



Valutazione dei possibili effetti dei cambiamenti climatici su specie indicatrici e implicazioni per la conservazione

Azione C1

Realizzato da:
Fondazione Lombardia per l'Ambiente

gestire 
natura 2000 in lombardia

Progetto di



Regione Lombardia

Con il contributo di



Partner



comunità  ambiente

ERSAF
ENTE REGIONALE PER I SERVIZI
ALL'AGRICOLTURA E ALLE FORESTE

FLA
Fondazione Lombardia
per l'Ambiente



Co-finanziato da

 **fondazione
cariplo**

SOMMARIO

Introduzione	03
2. Metodi	05
2.1 Approccio per specie target	05
2.2 Specie modello selezionate	05
2.2.1 Ambienti forestali	05
2.2.2 Ambienti aperti d'alta quota	07
2.3 Raccolta dati	07
2.4 Modelli di distribuzione	08
2.5 Scenari futuri	12
2.6 Indicazioni per la conservazione/gestione	13
2.6.1 Implicazioni a livello generale	14
2.6.2 Implicazioni sito specifiche	14
3. Risultati	15
3.1 Modelli di distribuzione presente e futura	15
3.1.1 Modelli per civetta nana e civetta capogrosso	15
3.1.2 Ambienti aperti d'alta quota	21
3.2 Implicazioni a scala regionale	23
3.3 Implicazioni per i singoli siti	25
4. Discussione	36
5. Conclusioni	38
Bibliografia	40

Introduzione

I cambiamenti climatici stanno causando lo spostamento di areale in molti organismi viventi, sia piante che animali (Parmesan & Yohe 2003). Le variazioni di areale delle specie avvengono principalmente nella forma di spostamenti verso latitudini superiori o verso quote più elevate, in risposta all'aumento di temperatura (e.g. Walther et al. 2002; Settele et al. 2008; Harsch et al. 2009; Reif & Flousek 2012). Dal momento che i cambiamenti climatici hanno un impatto estremamente significativo su molte specie selvatiche, una valutazione del loro impatto è fondamentale per una corretta pianificazione delle strategie di conservazione e sta diventando uno degli argomenti più trattati nell'ambito della letteratura ecologica e conservazionistica (Pereira et al. 2010; Bellard et al. 2012). Un aspetto particolarmente rilevante è rappresentato dalla verosimile efficacia delle aree protette nel preservare condizioni e ambienti idonei per le specie minacciate. E' infatti possibile che, con il variare delle condizioni climatiche, diversi siti che al momento ospitano specie minacciate possano diventare non più adatti alla loro presenza (Araújo et al. 2011). Per questo motivo, è importante valutare il ruolo delle aree protette in una prospettiva di cambiamenti climatici (Hannah et al. 2007; Hansen et al. 2010; Dawson et al. 2011; Kujala et al. 2011; Johnston et al. 2013).

In questo contesto, gli ambienti montani costituiscono una particolare urgenza a livello conservazionistico. Le aree montane infatti hanno spesso una biodiversità relativamente elevata (Dirnböck et al. 2011), ospitano specie endemiche o vulnerabili (Essl et al. 2009; Viterbi et al. 2013), e sono al contempo particolarmente suscettibili al riscaldamento climatico (Brunetti et al. 2009), subendo anche aumenti più rapidi delle temperature rispetto ad aree a quote inferiori (Böhm et al. 2001; Coppola & Giorgi 2010; Gualdi et al. 2013). Spostamenti altitudinali sono stati osservati o predetti per molte specie ed habitat propri dei biomi montani (Walther et al. 2002; Sekercioglu et al. 2008; Harsch et al. 2009; Dirnböck et al. 2011; Reif & Flousek 2012; Chamberlain et al. 2013).

Vista la centralità della rete Natura 2000 per la conservazione della biodiversità a livello continentale, è importante valutarne l'efficacia nel preservare ambienti idonei alle specie minacciate anche in futuro, in uno scenario di cambiamenti climatici tali da impattare sulla distribuzione delle specie. SIC (Siti di Importanza Comunitaria) e ZPS (Zone di Protezione Speciale) sono essenziali per la conservazione della natura a diverse scale spaziali, e per la loro importanza sono stati spesso oggetto di valutazione della loro efficacia (ad esempio

Valutazione dei possibili effetti dei cambiamenti climatici su specie indicatrici e implicazioni per la conservazione tramite gap analyses) per la conservazione della biodiversità (Maiorano et al. 2007; Rubio-Salcedo et al. 2013). Valutare l'efficacia della rete Natura 2000 a fronte del cambiamento climatico diviene pertanto essenziale nell'ottica di una strategia di conservazione attenta alle pressioni già operanti ad esso dovute. Pianificare correttamente le attività di conservazione, tenendo conto di quali sono gli scenari futuri cui stiamo andando incontro, può permettere di predisporre strategie efficaci per la conservazione delle specie e degli habitat, evitare inutili sforzi e investimenti per tutelare specie, ambienti o contesti che inevitabilmente andranno perduti o saranno profondamente modificati dal cambiamento climatico, concentrare energie e risorse sugli elementi e sui siti di primaria importanza.

2. Metodi

2.1 Approccio per specie target

Per ottenere una valutazione spazialmente esplicita e biologicamente sensata, si è deciso di procedere sviluppando modelli di distribuzione potenziale per specie target, scelte tra quelle che possono essere prese come "indicatrici" del probabile impatto dei cambiamenti climatici sulle comunità biologiche degli ambienti che le stesse abitano.

Per questa ragione, si sono scelte specie per le quali le conoscenze attuali indicano un'effettiva associazione con numerose altre specie (bioindicatori) e/o una verosimile sensibilità alle variazioni climatiche, almeno per quanto riguarda la Lombardia.

Le Alpi rappresentano per diverse specie a distribuzione "boreo-alpina" l'area (o una delle aree) con condizioni climatiche più "estreme" per la specie (ovvero più calde, per specie con distribuzione prevalentemente legata alle latitudini estreme): la presenza di queste specie sul territorio regionale viene generalmente inquadrata nel fenomeno dei cosiddetti 'relitti glaciali', ovvero specie la cui presenza è da collegarsi a situazioni passate caratterizzate da climi freddi. Queste specie sono evidentemente limitate (anche) dalla temperatura, dal momento che le aree occupate in regione sono al massimo termale raggiunto nell'intero areale di presenza. Altre specie sono presenti solamente presso catene montuose con cime elevate, risultando anche in questi casi evidentemente legate alla presenza di climi particolari.

