alpi è fondamentale per la conservazione della specie. L'attuazione di piani gestionali locali è un passaggio chiave per implementare le azioni di conservazione sul territorio e diminuire l'impatto della perdita di habitat sulla specie, in coesistenza con lo sviluppo del turismo e di altre attività umane. Le Misure di Conservazione Specie Specifiche (del lupo) e Sito Specifiche, definite per le Aree Protette della Rete Natura 2000 in Piemonte prevedono delle azioni mirate per la conservazione del lupo, con particolare attenzione alle minacce ed ai disturbi nelle aree maggiormente funzionali per la specie, individuate con il Modello di Idoneità Ambientale sui siti di Riproduzione del lupo nelle Alpi Occidentali. Questo modello ha infatti consentito di approfondire i possibili fattori che influenzano l'idoneità per i siti di riproduzione, attraverso una analisi specifica di selezione delle risorse (RSF) e, infine, ha permesso la realizzazione della **Mappa di Idoneità Ambientale sui Siti di Riproduzione del lupo** estesa alla zona alpina piemontese (MIASIR-lupo).

La quantità e qualità dei dati di monitoraggio basata sulle informazioni provenienti da 100 siti di riproduzione documentati dal 1999 al 2016 nell'ambito di diversi Progetti realizzati in Piemonte (Progetto Interreg Italia-Francia, Progetto Lupo, LIFE WOLFALPS), ha consentito una analisi significativa e robusta. Dall'analisi effettuata i siti idonei per la riproduzione del lupo sono risultati essere quelli in assenza di sentieri e di disturbo antropico, alle quote più elevate di copertura boscata con forma irregolare (tipico delle zone marginali dei boschi), facilmente conseguenza del fatto che il lupo evita le zone con alto disturbo antropico presente nel fondovalle. Il lupo, quindi, sembra localizzare i siti di riproduzione nelle zone più remote, dove gli incontri con l'uomo sono meno probabili, tipico adattamento derivato dalla persecuzione diretta. Il modello e la mappa MIASIR diventano quindi, uno strumento gestionale utile per la conservazione della specie, definito

di tipo adattativo, perché può essere adattato nel tempo con nuovi dati su nuove situazioni, mentre al momento il modello è specifico per la zona alpina piemontese.

The loss of suitable habitat for reproduction due to the progressive human development, the incidental mortality and direct persecution can still jeopardize the Alpine wolf population, which has not yet reached a favorable conservation status, although it has a stable distribution over the Western Alps and it is expanding to the eastern Italian Alps. Human disturbance can influence the distribution of the wolf and compromise the availability of suitable breeding sites, which are the most vulnerable areas to human disturbance in summer period. Pup survival and their recruitment in a threaten population is essential for the wolf conservation in the Alps.

The application of management plans is a key step to implement wolf conservation action on a local scale, and decrease the impact by habitat loss, in coexistence with tourism development and other human activities. The Species-Specific and Site-Specific Conservation Measures defined for Network of Natura 2000 Network of Protected Areas in Piemonte, provide targeted actions for the wolf conservation with particular consideration to the threats in the most functional areas for the species identified through the Habitat Suitability Model on wolf reproduction sites in the Western Alps. This model has investigated factors that could influence the suitability for breeding sites through resource selection functions (RSF), and it has allowed the development of a Habitat Suitability Map extended to the Piemonte Alps (MIASIR-wolf).

The excellent monitoring data which consisted in 100 documented breeding sites collected from 1999 to 2016 with wolf projects realized in Piemonte (Interreg project Italy-France, Wolf Project, LIFE WOLFALPS) has enabled this robust analysis.

The suitable sites for wolf reproduction over the Western Alps, were characterized by absence of human trails and disturbance, forests at higher altitudes with irregular shape (typical of the highest peripheral forests), likely because wolves avoid areas with high human disturbance in the bottom valley. So wolves locate breeding sites in remote areas, where they are less contactable and encounters with humans are less likely, typical adaptation derived from the direct persecution. The model and the map (MIASIR- wolf) become an important management tool for wolf conservation. This model is adaptive, because can be adapted over time to new situations where new data will be collected; while at the moment it is specific for the alpine range of Piemonte.

1. INTRODUZIONE, MOTIVAZIONI E FINALITA' DELL'ANALISI

Negli ultimi 20 anni il lupo ha ricolonizzato le Alpi Occidentali grazie alla dispersione naturale di individui provenienti dalla popolazione dell'Appennino settentrionale (Fabbri et al. 2007). La popolazione alpina italiana, oramai insediata stabilmente soprattutto in Piemonte, è in espansione verso le aree alpine orientali, ma non ha ancora raggiunto uno stato di conservazione soddisfacente. La perdita di habitat idonei, causata dallo sviluppo progressivo e veloce delle attività umane invasive, la mortalità accidentale per investimenti e la persecuzione diretta possono ancora rappresentare una minaccia per la sopravvivenza a lungo termine della specie. Il documento "Key actions for Large Carnivore populations in Europe" di Boitani et al. (2015), commissionato dalla UE, evidenzia le azioni principali necessarie da intraprendere per la conservazione del lupo e incentiva l'applicazione di misure adeguate di conservazione da parte delle Amministrazioni Regionali. Quindi la messa in atto di piani territoriali di gestione specifici, orientati a diminuire e controllare l'impatto sulla specie, determinato dalla perdita di habitat in coesistenza con lo sviluppo del turismo e di attività umane, diventa un passaggio chiave e indispensabile per implementare le azioni di conservazione su scala locale, soprattutto nelle aree di presenza stabile della specie. Infatti il disturbo antropico a 360° gradi (insediamenti urbani, densità delle strade e dei sentieri, tagli forestali e uno sviluppo eccessivo del turismo) può influenzare la distribuzione del lupo, minacciandone la sopravvivenza a causa della frammentazione degli habitat adatti, e in particolare, mettere a rischio la disponibilità di siti di riproduzione idonei, che sono le zone più sensibili alla presenza umana nel periodo estivo. La sopravvivenza dei cuccioli e il loro reclutamento in una popolazione ancora minacciata come quella del lupo sulle Alpi, è fondamentale per la conservazione della specie stessa. Quindi l'analisi specifica dei fattori, che influenzano l'idoneità per i siti di riproduzione, è necessaria per evidenziarne e contrastarne le minacce reali o potenziali a livello locale. Per questo motivo lo sviluppo del Modello Spaziale di Idoneità Ambientale sui Siti di Riproduzione del Lupo nelle Alpi Piemontesi e la relativa mappa sono utili strumenti gestionali, che trovano una immediata applicazione nelle Misure di Conservazione Specie Specifiche (del lupo) e Sito Specifiche per SIC e/o ZPS (future ZSC) della Rete Natura 2000 in Piemonte. Le Misure di Conservazione mirano, in generale, ad una gestione territoriale orientata alla tutela della specie e del suo habitat, soprattutto nelle aree di presenza confermata e non solo nei siti di riproduzione.

Per poter individuare quali sono le caratteristiche che influenzano la scelta dei siti di riproduzione

da parte del lupo, è stata effettuata un'analisi sulla selezione delle risorse (RSF) (Manly et al. 2002), che si basa generalmente sul confronto tra l'utilizzo e la disponibilità dell'habitat. La disponibilità delle risorse in natura, di solito, non è uniforme e l'utilizzo da parte di una specie può cambiare al variare della disponibilità. Le risorse utilizzate corrispondono alla quantità di risorsa effettivamente usata dall'animale (o gruppo di animali) in un periodo di tempo definito. La disponibilità di una risorsa, invece, è definita come la quantità accessibile all'animale (o gruppo di animali) durante lo stesso periodo di tempo. L'analisi di selezione delle risorse, in generale, è basata sul confronto di due qualsiasi dei seguenti tre set di dati: uso, non-uso, disponibilità (Manly et al. 2002), dove per non-uso si intendono le risorse non utilizzate dall'animale. Il confronto tra uso e disponibilità è generalmente il disegno di studio più utilizzato (Thomas e Taylor 1990; Garshelis 2000; Jones 2001) e quello applicato in questo lavoro, al fine di ottenere conclusioni valide riguardo la selezione delle risorse e poter definire un modello spaziale predittivo sui siti di riproduzione del lupo nell'arco alpino piemontese.

2. METODI

2.1 Area di studio

Lo sviluppo del modello spaziale di idoneità ambientale sui siti di riproduzione del lupo è stato possibile grazie all'analisi dei dati raccolti nell'area stabile di presenza della specie sulle Alpi occidentali, monitorata nella provincia di Cuneo e Torino ed in una porzione del territorio francese limitrofo nelle Alpi Marittime e Liguri (vedi paragrafo 2.1). Il territorio di indagine comprende le Alpi Liguri, Marittime e Cozie ed è caratterizzato da un'altitudine compresa tra 365 metri s.l.m. e i 3733 metri s.l.m., con vallate alpine i cui dislivelli altitudinali tra le cime rocciose e i fondovalle sono spesso importanti. Al di sotto delle rocce e dei pascoli ci sono ampie estensioni di boschi di conifere e di latifoglie come faggi e castagni. Gli insediamenti antropici sono prevalentemente concentrati nei fondovalle e localmente nei centri turistici in quota, in corrispondenza dei comprensori sciistici o dei rifugi alpini.

L'area di applicazione del modello definitivo è invece estesa a tutta la zona montana e premontana delle Alpi Piemontesi, sul territorio di 483 comuni delle province di Cuneo, Torino, Biella, Novara, Vercelli e Verbano-Cusio-Ossola per una superficie totale di circa 12.642 kmq; territorio che comprende le Alpi Liguri, Marittime, Cozie, Graie, Pennine e Lepontine con un'altitudine compresa

tra 200 metri s.l.m. e i 4.110 metri s.l.m. La superficie protetta è rappresentata da 57 siti Natura 2000 (SIC e ZPS) per una superficie di circa 2.384 kmq, tra cui 2 Parchi Nazionali (Parco Nazionale del Gran Paradiso e Parco Nazionale della Val Grande).