2.2 Specie modello selezionate

Si sono scelte sia specie legate ad ambienti forestali, che specie legate agli ambienti aperti d'alta quota, in modo da considerare entrambi gli ambienti potenzialmente più minacciati o comunque più interessati dal cambiamento climatico, che avrà conseguenze particolarmente importanti per gli ambienti di quote relativamente elevate. Foreste e praterie sono gli habitat più minacciati a livello comunitario dal cambiamento climatico (Vos et al. 2013).

2.2.1 Ambienti forestali

Per gli ambiti forestali, si è ulteriormente sviluppata l'indagine svolta nell'ambito dell'Azione A.3- relativamente a civetta nana *Glaucidium passerinum* e civetta capogrosso

Aegolius funereus (Aves: Strigidae), specie legate a foreste di conifere o miste, con presenza di alberi maturi e radure. Le nuove analisi sono state svolte su un campione maggiore, grazie all'attività di campo proseguita nel 2014 e alla consultazione di esperti locali, e hanno visto l'utilizzo di scenari climatici futuri più completi; mentre le analisi preliminari presentate nell'ambito dell'Azione A.3 erano basate su due livelli di aumento della temperatura a scala regionale, con queste nuove analisi si sono considerati due scenari climatici futuri derivati da un modello globale di circolazione sottoposto a "downscaling" per avere delle previsioni il più precise possibili. Le nuove elaborazioni perciò includono cambiamenti anche nelle precipitazioni e non solo nella temperatura e non prevedono variazioni uniformi su tutta la regione ma variabili a seconda dei contesti geografici, secondo le previsioni fatte dal modello sopraccitato per il 2050. Civetta nana e civetta capogrosso sono particolarmente indicate come specie target per l'analisi degli effetti dei cambiamenti climatici e del possibile ruolo dei siti Natura 2000 come elementi di collegamento, dal momento che la loro presenza è influenzata da fattori quali temperatura (parametro direttamente influenzato dal cambiamento climatico) e caratteristiche paesaggistiche e strutturali del bosco (fattori potenzialmente modulabili attraverso la gestione dei siti Natura 2000). Inoltre, sono indicatori di biodiversità in termini di ricchezza di specie (Sergio et al. 2005) e specie di grande impatto sul vasto pubblico (Brambilla et al. 2013), quindi potenzialmente utilizzabili come "specie bandiera".

Metodi e risultati dell'analisi relativa ai due Strigiformi sono dettagliati anche in un recente articolo (Brambilla et al. 2014).

Si ricorda che le indagini condotte sulle specie forestali hanno mostrato limitate variazioni altitudinali negli ultimi due decenni, decisamente inferiori a quelle mostrate dalle specie di ambienti aperti, probabilmente a causa del ritardato spostamento del limite del bosco, dovuto alla lenta crescita degli alberi ad alta quota (Reif and Flousek 2012). Questo rappresenta un'ulteriore fonte di minaccia per le specie forestali, che possono trovarsi nella situazione di dover fronteggiare condizioni climatiche mutate in senso sfavorevole, e contemporaneamente essere condizionate dalla distribuzione limitata del loro habitat (Reif and Flousek 2012). Per queste ragioni è particolarmente importante indagare nel dettaglio i possibili effetti del cambiamento climatico su specie forestali con esigenze ecologiche specializzate. Civetta nana e civetta capogrosso sono presenti sulle Alpi come 'relicti

Valutazione dei possibili effetti dei cambiamenti climatici su specie indicatrici e implicazioni per la conservazione glaciali', la cui presenza è da ricondursi ad una distribuzione più vasta in passato, quando il clima era più freddo (Shurulinkov et al. 2007; Gustin et al. 2009).

2.2.2 Ambienti aperti d'alta quota

Per gli ambienti di alta quota, si sono selezionate specie per le quali si avevano già evidenze di possibile effetto negativo dei cambiamenti climatici sulle Alpi (Chamberlain et al. 2013), oppure localizzate presso catene montuose con elevata altitudine, oppure presenti in Europa meridionale come specie strettamente o prevalentemente montane (Cramp 1998, Gustin et al. 2010). Pertanto, si sono costruiti modelli per queste specie: spioncello *Anthus spinoletta*, sordone *Prunella collaris*, culbianco *Oenanthe oenanthe*, codiroso spazzacamino *Phoenicurus ochruros*, fringuello alpino *Montifringilla nivalis*.

2.3 Raccolta dati

La raccolta dati per civetta nana e civetta capogrosso, specie incluse nell'Allegato I della Direttiva Uccelli, è avvenuta nell'ambito delle attività di campo e di consultazione di esperti svolte per l'Azione D.1. Hanno collaborato alla costituzione del database di localizzazioni utilizzato per lo svolgimento delle analisi le seguenti persone: I. Armanasco, E. Bassi, M. Benazzo, M. Bongio, G.M. Crovetto, R. Del Togno, M. Ferloni, A. Mazzoleni, N. Semperboni, P. Trotti, S. Vitulano. E. Bassi ha contribuito anche alla stesura dell'articolo di riferimento.

Per le altre specie, legate agli ambienti aperti d'alta quota, i dati relativi al territorio lombardo provengono da dati raccolti da parte del gruppo di lavoro (M. Brambilla) nell'ambito dell'attività di campo svolta per l'Azione D.1 o in attività di ricerca pregresse. Per un migliore svolgimento dell'azione, si è avviata una collaborazione con il MUSE - Museo delle Scienze di Trento, Sezione Zoologia dei Vertebrati (Paolo Pedrini e Aaron Iemma), impegnato nel LIFE+ TEN, e con l'Università di Torino, Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi (gruppo di ricerca composto da Dan Chamberlain, Antonio Rolando e colleghi), da anni attiva sull'argomento. Si sono pertanto utilizzati i dati inseriti nel WebGIS prodotto attraverso il LIFE+ TEN (link) e i dati raccolti da Dan Chamberlain e colleghi nell'ambito di attività di ricerca sull'avifauna alpina (si veda Chamberlain et al. 2013 per una descrizione delle modalità di raccolta dati). Ulteriori dati sono stati gentilmente messi a disposizione da G. Assandri (Piemonte), E. Bassi e M.