2.2 Il monitoraggio della popolazione di lupo in Piemonte: i dati per la stima dell'utilizzo delle risorse

I dati di presenza del lupo utilizzati per l'elaborazione del modello sono stati raccolti nell'ambito di diversi Progetti di monitoraggio, realizzati in Piemonte in modo continuativo dal 1999 al 2012 (Progetto Interreg Italia-Francia, Progetto Lupo Piemonte) e dal 2015 al 2016 (Azione A4-LIFE WOLFALPS) (dati archivio Centro di Conservazione e Gestione Grandi Carnivori - Parco Naturale Alpi Marittime).

Il monitoraggio del lupo in tutta l'area è sempre stato condotto secondo un protocollo di indagine accurato e scrupoloso, in accordo con le metodologie descritte nel documento "Strategia, criteri e metodi per il monitoraggio dello stato di conservazione della popolazione di lupo sulle alpi italiane" di Marucco et al. (2014).

Dal 1999 al 2012 e nel 2015 (n. stagioni=14) il monitoraggio invernale di tipo non invasivo, programmato tra novembre-aprile e realizzato con l'analisi integrata dei dati di snow-tracking e dell'analisi genetica condotta su campioni biologici (tessuti e escrementi) e anche grazie alla raccolta di altri segni di presenza, ha permesso di ricavare l'area minima invernale utilizzata da ogni branco. L'area minima invernale del branco è stata individuata tramite il minimo poligono convesso (MPC), costruito sulla localizzazione dei segni attribuibili al branco (piste di impronte, escrementi, genotipi). In generale ogni branco è stato identificato secondo la tipizzazione dei genotipi della coppia dominante presente nella stagione invernale. Per minimizzare la correlazione di dati appartenenti alla stessa coppia, che facilmente effettua scelte spaziali dipendenti tra gli anni, è stato considerato negli anni come "stesso branco", quando almeno un individuo della coppia è rimasto dominante, o almeno un individuo imparentato ha sostituito i genitori nella dominanza del branco. Questo ha permesso nell'analisi statistica di considerare la variabile "stesso branco" come effetto random, minimizzando così l'effetto di pseudo-repliche e garantendo l'indipendenza dei dati controllandone la correlazione.

La tecnica del wolf-howling nella stagione estiva, condotta da luglio a settembre, e occasionalmente

integrata con gli avvistamenti dei cuccioli e/o l'individuazione della tana, ha permesso di accertare la riproduzione della coppia monitorata nella stagione invernale precedente e di localizzare i siti di riproduzione nei mesi tra giugno ed agosto. La localizzazione dei siti di riproduzione è stata effettuata in contemporanea da diversi operatori, generalmente tramite la triangolazione della risposta dei cuccioli, o attraverso l'individuazione del centroide del minimo poligono convesso delle risposte multiple, a seguito di un monitoraggio intensivo con cadenza settimanale. Le risposte dei cuccioli registrate da metà settembre in avanti non sono state considerate per la localizzazione dei siti di riproduzione, a causa della maggiore mobilità dei cuccioli oramai in esplorazione del territorio circostante insieme al branco (Mech & Boitani 2003).

Nell'analisi sono stati utilizzati 100 siti di riproduzione, di cui l'80,0 % (n=80) sono stati usati per l'elaborazione del modello e il 20,0% (n=20) per la validazione finale della mappa di idoneità.

Per la creazione del modello sono stati selezionati unicamente i siti di riproduzione dove la coppia riproduttiva era conosciuta, e dove era documentata l'area minima utilizzata dal branco nella stagione invernale precedente alla riproduzione. Un totale di 80 siti di riproduzione sono stati utilizzati nell'analisi (n. tane=3, n. siti di rendez vous=77), appartenenti a 31 branchi. Le aree minime invernali dei branchi documentate sono state 76. In 3 casi il branco ha utilizzato 2 siti di rendez-vous diversi nella stessa stagione estiva.

I siti di riproduzione per la validazione della mappa di idoneità, realizzata con l'estrapolazione del modello sull'area alpina piemontese, sono stati quelli documentati dal 1999 al 2014 (n=7), dei quali non è stato possibile associare la rispettiva area minima di utilizzo invernale del branco, e quelli monitorati nell'estate 2016 (n=13).

2.3 Le variabili ambientali

Sono state considerate quattro classi di variabili potenzialmente importanti per la scelta del sito di riproduzione da parte del lupo: topografia, uso del suolo, ecologia del paesaggio e disturbo antropico per un totale di 13 variabili (Tabella 1).

Progetto LIFE 12 NAT/IT/000807 WOLFALPS
A9- Modello Spaziale di Idoneità Ambientale sui i Siti di Riproduzione del lupo nelle Alpi piemontesi

| Classe | Variabile | Tipologia | Codice |
|------------------------|---|------------|---------|
| Topografia | 1/Altitudine | Continua | RALT |
| | Pendenza (in percentuale) | Continua | SLO |
| | Asperità del terreno (Nielsen et al. 2004) | Continua | TRI |
| Uso del suolo | Proporzione copertura di bosco-arbusti | Continua | BOSAR |
| | Proporzione media di bosco-arbusti delle celle nell'intorno di 1200 m di raggio | Continua | BOSARMW |
| | Proporzione della copertura di rocce | Continua | ROC |
| Ecologia del paesaggio | Patch Shape Index del bosco | Continua | PSI |
| | Distanza dal confine del bosco | Continua | DEGE* |
| Disturbo antropico | Proporzione disturbo antropico | Continua | DA |
| | Distanza euclidea dal disturbo antropico | Continua | DEDA |
| | Densità di strade con traffico veicolare | Continua | STRDEN |
| | Densità di viabilità mista secondaria (carrarecce, sentieri) | Continua | VMSDEN |
| | Area senza gestione venatoria (1)/ Area con gestione venatoria (0) | Categorica | ANV |

Tabella 1. Elenco delle variabili ambientali con i rispettivi codici di riferimento. * Variabile infine non utilizzata nelle analisi dell'elaborazione del modello.

Il software GIS Qgis-2.8.9 (<http://www.qgis.org>) è stato utilizzato per la creazione delle variabili spaziali. Nell'ambito dell'analisi GIS, tutte le variabili sono state create considerando un'origine comune e una stessa risoluzione per tutta l'estensione dell'area di studio delle Alpi Piemontesi, con una unità campionaria standard di cella 100x100 m.

Le variabili topografiche sono state realizzate partendo dal Digital Elevation Model con risoluzione di 25 m, prodotto dal Programma Copernicus finanziato dall'Unione Europea (EU-DEM-layers) (<http://www.eea.europa.eu>). Le variabili topografiche considerate sono tutte continue: 1/altitudine (RALT), la pendenza in percentuale per ogni cella (SLO) e l'asperità del terreno (TRI: come Nielsen et al. 2004). La variabile altitudine è stata trasformata nel reciproco (RALT=1/altitudine) come suggerito da Whitlock & Schluter (2009), quando la distribuzione dei dati è asimmetrica a destra. L'asperità del terreno (TRI) è stata calcolata come suggerito da Nielsen et al. 2004:

$$TRI = \frac{(\Delta ESP * SLO) / (\Delta ESP + SLO)}{100},$$

dove ΔESP è la variazione dell'esposizione, calcolata come la proporzione del numero delle classi

di esposizione nell'unità campionaria rispetto al numero totale delle classi individuate nell'area di studio (n=36); **SLO** è la pendenza media dell'unità campionaria.

La copertura del suolo deriva principalmente dai Piani Forestali Territoriali della Regione Piemonte (PFT) (<http://www.sistemapiemonte.it>), ed è stato integrato con il dataset del Corinne Land Cover 2006 (CLC), prodotto dal Programma Copernicus finanziato dall'Unione Europea (<http://www.eea.europa.eu>), solo per la piccola porzione di territorio utile per completare i minimi poligoni invernali dei branchi con territorio transfrontaliero nelle Alpi Liguri-Marittime. Dalla copertura del suolo sono state selezionate le tipologie inerenti le superfici forestali e arbustive ed è stato costruito un layer di GIS della copertura boscata, rappresentante la proporzione della variabile della copertura boscata (BOSAR*) per ogni unità campionaria (i.e. la cella). Sono state poi selezionate le tipologie inerenti le rocce ed i macereti ed è stato costruito un layer di GIS delle rocce rappresentante la proporzione della variabile della copertura rocciosa per ogni unità campionaria (ROC**) (Tabella 2).

| Categoria | Tipo | Origine del dato |
|--|-----------|------------------|
| Conifere; latifoglie | Bosco | PTF/CLC |
| Abetine; arbusteti planiziali, collinari e montani; arbusteti subalpini; lariceti e cembrete; peccete; pinete di pino nero, rimboschimento | Arbusteto | PFT |
| Macchie e formazioni arbustive | Arbusteto | CLC |
| Rocce, macereti e ghiacciai | Rocce | PFT |
| Aspetti rupestri e depositi detritici | Rocce | CLC |

Tabella 2- Categorie dell'uso del suolo selezionate per le variabili BOSAR* e ROC**.

Gli indici tipici delle analisi sull'ecologia del paesaggio sono utili per quantificare come la struttura delle superfici forestali possano influenzare le scelte dei lupi nell'utilizzare un sito di riproduzione.

È stato calcolato il Patch Shape Index (PSI) per unità campionaria:

$$PSI = \frac{0.25 * \text{perimetro superficie forestale}}{\sqrt{\text{area superficie forestale}}}$$

tenendo in considerazione che PSI=1 descrive una forma quadrata della superficie forestale, mentre valori con PSI >1 una forma più irregolare e frastagliata.