Belardi (Lombardia). Da tutti i dati così raccolti, sono stati esclusi quelli riferiti a individui contattati in periodo potenzialmente ancora di migrazione, così come quelli con precisione spaziale superiore ai 100 m e pertanto non sufficientemente dettagliati in senso spaziale per gli scopi del presente lavoro. Relativamente alle date, si è operata la seguente selezione dei dati: periodo 2000-2014, mesi maggio-luglio (spioncello dal 15 maggio, culbianco dal 1 giugno). Alcuni dati aggiuntivi al di fuori della finestra maggio-giugno sono stati considerati validi e utilizzati, in quanto associati a evidenze di riproduzione certa o altamente probabile.

2.4 Modelli di distribuzione

È stata modellizzata la distribuzione delle specie target in condizioni attuali e future, attraverso l'utilizzo di metodi basati sul principio della massima entropia, con il software (MaxEnt, release

3.3.3k), che sviluppa i modelli mettendo in relazione la presenza delle specie target con le caratteristiche ambientali (Phillips et al. 2006). MaxEnt valuta l'idoneità ambientale di un punto dell'area di studio in base alle sue caratteristiche ambientali, ed è considerato uno dei metodi migliori (in termini di versatilità e di bontà dei modelli prodotti) tra quelli che utilizzano solo dati di presenza (Elith et al. 2006; Elith et al. 2011), e può predire significativamente la distribuzione di specie, anche utilizzando campioni molto limitati (Pearson et al. 2007; Wisz et al. 2008; Baldwin 2009).

Nel presente lavoro, si sono utilizzate due scale spaziali differenti, perché differenti sono le scale a cui rispondono le specie target selezionate. Per civetta nana e capogrosso, la Lombardia è stata suddivisa in celle di 1 km x 1 km, una dimensione che corrisponde alla dimensione media del territorio delle specie (Cramp 1985; Gustin et al. 2009; Brambilla et al. 2013a). Per le altre specie, che sono piccoli Passeriformi, con territori di dimensione molto limitate, si è optato per misurare variabili per celle di 40 m x 40 m, con misurazione delle variabili in un intorno di 100 m, in modo da approssimare l'home range medio di queste specie. Stante l'approssimazione legata al calcolo in modalità raster effettuato sulle celle di 40 m x 40 m, l'area associata a ciascun pixel e all'interno della quale sono valutate le caratteristiche ambientali è di poco superiore ai 2 ha.

Le variabili ambientali considerate includono sia elementi legati all'uso del suolo che fattori climatici. Per le analisi relative alle civette, si è utilizzata come base per il calcolo

delle variabili di uso del suolo il DUSAF 4.0 (Regione Lombardia e ERSAF 2014; risoluzione 20 m). Oltre a essere particolarmente preciso, il DUSAF 4.0 (datato 2012) appare perfetto per i dati relativi ai due strigiformi, raccolti soprattutto tra il 2010 ed il 2014.

Per quanto riguarda i Passeriformi d'alta quota, vista la natura inter-regionale del dataset utilizzato, non è stato possibile avvalersi del DUSAF, relativo esclusivamente al territorio lombardo, per la creazione delle variabili di uso del suolo. Ci si è dunque basati sulla carta di uso del suolo comunemente utilizzata a livello europeo per studi di questo tipo, ovvero CORINE Land Cover (CLC 2006), la cui data risulta peraltro adeguata ad un dataset che include osservazioni comprese tra il 2000 ed il 2014. Inoltre, le principali differenze pratiche per la modellizzazione della distribuzione di specie ornitiche tra le due banche dati sono legate alle sotto-divisioni delle categorie forestali, che sono ovviamente molto più rilevanti per civetta nana e capogrosso che per le specie di ambienti aperti d'alta quota, per le quali il bosco rappresenta quasi sempre un ambiente poco vocato, a prescindere dalla tipologia forestale specifica.

Le variabili climatiche considerate sono state scelte tra le cosiddette "variabili bioclimatiche", come quelle potenzialmente più importanti per la distribuzione delle specie target nell'area di studio. Sono state ottenute da WorldClim v.1.4 (Hijmans et al. 2005; <http://www.worldclim.org>), come variabili a scala fine (risoluzione 30 secondi di arco, che corrisponde a meno di 1 km alla latitudine lombarda). Si sono pertanto considerate la temperatura media annuale (BIO1), la temperatura massima del mese più caldo (BIO5), la temperatura media del quarto (periodo di tre mesi) più caldo (BIO10), le precipitazioni annuali (BIO12) e le precipitazioni del quarto più caldo (BIO18). Tali variabili sono state calcolate per ciascuna cella delle griglie utilizzate per le analisi. Sono state scelte variabili annuali e per il quarto più caldo perché le specie target sono almeno teoricamente influenzate (negativamente) maggiormente dalle temperature più elevate (sono presenti nelle Alpi al loro massimo termale -o in prossimità di esso-, ovvero alla temperatura più alta a cui vivono nel loro areale; Gustin et al. 2009; Shurulinkov et al. 2007) e perché il loro periodo riproduttivo coincide in buona parte col periodo più caldo dell'anno (Cramp 1985).

In MaxEnt, il background è stato creato utilizzando 10,000 punti random generati in modalità automatica dal programma.

I modelli sono stati costruiti utilizzando relazioni lineari e quadratiche ed evitando forme di relazione più complesse per evitare il rischio di *overfitting*.

Dalle numerose variabili disponibili nelle banche dati CORINE e DUSAF, sono state selezionate quelle più rappresentative per le specie e sono stati fatti alcuni accorpamenti per ridurre il numero di fattori considerati, sommando tra loro i valori di copertura di alcune tipologie ambientali simili e verosimilmente 'analoghe' tra loro per le specie considerate.

Per valutare la bontà dei modelli, è stata calcolata l'area sotto la curva (area under the curve - AUC) della statistica *receiver operating characteristic* (ROC) (Phillips et al. 2006; Elith et al. 2011), sebbene tale metodo sia stato criticato (Lobo et al. 2008), a causa della mancanza di alternative per la stima della capacità discriminatoria nei modelli di tipo presenza-background (Baldwin 2009; Engler et al. 2014). E' stata fatta una cross-validazione ripetuta 10 volte per calcolare l'AUC e la sua deviazione standard. Tutti i modelli mostrano capacità discriminatoria buona o eccellente ($AUC > 0.81$ per tutte le specie), associata a deviazione standard molto limitata (pari a 0.11 per il fringuello alpino, < 0.03 per tutte le altre specie), a riprova della stabilità dei modelli.

Variabili ambientali relative all'uso del suolo utilizzate per lo sviluppo dei modelli

DUSAF 4.0

boschi cedui di latifoglie

boschi cedui di latifoglie a bassa densità

boschi di conifere

boschi di conifere a bassa densità

boschi cedui misti (latifoglie e conifere)

boschi misti d'alto fusto (latifoglie e conifere)

boschi cedui misti (latifoglie e conifere) a bassa densità

ambienti antropici

ambienti di prateria

suolo scoperto

arbusteti

corpi idrici

CORINE LAND COVER

seminativi

risaie

vigneti

pascoli

boschi di latifoglie

boschi di conifere

boschi misti

praterie naturali

brughiere

boscaglie e arbusteti di transizione

spiagge, dune, aree sabbiose

roccia nuda

aree con vegetazione sparsa

ghiacciai e nevi perenni

paludi
corpi idrici
aree urbanizzate

Per quanto riguarda le civette, si rimanda a Brambilla et al. (2014) per ulteriori dettagli sulle procedure di modellizzazione adottate.

In tutti i casi, i modelli sono stati elaborati utilizzando l'output di tipo logistico per consentire una riclassificazione binaria (in idoneo e non idoneo) del valore continuo di idoneità ambientale fornito da MaxEnt. Per riclassificare questo output, si è utilizzato il threshold detto *Maximum training sensitivity plus specificity threshold*, raccomandato come uno dei più efficaci per questo tipo di riclassificazione (Liu et al. 2013). Nel caso dei modelli per le due civette, il valore di questo threshold coincide anche con il valore minimo rilevato presso i punti di presenza: ciò comporta che tutte le aree idonee alle specie sono verosimilmente classificate come potenzialmente occupate dalla specie, ma che allo stesso tempo non ci dovrebbero essere grandi estensioni di habitat privo della specie classificate come idonee.

Tutti i record duplicati sono stati eliminati, in modo da avere un solo record per ciascuna cella utilizzata per le analisi.

2.5 Scenari futuri

Per simulare le condizioni climatiche future, sono stati considerati due valori differenti di *representative concentration pathways* (RCPs). Le RCPs rappresentano le traiettorie di concentrazione dei gas serra adottate dall'IPCC (Moss 2008) e sono utilizzate per descrivere il futuro climatico secondo un range di valori radiativi forzanti (Diffenbaugh & Field 2013), calcolati confrontando i valori futuri con quelli pre-industriali e tenendo conto di diversi fattori condizionanti o limitanti (Moss et al. 2010; van Vuuren et al. 2011).

Per le elaborazioni relative a civetta nana e civetta capogrosso, sono stati utilizzati i valori di RCP pari a +4.5 e a +8.5 W/m² e scaricate le variabili bioclimatiche relative, per l'anno 2050, secondo il modello Hadley Global Environment Model 2 (HadGEM2-ES), sempre ad una risoluzione di 30 secondi da www.worldclim.org.

Per le elaborazioni relative ai Passeriformi d'alta quota, sono stati utilizzati i valori relativi agli stessi scenari. Tuttavia, poiché i risultati generali sono molto simili (sebbene le

contrazioni di areale risultino leggermente più marcate nel caso dello scenario con RCP +8.5 W/m²), vengono presentati ed utilizzati gli output relativi al solo scenario con RCP pari a +8.5 W/m². Si è optato scegliere lo scenario "estremo", purtroppo sempre meno improbabile, per un principio di precauzione, puntando ad individuare le variazioni in uno scenario di ampio cambiamento (Johnston et al. 2013).

I modelli di distribuzione ottenuti in base alle condizioni attuali sono stati proiettati poi sugli scenari futuri, in modo da poter valutare la verosimile distribuzione futura delle specie target in base alle future condizioni climatiche.

In entrambi i casi (specie forestali e specie d'alta quota), le previsioni future sono state prodotte per il 2050, per il bisogno di misurare gli impatti sul breve-medio termine, dal momento che le decisioni umane sono raramente stabilite sulla base di proiezioni a lungo termine e che i cicli vitali delle specie sono solitamente brevi (Chapman et al. 2014).

2.6 Indicazioni per la conservazione/gestione

In base alle distribuzioni attuali e future, si possono fornire delle indicazioni per la conservazione delle specie legate agli ambienti montani e per il mantenimento di una continuità ecologica tra gli habitat che tenga conto delle future variazioni di areale di specie e ambienti in relazione al cambiamento climatico. Mantenere infatti la connessione ecologica tra i patches di habitat che resteranno idonei alle specie minacciate dal cambiamento climatico è infatti fondamentale per garantire possibilità di spostamento e di vitale scambio di individui alle popolazioni delle varie specie. Questa parte è stata ripresa e dettagliata nel documento relativo alla connessione ecologica e alla RER prodotto sempre nell'ambito dell'Azione C.1.

In generale, si è ritenuto utile definire priorità di conservazione molto 'forti', identificando aree che rimarranno idonee per i) entrambe le specie forestali, ii) tutte le specie d'alta quota e/o il fringuello alpino (quest'ultimo è la specie che mostrerà la contrazione di areale più drammatica). Questa scelta è dovuta al fatto che si ritiene più strategico individuare dei contesti di particolare importanza, da gestire e conservare in modo appropriato e finalizzato a contrastare gli impatti negativi del cambiamento climatico, piuttosto che a dare indicazioni generali e/o troppie ampie, che risulterebbero realisticamente non perseguibili e poco attuabili per la mancanza di specificità, anche in termini di contesti geografici e ambiti spaziali più o meno individuabili.

2.6.1 Implicazioni a livello generale

Le prime implicazioni per la conservazione ricavabili da questo approccio interessano la rete Natura 2000 lombarda e la Rete Ecologica Regionale in quanto tali: gli aspetti prioritari per fronteggiare il cambiamento climatico e contrastarne gli effetti negativi sulle comunità biologiche è mantenere gli habitat idonei dove permarranno le condizioni climatiche idonee alle specie e mantenere le connessioni ecologiche necessarie per consentire alle specie di spostare il proprio areale e di scambiare individui e geni tra le popolazioni. Pertanto, si sono dapprima individuate le aree dove mantenere la connessione ecologica per le diverse tipologie ambientali è fondamentale in un'ottica di mutamento climatico e di conseguenti variazioni nell'idoneità ambientale per le diverse specie (cfr. European Commission 2013). La parte sulle connessioni ecologiche è stata dettagliata nel documento relativo alla connessione ecologica e alla RER prodotto sempre nell'ambito dell'Azione C.1.