La variabile DEDGE valuta l'estensione del bosco, poiché considera la distanza euclidea del bosco dal suo confine (DEDGE), calcolata da ogni cella con copertura boscata dalla più vicina cella senza copertura boscata.

Infine, un'ulteriore valutazione dell'effetto della presenza del bosco sulla selezione dei siti di riproduzione è avvenuta grazie alla creazione di una variabile chiamata BOSARMW, che ha considerato non solo l'habitat presente nella cella GIS di riferimento, ma anche quello presente negli intorno della cella a 1200 m. BOSARMW è stata calcolata sulla copertura forestale tramite la funzione *Circular Neighborhood* di QGIS (*r.neighbors*), che calcola la media della proporzione dell'habitat di tutte le celle presenti nei 1200 m. Si è scelto il raggio della finestra circolare di 1200 m simulando la percezione del lupo nei confronti dell'ambiente, come indicato da Falcucci et al. (2013), sulla base delle localizzazioni del Global Positional System (GPS) di un lupo in dispersione (Ciucci et al. 2009). Per valutare il disturbo antropico sono state, infine, create quattro variabili continue e una categorica. Dal raster del Land Cover Piemonte 2010 con risoluzione di 12.5 m della Regione Piemonte (<http://www.regione.piemonte.it>) e dal Corinne Land Cover 2006 (CLC), solo per la piccola porzione del versante francese, sono state selezionate tutte le infrastrutture antropiche (Tabella 3) ed è stato costruito un layer di GIS del disturbo antropico totale. Sono state quindi considerate la variabile della proporzione del disturbo antropico (DA) e la variabile distanza euclidea dal disturbo antropico (DEDA) per ogni unità campionaria.

| Categorie | Origine del dato |
|---|------------------|
| Aree urbane continue | PTF/CLC |
| Aree urbane discontinue | PTF/CLC |
| Insedimenti industriali, commerciali, artigianali dei grandi impianti e di servizi pubblici e privati | PTF/CLC |
| Zone estrattive, discariche e cantieri | PFT |
| Strade asfaltate, ferroviarie, autostrade, strade sterrate bianche | PTF/CLC |

Tabella 3- Categorie del disturbo antropico.

È stato recuperato il Database Geo-Topografico BDTRE 2016 della Regione Piemonte (<http://www.geoportale.piemonte.it>), selezionato il vettoriale della categoria EL_ST composto da elementi stradali (autostrade, strade urbane, extra-urbane e strade locali) con traffico veicolare, e la categoria EL_VMS composto da elementi di viabilità mista secondaria come carrarecce, mulattiere e sentieri. Sono stati, quindi, calcolati come ulteriori fattori di potenziale disturbo antropico: la densità (m/ha) delle strade (STRDEN) e della viabilità mista secondaria (VMSDEN), solitamente senza traffico veicolare.

Per descrivere un altro fattore di potenziale disturbo antropico per i siti di riproduzione del lupo, è stato considerato il fattore legato alla gestione venatoria dell'area di studio, descritta dalla variabile categorica Area Non Venabile (ANV). Sono stati utilizzati i layers della superficie protetta dei Parchi della Regione Piemonte (<http://gis.csi.it>), del Parco Nazionale del Mercantour, e degli Istituti provinciali del Piemonte. L'area di studio è stata ripartita in superficie solitamente senza attività venatoria (1) (parchi nazionali, regionali, riserve naturali e speciali, oasi di protezione, zona di ripopolamento e cattura) e con attività venatoria (0). Per l'elaborazione del modello è stata utilizzata la versione del layer dei Parchi Piemontesi precedenti al 2010, per l'estrapolazione la versione aggiornata con le rispettive modifiche dei confini.

È stata testata la collinearità fra tutte le variabili ambientali con la correlazione di Spearman tramite il software R 3.3.0. Se presente una correlazione con $r > |0.7|$ tra due variabili, queste sono state testate separatamente nella fase di elaborazione del modello: il disturbo antropico (DA) è risultato essere correlato con la densità delle strade STRDEN ($r > 0.8$) e con la distanza dal disturbo antropico (DEDA) ($r > 0.8$); la variabile BOSARMW è risultata essere correlata con la copertura bosco-arbustiva (BOSAR) ($r > 0.8$) e con l'altitudine (ALT) ($r > -0.8$). La variabile DEDGE, che descrive la distanza da ogni cella di bosco dal confine della superficie forestale, è invece, stata esclusa totalmente dalla elaborazione del modello, perché correlata con la copertura boscata BOSAR ($r > 0.8$). Le variabili ambientali considerate sono state quindi in totale 12 (Tabella 1).

2.4 Analisi dell'uso e della disponibilità delle risorse

Al fine di ottenere conclusioni valide riguardo la selezione delle risorse da parte del lupo per i siti di riproduzione e per poter definire un modello predittivo, è stato effettuato un confronto tra le risorse utilizzate e quelle disponibili (Thomas & Taylor 1990; Garshelis 2000; Jones 2001).

Dai rasters delle variabili ambientali sono state identificate le caratteristiche del sito di riproduzione (**i.e. utilizzo**) per ogni branco e per ogni anno considerando un intorno di primo livello (3x3) rispetto all'unità campionaria (cella 100X100). La risultante area di 300 m x 300 m, è stata quindi considerata come superficie di utilizzo rappresentativa per elaborare il modello di idoneità ambientale sui siti riproduzione del lupo, in considerazione del fatto che i cuccioli hanno necessità di movimento e la loro capacità di spostarsi in modo indipendente dagli adulti è solitamente inferiore a 500 m (Packard 2003).

Per valutare la disponibilità delle risorse, che ha un effetto diretto sulla scelta del sito di riproduzione da parte del branco, è stata calcolata l'area disponibile per ogni branco e ogni anno e non l'area disponibile totale dell'arco alpino piemontese. Il branco è una unità familiare territoriale e occupa un'area specifica e stabile, ma che stagionalmente può variare a causa di diversi fattori, tra cui la distribuzione dei branchi limitrofi e delle prede. È stata quindi impostata un'analisi condizionale e accoppiata di utilizzo e disponibilità con la regressione logistica di tipo "*Conditional Matched Case Control 1:1 Logistic Regression*": per ogni utilizzo (i.e. sito di riproduzione) è abbinata una disponibilità specifica (i.e. territorio del branco) (paragrafo 2.3).

È stata stimata la disponibilità stagionale di ogni branco con il Minimo Poligono Convesso (MPC), ricavato dalle localizzazioni del sito di riproduzione e i segni invernali attribuibili al branco della stagione invernale precedente alla riproduzione. Per ogni MPC stimato è stato definito un buffer di 3000 m: la superficie finale, così ottenuta, è l'area ipotetica disponibile per il branco, che è risultata in media di 278.29 kmq (± 107.63).

Quest'areale per branco (n=76) è stato quindi sovrapposto alla griglia di riferimento (100x100 m) e una superficie pari al 9% per ogni areale (1% delle celle che rappresentano l'areale) è stata campionata a random (Barbet-Massin et al. 2012), senza considerare il sito di riproduzione dell'anno. Questo ha permesso di ricavare una disponibilità rappresentativa delle risorse per ogni branco e anno, da confrontare con il sito di riproduzione effettivamente selezionato.

2.5 Elaborazione del Modello Spaziale e creazione della Mappa di Idoneità Ambientale

Nell'analisi è stata approfondita una selezione delle risorse di 3° ordine secondo Johnson's (1980), comparando i siti di riproduzione del lupo ad una disponibilità specifica presente all'interno dell'area disponibile del branco. La *Regressione Logistica Condizionale* applicata nell'analisi (*Conditional Matched Case Control 1:1 Logistic Regression*) è stata recentemente usata in campo ecologico nella stima della selezione delle risorse della fauna selvatica (Wilson et. al 2012; Thurfjell et al. 2014) ed è particolarmente idonea nel nostro disegno di studio, dove per ogni sito di riproduzione (*Caso*) è stata stimata la presenza di casi random rappresentativi (*Controllo*), valutati per ogni branco e anno con un confronto appaiato. Si è utilizzata la funzione *clogit* del package "Survival" (Therneau 2016) tramite il software R 3.3.0.

In dettaglio, sono stati considerati il sito di riproduzione del branco nell'anno X come *Caso*

confrontandolo con i siti disponibili campionati (*Controllo*) all'interno dell'Area Disponibile del Branco dell'anno X (paragrafo 2.2) ($n^\circ \text{ strati} = n^\circ \text{ coppie Caso-Controllo}$), in considerazione del fatto che il branco seleziona il sito all'interno del proprio territorio, che annualmente può leggermente variare. È stato dato lo stesso peso al *Caso* (1) e al *Controllo* (0) per ogni strato (rapporto 1:1), come consigliato da Barbet-Massin et al. 2012 nelle tecniche di regressione logistica per aumentare la "fit" del modello in presenza di un numero elevato di pseudo-assenze. È stato applicato un effetto random al branco per la correlazione spazio-temporale, che può essere presente per motivi ecologici tipici per una specie territoriale e gerarchica come il lupo, utilizzando l'applicazione *cluster* della funzione *clogit* del package "Survival" (Therneau 2016). Come indicato da Duchesne et al. (2010) l'inserimento dell'effetto random, che restituisce l'inferenza specifica individuale, è indicato e raccomandato anche nella Regressione Logistica Condizionale e può restituire una stima più accurata della selezione delle risorse da parte degli animali, rispetto ai modelli con effetto fisso. Sono stati testati una serie di modelli candidati in base ad un set di ipotesi effettuate a priori, sulla base delle conoscenze ecologiche sulla specie, per individuare il modello maggiormente predittivo applicando la strategia suggerita da Burnham & Anderson (2002). Sono stati testati una serie di modelli considerando le variabili ecologicamente più importanti nella scelta dei siti di riproduzione nell'area alpina. Le ipotesi formulate hanno voluto testare sia l'importanza del disturbo antropico per comprendere nel dettaglio l'effetto spaziale dei diversi livelli di disturbo (dalla presenza di sentieri alla densità e distanza della presenza/attività antropica a forte impatto), sia le variabili che potevano avere un effetto nella scelta del sito in qualità di possibile rifugio dal disturbo antropico (copertura e forma della superficie boscata a livello locale, copertura boscata a scala maggiore, altitudine, presenza di aree protette); sia l'importanza delle caratteristiche ambientali più avverse come fattori limitanti per il sito di riproduzione (copertura di rocce, pendenza e asperità del terreno) e le loro interazioni.