2.6.2 Implicazioni sito-specifiche

Successivamente alla definizione delle priorità generali sopra descritte, è importante cercare di individuare le priorità sito-specifiche, ovvero individuare quali siti debbano dare priorità alla conservazione di alcuni habitat e specie piuttosto che ad altri, in relazione alle variazioni attese. Infatti, avrebbe poco senso concentrare gli sforzi nella conservazione di specie che quasi indubbiamente spariranno da un dato sito a causa del sopraggiungere di condizioni climatiche non più compatibili con le esigenze delle specie stesse.

L'aver individuato delle priorità 'forti' (vedi sopra) consente di focalizzare l'attenzione sugli elementi realmente importanti, tralasciando situazioni meno significative, in modo anche da ridurre le necessità di revisione o modifica degli strumenti di gestione già esistenti ed adottati (es. Piani di gestione dei siti Natura 2000).

3. Risultati

3.1 Modelli di distribuzione presente e futura

Tutti i modelli sono risultati statisticamente robusti ed affidabili, per quanto riguarda la distribuzione predetta in base alle condizioni attuali. I risultati di tutte le analisi suggeriscono una contrazione più o meno marcata delle aree potenzialmente idonee alle specie target in risposta al cambiamento climatico. Le variazioni di areale saranno particolarmente marcate per le specie maggiormente legate a climi 'alpini' caratterizzati da basse temperature (es. fringuello alpino: variazione di areale potenziale pari a -85%).

3.1.1 Modelli per civetta nana e civetta capogrosso

Le analisi relative ai due Strigiformi confermano l'importanza delle variabili indicative delle condizioni climatiche (e della temperatura in particolare), seguite da quelle rappresentative del bosco montano (bosco di conifere, bosco misto a fustaia). In particolare, temperatura media annuale ed estensione del bosco di conifere sono le variabili più importanti per entrambe le specie, a conferma dello stretto legame esistente tra queste specie e gli ambienti forestali 'freddi' delle montagne alpine.

Le esigenze ecologiche particolari di queste due specie sono ulteriormente confermate dalla mancanza di evidenti segnali di espansione recente a quote medie e basse, mostrata invece da molte altre specie forestali in Lombardia negli ultimi decenni (Vigorita & Cucè 2008). Specie come il picchio nero *Dryocopus martius*, il picchio rosso maggiore *Dendrocopos major*, il picchio verde *Picus viridis* e la cincia dal ciuffo *Lophophanes cristatus* hanno incrementato il proprio areale in Lombardia negli ultimi decenni, grazie ad un incremento nell'estensione e nella qualità degli ambienti forestali (Vigorita & Cucè 2008; Gustin et al. 2009; Brambilla et al. 2012b; Brambilla & Saporetti 2014). Al contrario, civetta nana e capogrosso non hanno mostrato alcuna espansione a bassa quota: verosimilmente, l'aumento qualitativo e quantitativo delle foreste a bassa quota non ha avuto alcun effetto positivo sulle specie perché è avvenuto al di fuori della fascia climaticamente idonea alle specie. Per la stessa ragione, anche l'espansione dei picchi, che scavano la gran parte dei nidi utilizzati per la riproduzione dalle due civette (Cramp 1985; Gustin et al. 2009; Brambilla et al. 2013), non ha avuto effetti positivi sulla distribuzione delle civette. Il forte e stretto legame con le foreste montane in climi sufficientemente freddi rende civetta nana e capogrosso direttamente suscettibili agli effetti del cambiamento climatico, che si presume avrà impatti già molti forti

nel 2050. Anche la gestione delle foreste è sicuramente importante per queste specie. Entrambe le civette sono associate con foreste di conifere, la cui conservazione può essere promossa da un utilizzo forestale pianificato correttamente nelle aree idonee alle specie. Nello specifico, la civetta nana è favorita dalla presenza di alcune aree con suolo scoperto e da una moderata disponibilità di prateria, due ambienti utilizzati dagli individui durante la caccia (Pedrini et al. 2005). Tuttavia, gli ambienti prativi sono in drammatico calo a livello regionale (vedi ad esempio Brambilla et al. 2010), per diverse ragioni tra cui conversione in altri usi del suolo, abbandono, espansione del bosco, quest'ultima favorita dal clima più mite (Harsch et al. 2009; Chamberlain et al. 2013). La civetta nana è anche influenzata negativamente dall'estensione di aree antropizzate e di boschi di latifoglie, questi ultimi in forte espansione a livello regionale (ERSAF 2013). La civetta capogrosso è invece favorita dalla presenza di alcune aree con suolo scoperto e dall'estensione di boschi misti a fustaia, mentre risente negativamente della copertura di boschi misti ceduati: le fustaie possono essere mantenute o aumentate a spese dei cedui attraverso uno sfruttamento mirato. Un utilizzo forestale accorto e sensibile nei confronti delle esigenze di queste e delle altre specie che ne condividono l'habitat è probabilmente essenziale per la conservazione delle comunità biologiche dei boschi montani, dal momento che il progressivo spostamento verso quote superiori delle latifoglie espanderà gradualmente il bosco misto a spese della conifereta pura. L'espansione del bosco di latifoglie e misto potrebbe portare anche all'espansione dell'alocco *Strix aluco*, potenziale predatore e competitore soprattutto per la civetta capogrosso (Vrezec & Tome 2004), attualmente assente dalle foreste di conifere dove si trovano invece le due civette. Pertanto, la gestione forestale sarà fondamentale per mantenere condizioni idonee alle specie, attraverso la conservazione di boschi di conifere o degli individui di conifere nei boschi misti (che dovrebbero essere gestiti come fustaie). Tali accorgimenti riguardano in primo luogo i siti Natura 2000 che manterranno condizioni idonee alle specie anche in futuro. La rete Natura 2000 lombarda include attualmente il 38% circa dei siti idonei per entrambe le specie e tale proporzione aumenterà leggermente in futuro, pur a fronte di una considerevole diminuzione delle aree idonee anche nei siti Natura 2000 (20%-52% a seconda delle specie e degli scenari). Le aree che sono idonee per entrambe le specie e che lo rimarranno in entrambi gli scenari futuri, sono di vitale importanza per la conservazione delle due specie. Purtroppo, il 64% di tali aree sono totalmente o prevalentemente al di fuori dei siti Natura 2000. Oltre a essere di primaria

importanza per la conservazione delle due specie e delle comunità biologiche ad esse associate, queste aree sono anche ideali per dare continuità alla rete Natura 2000 nella Lombardia alpina. Questi siti pertanto sono candidati ideali per l'ampliamento del sistema Natura 2000 o, almeno, per adottare una conservazione attiva e strategica nell'ambito della RER. Forme di gestione dedicata dell'habitat devono essere previste per mantenere tali aree idonee per la civetta nana e la civetta capogrosso anche in futuro e per mantenere la connettività ecologica per le specie forestali montane.

Variable	civetta nana			civetta capogrosso		
	effetto	% contr.	P.I.	effetto	% contr.	P.I.
BIO1	+/-	22	44.6	+/-	26.7	36.5
BIO5	non incluso			+/-	1.4	5.3
BIO10	non incluso			non incluso		
BIO12	-	0.8	2.0	-	6.2	24.4
BIO18	non incluso			+/-	0.6	31.0
boschi cedui di latifoglie	-	1.9	0.0	non incluso		
boschi cedui di latifoglie a bassa densità	non incluso			non incluso		
boschi di conifere	+	70.8	47.4	+	60	1.2
boschi di conifere a bassa densità	non incluso			non incluso		
boschi cedui misti (latifoglie e conifere)	non incluso			-	0.7	1.0
boschi misti d'alto fusto (latifoglie e conifere)	non incluso			+	2.8	0.3
boschi cedui misti (latifoglie e conifere) a bassa densità	non incluso			non incluso		
ambienti antropici	-	0.6	5.0	non incluso		
ambienti di prateria	+/-	1.2	0.7	non incluso		
suolo scoperto	+/-	2.8	0.3	+/-	1.6	0.4
arbusteti	non incluso			non incluso		
corpi idrici	non incluso			non incluso		

Tabella 3.1. Riassunto dei modelli di distribuzione per civetta nana e civetta capogrosso (modificato da Brambilla et al. 2015).

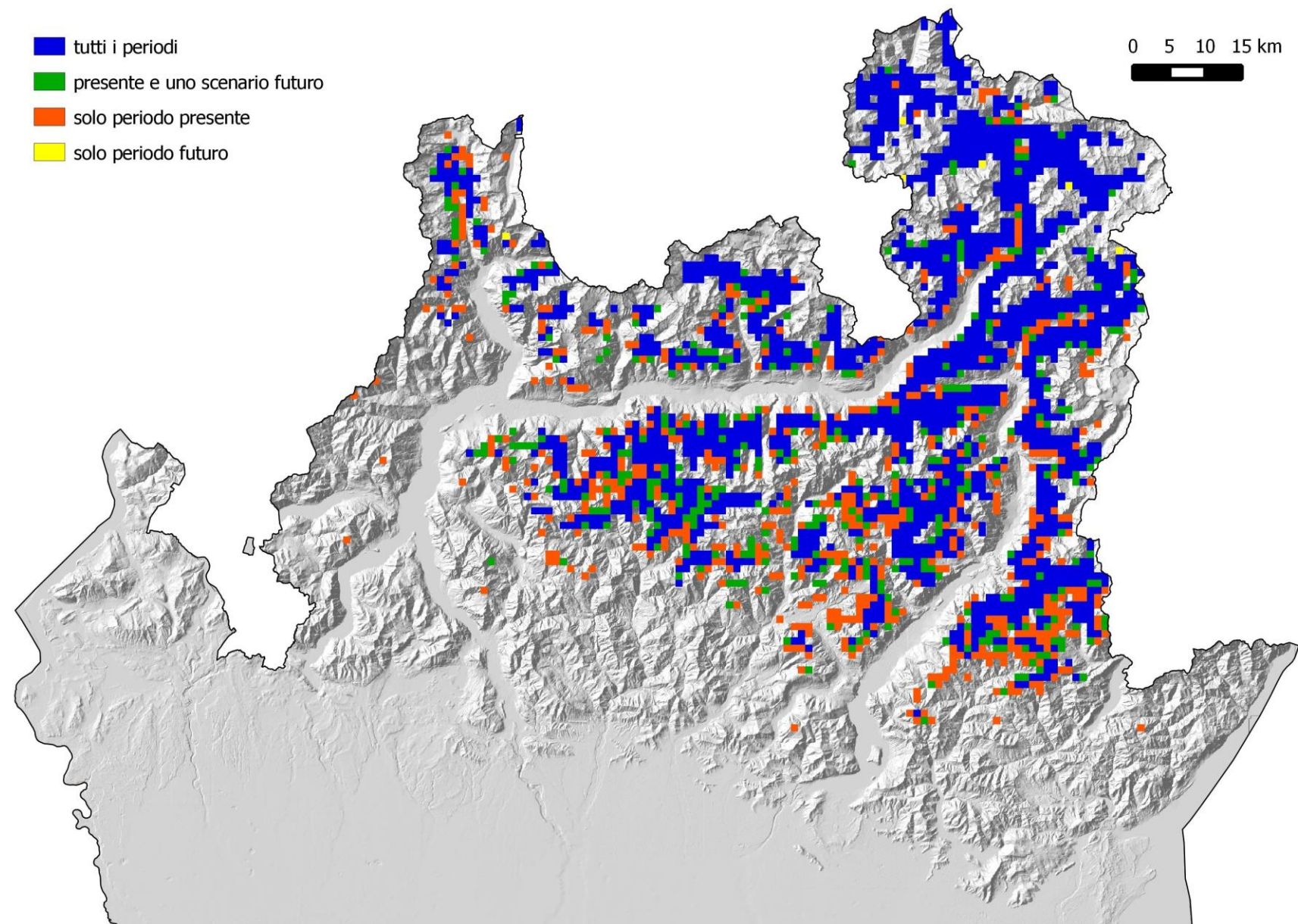


Figura 3.1. Civetta nana: distribuzione presente e futura. Ridisegnato da Brambilla et al. (2015).