Tutti i modelli con gli stessi dati sono stati confrontati utilizzando il valore dell'Akaike Information Criteria (AIC, Akaike, 1973; 1974): valori bassi indicano una "fit" maggiore del modello. Nel caso fossero presenti più modelli validi sulla base dei valori di ΔAIC ($\Delta \leq 2.0$) è stato considerato il valore di w_i ("peso di Akaike"), il quale esprime la probabilità del modello nell'approssimare la realtà in relazione agli altri modelli significativi sviluppati (Burnham & Anderson 2002). È stata quindi calcolata l'importanza relativa (w_+) di ogni variabile esplicativa x_j rilevante, sommando il peso di

Akaike di tutti i modelli candidati, in cui è presente la variabile x_j , come suggerito da Burnham e Anderson (2002). Maggiore è il valore di w_j , maggiore risulta essere l'importanza di j in relazione alle altre variabili. È stato infine applicato il "Model Averaging" sui modelli candidati selezionati come suggerito da Burnham & Anderson (2002), per ottenere il migliore modello dal punto di vista predittivo. Queste analisi sono state effettuate con i packages "AICcmodavg" (Mazerolle 2016) e "MuMIn" (Bartoń 2016) tramite il software R 3.3.0.

Una volta individuato il migliore modello è stato calcolato il valore dell'*Odds Ratio*:

$$P(Y = 1|x) = \frac{\exp(\beta'x)}{1 + \exp(\beta'x)}$$

dove $\exp(\beta'x) = \exp(\beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p)$, per p variabili misurate per ogni cella come $x = (x_1, \dots, x_p)$.

Questo algoritmo è stato estrapolato sull'intera area alpina piemontese ed esprime il valore di idoneità ambientale, con valori crescenti da 0 a 1, per ogni cella dell'area di studio. È stato, infine, creato con GIS Qgis-2.8.9 un raster con una risoluzione di 100 m, definito "Mappa di Idoneità Ambientale sui Siti di Riproduzione del lupo nelle Alpi piemontesi" (**MIASIR-lupo**).

Per validare la mappa ottenuta e per capire la capacità predittiva del modello sviluppato sono state proiettate sulla mappa "MIASIR-lupo" le localizzazioni di un numero rappresentativo di siti di riproduzione documentati sulle Alpi Occidentali ($n=20$) e non utilizzati nella elaborazione del modello stesso, ed è stato ricavato il relativo valore di idoneità ambientale. Questo metodo ha consentito di valutare l'efficacia e l'adeguatezza predittiva della mappa "MIASIR-lupo", importante conferma per le applicazioni gestionali.

3. RISULTATI

3.1 Il modello spaziale di idoneità ambientale per i siti di riproduzione del lupo

La regressione logistica condizionale è stata applicata su un dataset composto da 80 strati: il sito di riproduzione ($n_{\text{tot}}=80$) è stato confrontato con il rispettivo controllo rappresentato dai siti disponibili campionati a random ($n_{\text{tot}}=21.967$, media per strato= $274,6 \pm 106,1$).

Dei 24 modelli candidati ne sono stati identificati 4 migliori mediante l'AIC ($\Delta AIC \leq 2$) (Tabella 4): questi spiegano la maggioranza della variabilità e il loro totale AICwi è di 0,64; infatti il ΔAIC del quinto modello è solo di 0.08. È stato applicato, quindi, il Model Averaging sui 4 modelli migliori (M8, M23, M7, M24) per l'elaborazione del modello definitivo, composto da tutte le variabili dei

modelli selezionati: il primo modello contribuisce maggiormente al valore predittivo finale con un peso cumulativo maggiore ($w_i=0,46$) rispetto al secondo ($w_i=0,19$), al terzo ($w_i=0,18$) e quarto ($w_i=0,17$).

Dal modello finale risulta quindi che il lupo è più probabile che selezioni il sito per la riproduzione a quote più elevate ($\beta_{\text{RECALT}} = -7904,00$; ES [-8627, 50; -7180,50]), dove è presente una maggiore copertura boscata ($\beta_{\text{BOSAR}} = 2,36$; ES [1,83; 2,89]) con forma irregolare ($\beta_{\text{PSI}} = 1,79$; ES [1,46; 2,12]), e che eviti le zone con disturbo antropico (insediamenti umani e strade con traffico veicolare) ($\beta_{\text{DA}} = -119,90$; ES [-160,34; -79,46]) e anche con sentieri e carrarecce senza traffico veicolare ($\beta_{\text{VMS}} = -122,10$; ES [-166,39; -77,81]) (Tabella 5). Queste variabili sono tutte altamente significative (Tabella 5).

La gestione venatoria dell'area ($\beta_{\text{ANV}} = 0,04$; ES [-0,10; 0,18]), l'asperità del terreno ($\beta_{\text{TRI}} = -0,92$; ES [-3,53; 1,69]) e la copertura rocciosa ($\beta_{\text{ROC}} = 0,02$; ES [-0,13; 0,18]) contribuiscono al potere predittivo del modello finale, anche se queste variabili non sono significative (Tabella 5).

| N. Modello | Gradi di libertà | DESCRIZIONE | AIC | ΔAIC | AICwi |
|-------------------|-------------------------|--|--------------|--------------------------------|--------------|
| M8 | 5 | RALT+BOSAR+PSI+DA+VMSDEN | 52,22 | 0,00 | 0,29 |
| M23 | 6 | RALT+BOSAR+PSI+DA+VMSDEN+ANV | 53,99 | 1,77 | 0,12 |
| M7 | 6 | RALT+BOSAR+PSI+DA+VMSDEN+TRI | 54,06 | 1,84 | 0,12 |
| M24 | 6 | RALT+BOSAR+PSI+DA+VMSDEN+ROC | 54,21 | 1,99 | 0,11 |
| M20 | 6 | RALT+BOSAR+PSI+DEDA+STRDEN+VMSDEN | 54,91 | 2,69 | 0,08 |
| M19 | 5 | RALT+BOSAR+PSI+DEDA+VMSDEN | 55,12 | 2,90 | 0,07 |
| M4 | 7 | RALT+BOSAR+PSI+DA+VMSDEN+ANV+TRI | 55,83 | 3,61 | 0,05 |
| M22 | 7 | RALT+BOSAR+PSI+DA+VMSDEN+TRI+BOSAR*TRI | 56,01 | 3,79 | 0,04 |
| M13 | 4 | RALT+BOSAR+DA+VMSDEN | 56,69 | 4,47 | 0,03 |
| M6 | 6 | RALT+BOSAR+PSI+VMSDEN+ANV+TRI | 57,56 | 5,34 | 0,02 |
| M3 | 8 | RALT+BOSAR+PSI+DA+VMSDEN+ANV+TRI+ROC | 57,82 | 5,60 | 0,02 |
| M14 | 5 | RALT+BOSAR+BOSAR*RALT+DA+VMSDEN | 57,88 | 5,66 | 0,02 |
| M15 | 5 | RALT+BOSAR+TRI+DA+VMSDEN | 58,33 | 6,11 | 0,01 |
| M11 | 6 | RALT+BOSAR+PSI+SLO+TRI+ROC | 59,37 | 7,15 | 0,01 |
| M16 | 4 | RALT+PSI+DA+VMSDEN | 59,58 | 7,37 | 0,01 |
| M1 | 9 | RALT+BOSAR+PSI+DA+VMSDEN+SLO+TRI+ROC+ANV | 59,69 | 7,47 | 0,01 |
| M5 | 10 | RALT+BOSAR+PSI+DA+VMSDEN+ANV+TRI+ | 61,30 | 9,08 | 0,00 |

| N. Modello | Gradi di libertà | DESCRIZIONE | AIC | ΔAIC | AICwi |
|-------------------|-------------------------|--|------------|--------------------------------|--------------|
| | | BOSAR*RALT+ BOSAR*TRI+PSI*TRI | | | |
| M10 | 9 | RALT+SLO+TRI+ROC+BOSAR+PSI+BOSAR*RALT+ BOSAR*TRI+PSI*TRI | 64,66 | 12,45 | 0,00 |
| M2 | 12 | RALT+SLO+TRI+ROC+BOSAR+PSI+DA+VMSDEN+ANV+ BOSAR*RALT+ BOSAR*TRI+PSI*TRI | 65,17 | 12,95 | 0,00 |
| M18 | 4 | BOSAR+PSI+DA+VMSDEN | 65,45 | 13,23 | 0,00 |
| M9 | 5 | BOSAR+PSI+DA+VMSDEN+ANV | 66,08 | 13,86 | 0,00 |
| M17 | 4 | BOSARMW+PSI+DA+VMSDEN | 68,88 | 16,66 | 0,00 |
| M21 | 2 | BOSAR+DA | 91,65 | 39,43 | 0,00 |
| M12 | 4 | DA+STRDEN+VMSDEN+ANV | 91,70 | 39,48 | 0,00 |

Tabella 4. Modelli candidati testati con la regressione logistica condizionale e i relativi valori in ordine crescente di **AIC** (Akaike Information Criteria), **ΔAIC** e **AICwi**. I modelli selezionati in grassetto sono quelli con un $\Delta AIC \leq 2$. Per i codici delle variabili fare riferimento alla Tabella 1.

| Modello MSIASIR-lupo (M8+M23+M7+24) = RALT+BOSAR+PSI+DA+VMSDEN+ANV+TRI+ROC | | | | |
|---|---------------------------|---------------|----------------------|----------------------|
| Variabile | β | ES | P | w₊ |
| RALT | -7904,00 | 723,50 | <0.001 *** | 1 |
| BOSAR | 2,36 | 0,53 | <0.001 *** | 1 |
| PSI | 1,79 | 0,33 | <0.001 *** | 1 |
| DA | -119,90 | 40,44 | <0.003 ** | 1 |
| VMSDEN | -122,10 | 44,29 | <0.006** | 1 |
| ANV | 0,04 | 0,14 | 0,759 | 0,19 |
| TRI | -0,92 | 2,61 | 0,726 | 0,18 |
| ROC | 0,02 | 0,16 | 0,880 | 0,17 |

Tabella 5. Coefficienti (β) del modello definitivo ottenuto con il Model Averaging (full average), i relativi errori standard (ES), valori della probabilità (P) e importanza relativa (w₊) di ogni variabile esplicativa dei 4 migliori modelli. Il simbolo *** indica un valore di P altamente significativo della variabile. Per i codici delle variabili fare riferimento alla Tabella 1.