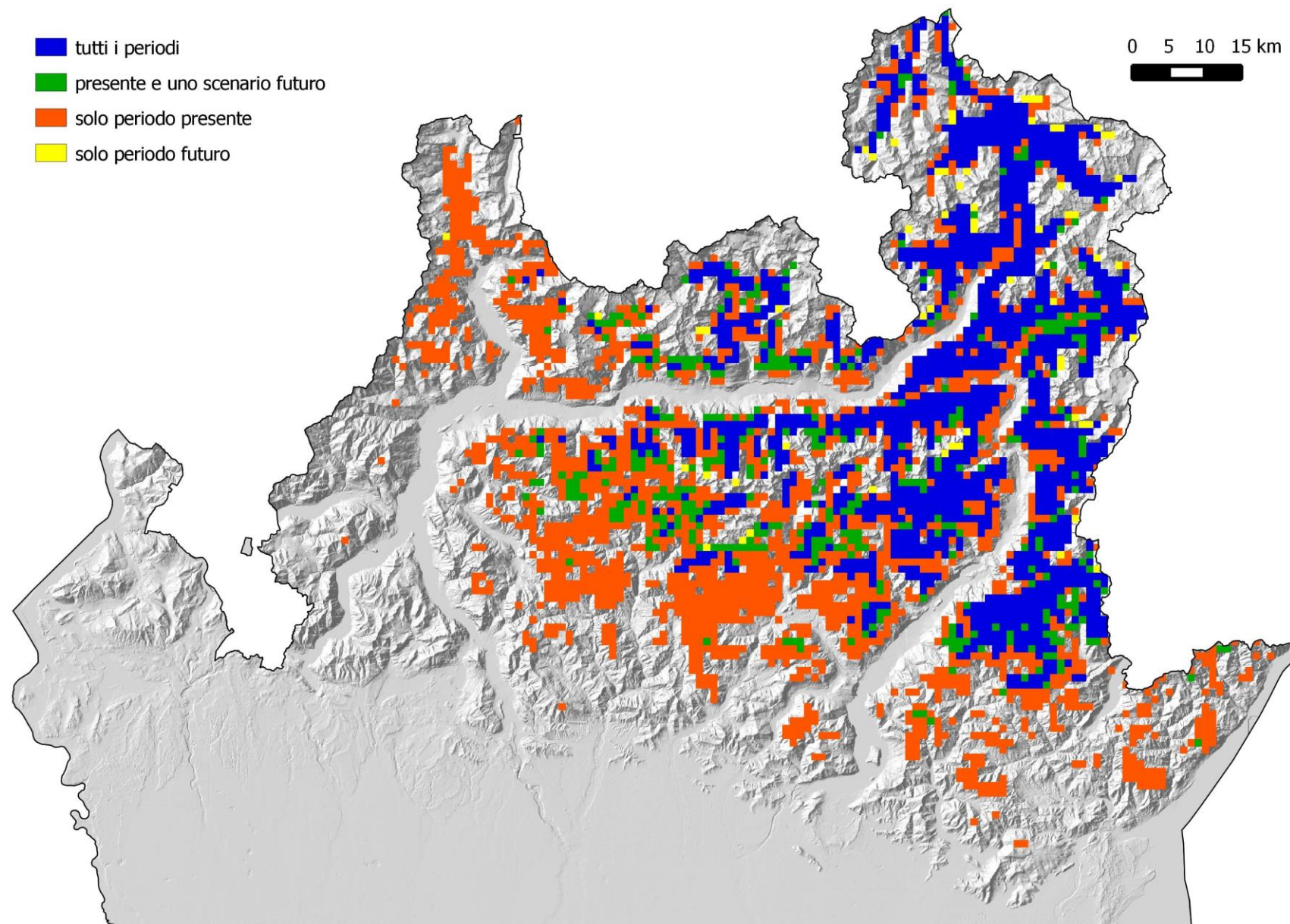


Figura 3.2. Civetta capogrosso: distribuzione presente e futura. Ridisegnato da Brambilla et al. (2015).

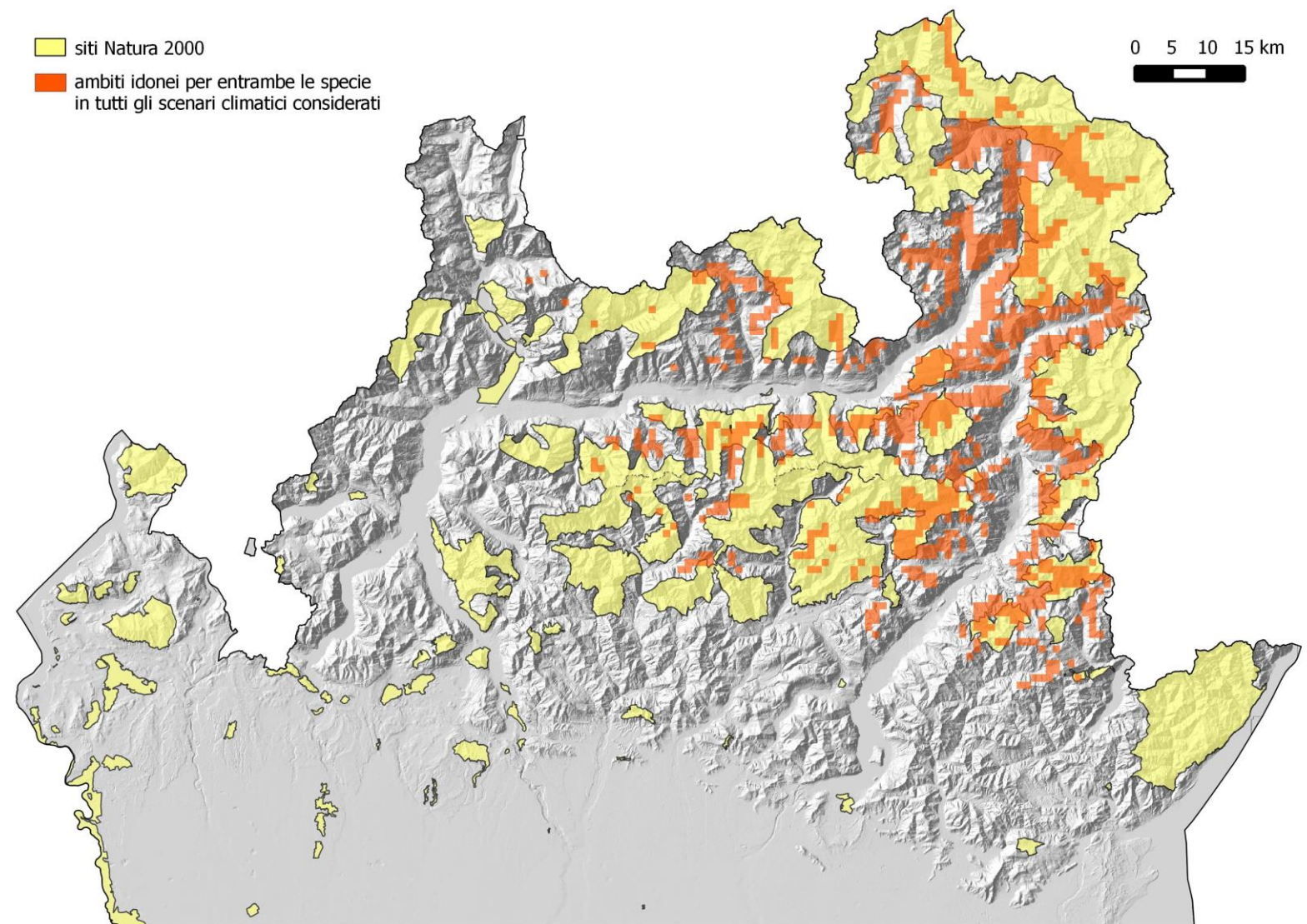


Figura 3.3. Civetta nana e capogrosso: ambiti di presenza potenziale di entrambe le specie secondo tutti gli scenari. Questi contesti sono di prioritaria importanza per la conservazione delle due specie e delle comunità biologiche ad esse associate. Ridisegnato da Brambilla et al. (2015).