È stata calcolata l'importanza relativa (w₊) delle variabili esplicative rilevanti basandosi sul peso di Akaike del totale dei modelli candidati: il valore w₊ della covariata RALT (w₊) indica l'elevato peso di questa variabile nello spiegare la probabilità di selezione (w₊ = 1,00). L'effetto sulla probabilità di selezione (e ^{β}) di RALT si trasforma di fatto in un effetto positivo dell'altitudine, essendo il suo valore reciproco. La covariata BOSAR ha anche una importanza predittiva forte (w₊ = 0,99) con effetto

decisamente positivo sulla probabilità di selezione; PSI ha un effetto positivo e un'importanza predittiva di poco inferiore ($w_+ = 0,93$). Infine la variabile WMSDEN ha un valore di importanza predittiva di $w_+ = 0,99$ e DA di $w_+ = 0,81$, con un effetto entrambe decisamente negativo sulla probabilità di selezione.

3.2 La mappa di idoneità ambientale dei siti di riproduzione del lupo

La “Mappa di Idoneità Ambientale sui Siti di Riproduzione del lupo nelle Alpi piemontesi” (**MIASIR-lupo**) è un raster di risoluzione 100 m, ottenuto estrapolando l'algoritmo del modello definitivo sull'intera area alpina piemontese, ed è rappresentato da 1.263.023 celle valide con i valori di idoneità ambientale tra 0 a 1 (Figura 1).

Per i siti di riproduzione analizzati, inseriti nell'elaborazione del modello, è stato estrapolato il relativo grado di idoneità ambientale indicato dalla mappa: il range e la distribuzione dei valori è descritto nella Figura 2-a. Il boxplot della figura 2(a) indica la mediana del campione con valore di 0,95; il primo e terzo interquartile con un range tra 0,89 e 0,96 delimitato dalle barre esterne del boxplot con il valore minimo di 0,77 e massimo di 0,99. I valori esterni al boxplot, più distanti dal resto del campione (outliers), sono 5: in 4 casi compresi da 0,45 e lo 0,73 e un valore estremo con bassa idoneità (0,05). Il valore minore di idoneità è relativo al sito di riproduzione del branco del Belbo, un branco monitorato nel 2015 in provincia di Cuneo in una area pre-montana con altitudini inferiori rispetto alla zona alpina.

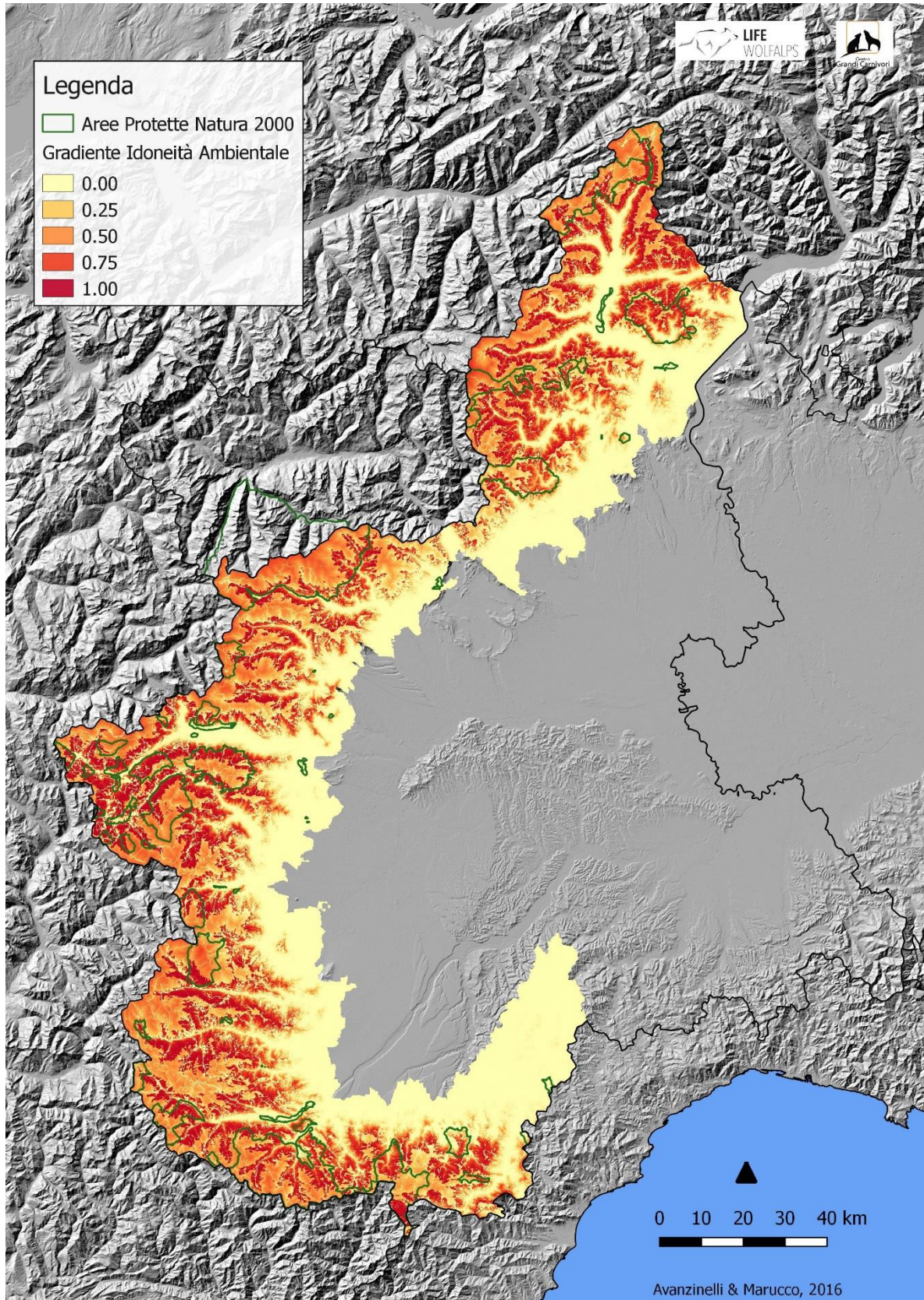
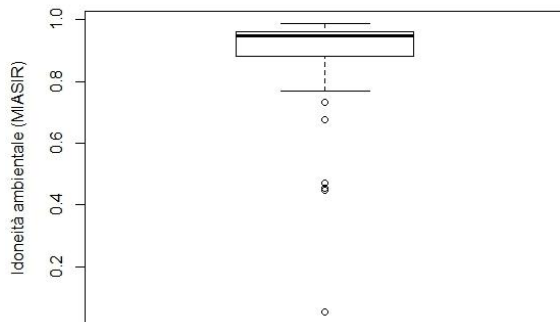


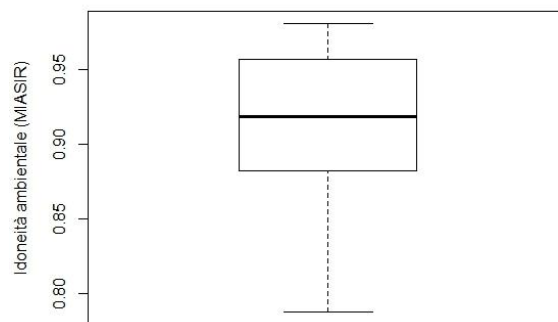
Figura 1. Mappa di Idoneità Ambientale sui siti di riproduzione del lupo nelle Alpi piemontesi (MIASIR-lupo).

a) Siti di riproduzione analizzati nel modello



Siti di riproduzione analizzati

b) Siti di riproduzione per la validazione del modello



Siti di riproduzione documentati

Figura 2. Idoneità ambientale dei siti di riproduzione analizzati per l'elaborazione del modello (a) e dei siti di riproduzione per la validazione del modello (b), ottenuta dalla proiezione della loro localizzazione sulla mappa MIASIR-lupo. La barra evidenziata rappresenta la mediana del campione, l'ampiezza del box è il range interquartile, i segmenti esterni rappresentano 1.5 x range interquartile.

Per la validazione sono stati proiettati sulla mappa MIASIR-lupo anche i siti di riproduzione documentati non utilizzati per l'elaborazione del modello (n=20), in modo da ricavarne i rispettivi valori di idoneità. I valori di idoneità così ottenuti sono compresi tra 0,79 e 0,98, con una mediana di 0,92 (Figura 2-b).

Sulla base della distribuzione dei valori di idoneità ambientale ricavati da tutti siti di riproduzione documentati (n. siti elaborazione modello=80; n. siti validazione modello=20) sono state individuate 4 classi potenziali ad idoneità crescente, con cui è stata riclassificata la mappa MIASIR-lupo per le applicazioni gestionali descritte nelle Misure di Conservazione Specie e Sito Specifiche:

- Classe 4 (bassa idoneità): valori di idoneità compresi tra 0 a 0,20;
- Classe 3 (media idoneità): valori di idoneità compresi tra 0,21 e 0,44;
- Classe 2 (media-alta idoneità): valori di idoneità compresi tra 0,45 e 0,76;
- Classe 1 (alta idoneità): valori di idoneità compresi tra 0,77 e 1,00.

L'intera area così classificata (Figura 3) è quindi rappresentata da:

- 48,2% con celle di classe 4 a bassa idoneità;
- 15,7 % con celle di classe 3 a media idoneità;
- 19,0 % con celle di classe 2 a media-alta idoneità;
- 17.1 % con celle di classe 1 ad alta idoneità.

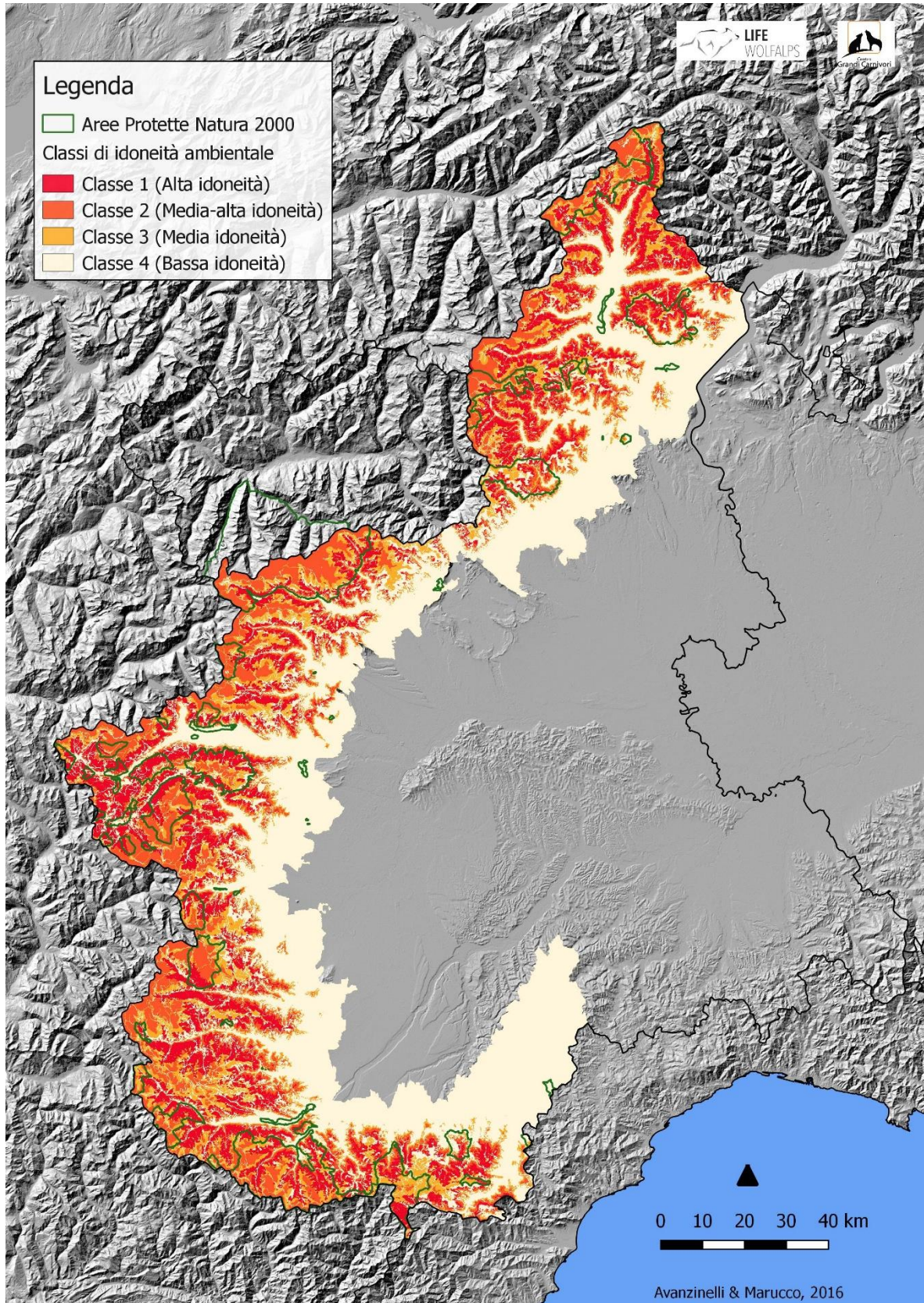


Figura 3. La mappa MIASIR classificata in 4 classi potenziali ad idoneità crescente (1=Alta idoneità; 2=Media-alta idoneità; 3= Media idoneità; 4= Bassa idoneità).

4. DISCUSSIONE E IMPLICAZIONI GESTIONALI

Lo studio e la comprensione delle complesse relazioni che intercorrono tra l'habitat e la fauna selvatica è una componente essenziale nell'ecologia e nella conservazione animale (Manly et al. 2002). Determinare quali risorse siano selezionate più frequentemente è un tema di grande interesse ai fini gestionali e di conservazione delle specie, in quanto fornisce informazioni fondamentali riguardo alle necessità degli animali, assumendo spesso che queste risorse siano importanti per la loro sopravvivenza e riproduzione (Manly et al. 2002). Tuttavia, la selezione può non essere correlata con la qualità delle risorse (Jones 2001) laddove il tasso di mortalità è maggiore del tasso di riproduzione, ovvero un animale costretto a vivere in un ambiente di bassa qualità (es. un territorio molto antropizzato) sembrerà selezionare positivamente caratteristiche in genere altamente evitate dalla specie. Per questo motivo, l'assunto che la selezione sia relazionata alla fitness dell'animale non sempre è vera (Garshelis 2000; Thomas & Taylor 2006) e sarebbe scorretto affermarlo.

Rispetto ad altre specie, il lupo non risulta associato ad un ecosistema specifico, ma è un animale estremamente adattabile ed in grado di occupare molti degli habitat dell'emisfero nord nutrendosi delle prede disponibili (Mech & Boitani 2003). Anche per il lupo, però, il momento della riproduzione è particolarmente delicato, perché i cuccioli non ancora in grado di muoversi con gli adulti vengono lasciati nei mesi di giugno-agosto in un sito di rendez-vous, particolarmente vulnerabile ai disturbi antropici. È quindi importante conoscere anche per il lupo i processi di interazione tra specie e habitat, per programmare attività di gestione e di conservazione, soprattutto durante il periodo di riproduzione estivo, particolarmente delicato per la sopravvivenza della specie.

Per questo motivo è stato necessario realizzare, in particolare, uno studio sulla selezione dell'habitat compiuta dal lupo per i siti di riproduzione, arrivando a definire un modello spaziale di idoneità come utile strumento gestionale adattativo. I risultati dell'analisi hanno infatti implicazioni gestionali importanti per la conservazione dei siti di riproduzione del lupo sulle Alpi Occidentali, perché individuano le variabili che potenzialmente ne influenzano l'idoneità, in particolare riferita ai siti di rendez-vous, in maggioranza rispetto alle tane nel campione analizzato.

Sulle Alpi Occidentali è più probabile che il lupo selezioni il sito per la riproduzione in aree caratterizzate da assenza di sentieri e di disturbo antropico, a quote più elevate di copertura boscata tendenzialmente di forma irregolare. Inoltre vengono più probabilmente selezionati dal lupo i siti in

aree non venabili e con morfologia più regolare. L'importanza dell'altitudine nell'idoneità ambientale è, infatti, da mettere in relazione alla tendenza del lupo ad allontanarsi dalla maggiore fonte di disturbo, che è fortemente concentra alle altitudini medio-basse con insediamenti umani e vie di comunicazioni principali, rispetto alle quote superiori, dove sono presenti solo insediamenti discontinui, come borgate o edifici isolati e strade bianche sterrate aperte al traffico solo in estate. È dimostrato che in aree dalle caratteristiche ambientali simili all'arco alpino, ma in assenza di disturbo antropico, il lupo seleziona come siti di riproduzione le aree boscate di fondovalle (Boyd 1997).

L'idoneità ambientale per i rendez-vous del lupo è più alta nelle aree boscate in quota, tipicamente con forma irregolare, dove è possibile trovare un adeguato rifugio sia dalle calde temperature estive nelle ore centrali della giornata (altitudini maggiori e con copertura bosco-arbustiva) sia da eventuali contatti diretti con l'uomo, i quali possono rappresentare una minaccia per la sopravvivenza dei cuccioli. Il lupo, quindi, sembra localizzare i siti di riproduzione nelle zone più remote, dove sono meno contattabili e gli incontri con l'uomo sono meno probabili, possibile adattamento derivato dalla persecuzione diretta e/o dal disturbo generato dalla presenza di attività antropiche. In Piemonte, di fatto, l'impatto da veicolo ed il bracconaggio sono le principali cause di mortalità del lupo dal 1999 al 2014 (Rossi et. al. 2016). Anche le aree montane in quota, solitamente le più isolate dal disturbo elevato del fondovalle, risultano meno idonee se caratterizzate da attività umane quali infrastrutture d'alpeggio e rifugi e lungo i sentieri (dove viene praticato il trekking, mountain-biking, etc.), e nelle strade sterrate (militari, ex cannoniere, etc.) aperte al traffico, localmente caratterizzate dal turismo con fuoristrada.

Il disturbo antropico risultato più impattante per l'idoneità ambientale dei siti per la riproduzione, è sia quello causato dalla presenza di infrastrutture, come insediamenti umani e strade aperte al traffico veicolare, sia quello generato dalla densità di sentieri e mulattiere, anche se chiuse al traffico: entrambi condizionano il valore di idoneità in modo significativo anche nelle zone boscate. Questo ultimo aspetto, inoltre, suggerisce che anche la semplice presenza di sentieri, e presumibilmente il passaggio umano, diventa una fonte potenziale di disturbo per il lupo nella zona di riproduzione, sintomo dell'elevata vulnerabilità del sito nel periodo estivo. È stato verificato, infatti, che un disturbo diretto da parte dell'uomo nel sito di riproduzione del lupo determina uno spostamento dei cuccioli in un nuovo sito e che la durata del disturbo aumenta la probabilità di abbandono (Argue

et al. 2008). Laddove le aree idonee per la riproduzione non sono estese e frammentate, ciò potrebbe compromettere la sopravvivenza dei cuccioli.

In generale i risultati dell'analisi confermano la tendenza generale che nelle aree dove il lupo è perseguitato dall'uomo, i siti di riproduzione sono localizzati lontano dal disturbo antropico, come verificato in altre realtà in Italia (Capitani et. al. 2006) e in Europa (Theuerkauf et. al. 2003; Kaartinen et. al. 2010; Iliopoulos et al. 2013). Nella Foresta di Bialowieza in Polonia le tane e i rendez-vous del lupo sono localizzati lontani da centri abitati e dalle strade trafficate (Theuerkauf et al. 2003).

Anche secondo Theuerkauf et al. (2003), infatti, l'idoneità per i siti di riproduzione del lupo dipende, soprattutto dalla distribuzione del bosco, degli insediamenti umani e delle vie di comunicazione principali, mentre le caratteristiche ecologiche dell'habitat (la struttura o tipologia del bosco e del suolo) hanno un ruolo secondario.

In realtà nord-americane con densità antropiche inferiori, dove è stata fatta un'analisi utilizzando le variabili ambientali a piccola scala valutate localmente su campo, sono risultate importanti le caratteristiche ecologiche dell'habitat come la canopia del bosco, la tipologia della foresta (es. conifere) e del suolo, le quali hanno un ruolo prioritario sulla selezione delle tane e dei rendez-vous da parte del lupo (Fuller 1989; Norris et al. 2002; Benson et al. 2015).

Il modello spaziale di idoneità ambientale sui i siti di riproduzione del lupo nelle Alpi Occidentali ha fornito indicazioni importanti per la conservazione del lupo, le quali sono state considerate nella definizione delle Misure di Conservazione Specie Specifiche e Sito-Specifiche per i Siti Natura 2000 (composto da obblighi, divieti e buone pratiche) approvate dalla Regione Piemonte, e ha consentito la realizzazione di una mappa di idoneità ambientale ad alta risoluzione (100 m) (MIASIR-lupo), estesa a tutto il territorio alpino piemontese. Pertanto Il Modello Spaziale e la Mappa sono il riferimento sia per l'implementazione delle Misure di conservazione Specie-specifiche nei siti con presenza della specie, sia per l'elaborazione di strumenti gestionali e di pianificazione nelle Aree Protette, comprese in tutto o in parte nelle Aree della Rete Natura 2000 in Piemonte. Le Misure di conservazione individuate, come le temporanee restrizioni di accesso a determinate aree o la specifica pianificazione degli interventi forestali e delle attività venatorie e turistiche, sono orientate prioritariamente alla tutela delle aree maggiormente funzionali alla conservazione della Specie determinate sulla base del Modello (siti di riproduzione documentati dal monitoraggio e siti idonei). È importante sottolineare che la restrizione all'accesso alle tane e ai rendez-vous, durante il periodo

della riproduzione e svezzamento dei cuccioli, è una misura adottata da tempo, anche in diversi Parchi Nord Americani, in alcuni casi estesa anche ai siti non utilizzati recentemente dal branco (Thiel et al. 1998).

È importante evidenziare alcuni aspetti per una corretta lettura della mappa realizzata. La mappa mette in evidenza un leggero aumento, lento e graduale del valore di idoneità, anche in assenza di copertura bosco-arbustiva a partire da circa 2700 m, forzato dall'importanza preponderante dell'altitudine nel modello, e da tenere quindi poco in considerazione. In alcune zone inoltre si osservano delle piccole aree altamente idonee (formata da poche celle) che sono totalmente isolate e localizzate ad elevate altitudini. Si tratta di piccole porzioni con arbusti (o di errori nella fotointerpretazione) che non possono essere appropriati come sito di riproduzione per il lupo, visto l'esigua estensione e non dovrebbero essere considerati di elevata importanza. Nell'individuazione dell'area di applicazione delle misure di conservazione specifiche per la specie è importante considerare che un branco può utilizzare anche più di un solo rendez-vous (Mech 1970) e che i cuccioli hanno la capacità di spostarsi in un intorno di circa 500 m (Packard 2003) dal sito di riproduzione: in tutta quest' "area "di svezzamento" è fondamentale garantire ai cuccioli zone non disturbate ed habitat altamente idoneo.

Un modello di idoneità rappresenta un'approssimazione della realtà ecologica della specie e dell'evento considerato, motivo per cui deve essere sempre interpretato con prudenza e con consapevolezza del fatto che il risultato finale riflette la tipologia dei dati utilizzati per la sua elaborazione. Per questo motivo il modello elaborato si ritiene adatto per la situazione alpina e in generale la sua estrapolazione su territori ecologicamente diversi (prealpini o appenninici) comporta valori di idoneità bassi e non appropriati, come dimostra il sito di riproduzione del branco della Valle del Belbo, branco insediato nel 2015 nella zona del basso Piemonte a confine con la Liguria.

La colonizzazione stabile del lupo è in espansione sull'arco alpino (WAG 2014, Marucco et al. 2016) e l'insediamento di nuovi branchi in aree prealpine (come l'imbocco delle valli) è probabile e già in atto, quindi, l'adattamento del modello nel tempo con i dati aggiornati del monitoraggio diventa indispensabile per avere uno strumento gestionale efficace per la conservazione del lupo e dei suoi siti di riproduzione e per la realizzazione di una mappa di idoneità continuamente adeguata e attuale.

4.1 Indicazioni e possibili applicazioni gestionali

Un modello spaziale adattativo è uno strumento gestionale utile che consente una applicazione di tipo predittivo, cioè in grado di quantificare l'impatto potenziale di interventi localmente importanti sull'idoneità ambientale dell'area interessata (es. apertura di sentieri o strade, tagli forestali che modificano la copertura boscata dell'area, costruzione di nuove infrastrutture), permettendo quindi, una pianificazione territoriale che non pregiudichi la conservazione delle aree idonee. Questa applicazione consente, quindi, una pianificazione territoriale che non pregiudichi la conservazione delle aree idonee.

Una analisi ambientale complessiva e accurata dei piani, dei programmi e degli interventi è, in ogni modo, indispensabile e l'applicazione del Modello, eventualmente a suo supporto, deve essere interpretata con una certa prudenza. Tale procedimento, ai fini della conservazione della specie, deve essere estesa a tutta l'area di presenza stabile e non solo ai siti di riproduzione.

In conclusione alla luce dei risultati dell'analisi e con riferimento alla classificazione delle aree del MIASIR come esplicitato nel Paragrafo 3.2, si ritengono le aree maggiormente funzionali alla conservazione della specie per la zona alpina, le celle di classe 1 (alta idoneità) e di classe 2 (media-alta idoneità), queste in particolare quelle con presenza di bosco e/o arbusti. Pertanto al fine del mantenimento dello status di conservazione soddisfacente, previsto dalla Direttiva Habitat e contemplato nel Piano Nazionale di Gestione e Conservazione del Lupo in Italia (attualmente in revisione), così come ribadito dalla Regione Piemonte (D.G.R. n. 54-7409 del 7/4/2014 - titolo I Art.1 e Titolo II Art. 2), sono definiti i seguenti criteri di indirizzo:

1. non sono da ritenersi compatibili con la conservazione della specie i piani, i programmi o gli interventi che determinino, direttamente o indirettamente, una riduzione del coefficiente di idoneità delle aree individuate nel MIASIR in classe 1; si ritiene importante, quindi, l'adozione di specifiche misure finalizzate alla tutela e conservazione delle aree appartenenti alla classe 1 e di un "intorno" minimo di 500 m da queste e dai siti di riproduzione documentati, se al di fuori delle stesse;
2. si ritengono compatibili con le esigenze di conservazione della specie le eventuali modifiche delle variabili significative, risultate dalla presente analisi, all'interno delle celle comprese nelle aree in classe 2, che comportino variazioni del coefficiente di idoneità delle singole celle fino al limite minimo individuato per la classe 2 (0.45) del MIASIR;

3. in sede di pianificazione o di progettazione sono da privilegiare i piani, i programmi e gli interventi che determinino, direttamente o indirettamente, un aumento del coefficiente di idoneità delle celle presenti nelle classi 1, 2 e 3 del MIASIR.

6. BIBLIOGRAFIA

- ARGUE, A.E., MILLS, K.J., & PATTERSON, B.R. (2008). Behavioural response of eastern wolves (*Canis lycaon*) to disturbance of homesites and its effects on pup survival. *Canadian Journal of Zoology*, 86: 400–406.
- AUSBAND, D.E., MITCHELL, M.S., DOHERTY, K., ZAGER, P., MACH, C.M., & HOLYAN, J. (2010). Surveying predicted rendezvous sites to monitor gray wolf populations. *Journal of Wildlife Management*, 74: 1043–1049.
- BARBET-MASSIN, M., FREDERIC, J. C., ALBERT, H., & THUILLER, W. (2012). Selecting pseudo-absences for species distribution models: how, where and how many? *Methods in Ecology and Evolution*, 3: 327–338.
- BARTOŃ, K. (2016). A package for Multi-Model Inference. R package version 1.15.6. Available at <https://cran.r-project.org/package=MuMIn>.
- BENSON, J.F., MILLS, K. J., & PATTERSON, B. R. (2015). Resource selection by wolves at dens and rendezvous sites in Algonquin park, Canada. *Biological Conservation*, 182, 223–232.
- BOITANI, L., ALVAREZ, F., ANDERS, O., ANDREN, H., AVANZINELLI, E., BALYS, V., BLANCO, J. C., BREITENMOSE, U., CHAPRON, G., CIUCCI, P., DUTSOV, A., GROFF, C., HUBER, D., IONESCU, O., KNAUER, F., KOJOLA, I., KUBALA, J., KUTAL, M., LINNELL, J., MAJIC, A., MANNIL, P., MANZ, R., MARUCCO, F., MELOVSKI, D., MOLINARI, A., NORBERG, H., NOWAK, S., OZOLINS, J., PALAZON, S., POTOČNIK, H., QUENETTE, P.-Y., REINHARDT, I., RIGG, R., SELVA, N., SERGIEL, A., SHKVYRIA, M., SWENSON, J., TRAJCE, A., VON ARX, M., WOLFL, M., WOTSCHIKOWSKY, U., & ZLATANOVA, D. (2015). Key actions for Large Carnivore populations in Europe. Institute of Applied Ecology (Rome, Italy). Report to DG Environment, European Commission, Bruxelles. Contract no. 07.0307/2013/654446/SER/B3.
- BOYD, D. (1997). Dispersal, genetic relationship, and landscape use by colonizing wolves in the Central Rocky Mountains. PhD Dissertation, University of Montana. 1-185.
- BURNHAM, K. P., & ANDERSON, D. R. (2002). Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. Second edition. Springer-Verlag. New York, USA.
- CAPITANI, C., MATTIOLI, L., AVANZINELLI, E., GAZZOLA, A., LAMBERTI, P., SCANDURA, M., VIVIANI, A., & APOLLONIO, M. (2006). Selection of rendezvous sites and reuse of pup raising areas among wolves *Canis lupus* of north-eastern Apennines, Italy. *Acta Theriologica*, 51: 395–404.
- CIUCCI, P., REGGIONI, W., MAIORANO, L., & BOITANI, L. (2009). Long distance dispersal of a rescued wolf from the northern Apennines to the western Alps. *Journal of Wildlife Management*, 73: 1300–1306.
- DUCHESNE, T., FORTIN, D., & COURBIN, N. (2010). Mixed conditional logistic regression for habitat. *Journal of Animal Ecology*, 79: 548–555.
- FABBRI, E., MIQUEL, C., LUCCHINI, V., SANTINI, A., CANIGLIA, R., DUCHAMP, C., WEBER, J.M., LEQUETTE, B., MARUCCO, F., BOITANI, L., FUMAGALLI, L., TABERLET, P., & RANDI, E. (2007). From the Apennines to the Alps: colonization genetics of the naturally expanding

- Italian wolf (*Canis lupus*) population. *Molecular Ecology*, 16: 1661–71.
- FALCUCCI, A., MAIORANO, L., TEMPIO, G., BOITANI, L., & CIUCCI, P. (2013). Modeling the potential distribution for a range-expanding species: Wolf recolonization of the Alpine range. *Biological Conservation*, 158: 63–72.
 - FULLER, T.K. (1989). Denning behavior of wolves in North-central Minnesota. *American Midland Naturalist*, 12: 184–188.
 - GARSHELIS, D.L. (2000). Delusions in habitat evaluation: measuring use, selection, and importance. *Research Techniques in Animal Ecology: Controversies and Consequences* (eds. L. Boitani & T.L. Fuller), pp. 111–154. Columbia University Press, New York.
 - ILIOPOULOS, Y., YOULATOS, D., & SGARDELIS, S. (2014). Wolf pack rendezvous site selection in Greece is mainly affected by anthropogenic landscape features. *European Journal of Wildlife Research*, 60: 23–34.
 - JONES, J. (2001). Habitat selection studies in avian ecology: a critical review. *Auk*, 118: 557–562.
 - KAARTINEN, S., LUOTO, M., & KOJOLA, I. (2010). Selection of den sites by wolves in boreal forests in Finland. *Journal of Zoology*, 281: 99–104.
 - MANLY, B. F. J., MCDONALD, L. L., THOMAS, D. L., MCDONALD, T. L., & ERICKSON, W. P. (2002). *Resource selection by animals: statistical design and analysis for field studies*. Second edition. Kluwer Academic. Dordrecht, Netherlands.
 - MARUCCO, F., MATTEI, L., PAPITTO, G., BIONDA, R., RAMASSA, E., AVANZINELLI, E., PEDRINI, P., BRAGALANTI, N., MARTINELLI, L., CANAVESE, G., SIGAUDO, D., PEDROTTI, L., RIGHETTI, D., BASSANO, B., AGREITER, A., STADLER, M., GROFF, C., FATTORI, U., TIRONI, E., MALENOTTI, E., CALDEROLA, S., POTOČNIK, H., & SKRBINSEK, T. (2014). Strategia, metodi e criteri per il monitoraggio dello stato di conservazione della popolazione di lupo sulle Alpi italiane. Progetto LIFE 12 NAT/IT/00080 WOLFALPS – Azione A2.
 - MARUCCO, F., AVANZINELLI, E., BASSANO, B., BIONDA, R., BRAGALANTI, N., CALDEROLA, S., CHIOSO, C., COLOMBO, M., FATTORI, U., GROFF, C., MARTINELLI, L., MATTEI, L., PEDROTTI, L., RIGHETTI, D., SIGAUDO, D., TIRONI, E., & TRUC, F. (2016). Lo status della popolazione di lupo alpina in Italia, in F. Marucco, Atti della II Conferenza LIFE WolfAlps - La Popolazione di lupo sulle Alpi: status e gestione, Cuneo 22 gennaio 2016, Progetto LIFE 12 NAT/IT/00080 WolfAlps.
 - MAZEROLLE, J. (2016). A package for Model Selection and Multimodel Inference Based on (Q)AIC(c). R package version 2.0-4. Available at <https://cran.rproject.org/package=AICcmodavg>.
 - MECH, L.D. (1970). *The Wolf: The Ecology and Behavior of an Endangered Species*. The Natural History Press, Garden City, New York.
 - MECH, L. D., & BOITANI, L. (2003). Wolf social ecology. 1–34. in Mech, L. D. and L. Boitani. editors. *Wolves: behavior, ecology, and conservation*. University of Chicago Press. Chicago, Illinois, USA.
 - NIELSEN, S.E., HERRERO, S., BOYCE, M.S., MACE, R.D., BENN, B., GIBEAU, M.L., & JEVONS, S. (2004). Modeling the spatial distribution of human-caused grizzly bear mortalities in the Central Rockies ecosystem of Canada. *Biological Conservation*, 120: 101–113.
 - NORRIS, R.D., THEBERGE, M.T., & THEBERGE, J.B (2002). Forest composition around wolf (*Canis lupus*) dens in eastern Algonquin Provincial Park. Ontario. *Canadian Journal of Zoology*, 80: 866–872.

- PACKARD, J. (2003). Wolf behavior: reproductive, social, and intelligent. 35–65. in Mech, L. D. and L. Boitani. editors. *Wolves: behavior, ecology, and conservation*. University of Chicago Press. Chicago, Illinois, USA.
- ROSSI, L., FERROGLIO, E., MARUCCO, F., AVANZINELLI, E., MENZANO, A., & MENEGUZ, P.G. (2016). Protocollo d'intervento per il recupero di lupi morti in Piemonte: i dati raccolti in 15 anni, in F. Marucco, Atti della II Conferenza LIFE WolfAlps - La Popolazione di lupo sulle Alpi: status e gestione, Cuneo 22 gennaio 2016, Progetto LIFE 12 NAT/IT/00080 WolfAlps.
- THEUERKAUF, J., JEDRZEJEWSKI, W., SCHDMIT, K., & GULA, R. (2003). Spatiotemporal segregation of wolves from humans in Bialowieza Forest (Poland). *Journal of Wildlife Management*, 67: 706–716.
- THERNEAU, T. (2016). A package for survival analysis. R package version 2.39-5. Available at: <http://CRAN.R-project.org/package=survival>.
- THIEL, R. P., MERRILL, S., & MECH, L. D. (1998). Tolerance by denning Wolves, *Canis lupus*, to human disturbance. *Canadian Field-Naturalist* 122(2):340-342. Jamestown, ND: Northern Prairie Wildlife Research Center Home Page. <http://www.npwr.usgs.gov/resource/2000/wolftol/wolftol.htm>
- THOMAS, D. L., & TAYLOR, E. J. (1990). Study designs and test for comparing resource use and availability. *Journal of Wildlife Management*, 54: 322-329.
- THOMAS, D.L., & TAYLOR, E.J. (2006). Study designs and tests for comparing resource use and availability II. *Journal of Wildlife Management*, 70: 324-336.
- THURFJELL, H., CIUTI, S., & BOYCE, M. (2014). Applications of step-selection functions in ecology and conservation. *Movement Ecology*, 2:4.
- W.A.G. 2014. Wolf population status in the Alps: pack distribution and trend in 2012. Available at <http://www.lcie.org>.
- WHITLOCK, M., & SCHLUTER, D. (2009). *The analysis of biological data*. Greenwood Village, Colo, Roberts and Co. Publishers.
- WILSON, R.R., PRICHARD, A.K., PARRETT, L.S., PERSON, B.T., CARROLL, G.M., SMITH, M. A. REA, C. L., & YOKEL, D. A. (2012). Summer Resource Selection and Identification of Important Habitat Prior to Industrial Development for the Teshekpuk Caribou Herd in Northern Alaska. *PLoS ONE* 7 (11): e48697.