3.1.2 Ambienti aperti d'alta quota

Modelli di distribuzione per le specie d'alta quota.

Sintesi dei modelli di distribuzione per le specie d'alta quota (sono riportate solo le variabili più importanti). Legenda: +: effetto positivo; -: effetto negativo; +/-: effetto quadratico; nessun simbolo: effetto nullo o trascurabile. Gli effetti descritti sono quelli relativi ai modelli con la singola variabile, che sono più facili da interpretare.

Variabile	spioncello	sordone	culbianco	codirosso spazzacamino	fringuello alpino
CLC 211				+	
CLC 311			-	-	-
CLC 312	-	-	-	-	
CLC 313			-	-	-
CLC 321	+	+	+	+	+
CLC 324		+			-
CLC 332		+	+		
CLC 333	+	+	+		
urbanizzato				+	
BIO1	+/- (picco at 0°C)	-	+/- (picco at 0°C)	-	-
BIO5				-	
BIO10	+/- (picco at 7°C)		+/- (picco at 7°C)		
BIO12					+
BIO18		+	+	+	+
pendenza	+/-		+/-	+/-	+/-
orientazione	orientazioni S e E preferite	orientazioni S preferite	orientazioni S e E preferite	orientazioni N evitate	orientazioni N e S evitate

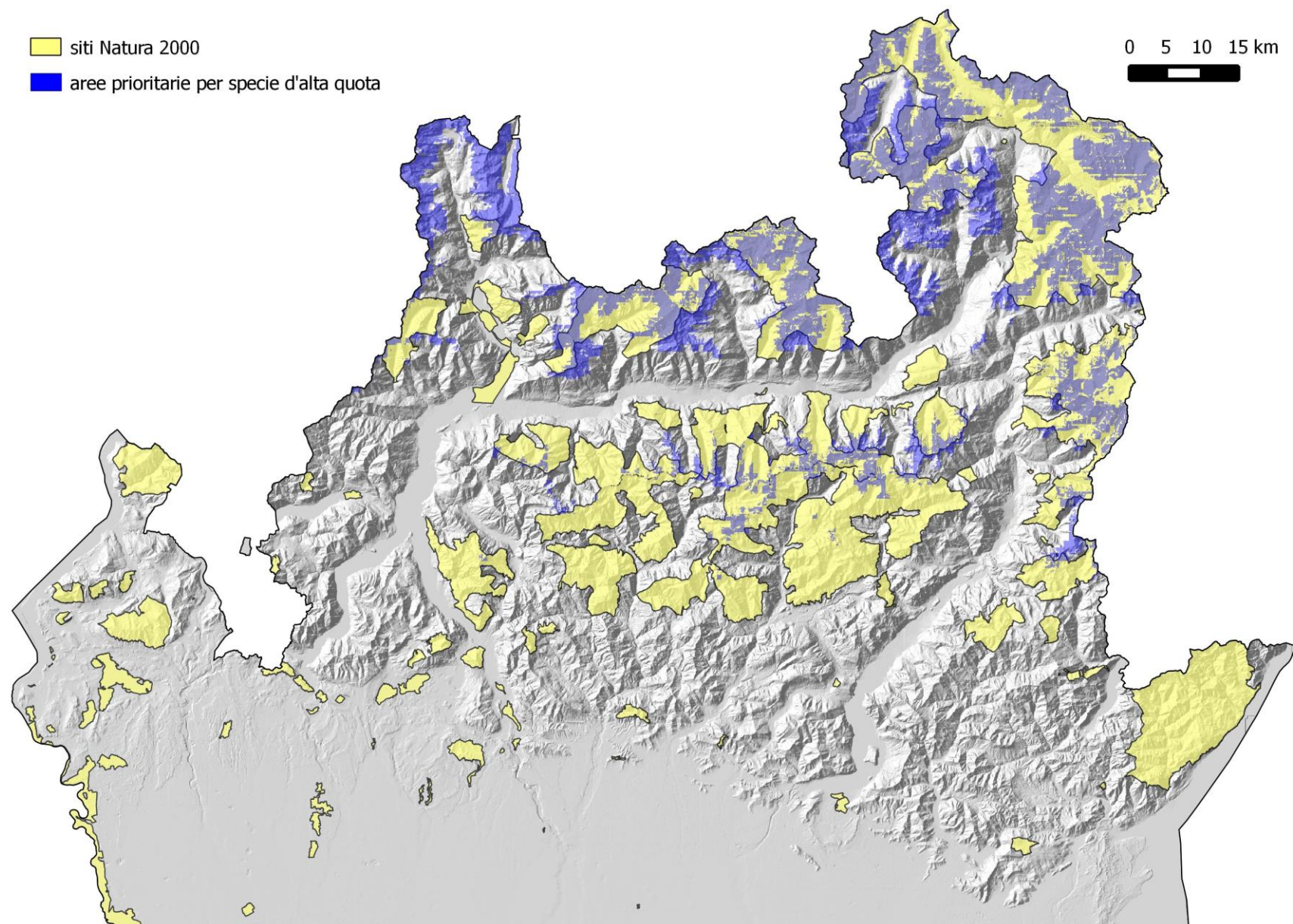


Figura 3.4. Aree di primaria importanza per la conservazione dell'avifauna d'alta quota.

3.4 Implicazioni a scala regionale

La prima applicazione pratica delle analisi sopra descritte risiede nella possibilità di individuare, alla scala regionale, quali siano le aree di primaria importanza per la conservazione dell'avifauna montana, che rappresenta la componente maggiormente vulnerabile ai cambiamenti climatici e che può funzionare da "ombrello" per la conservazione delle comunità biologiche di questi ambienti nel loro insieme.

Grazie alla modellizzazione spazialmente esplicita delle aree di maggior rilevanza per la conservazione delle specie forestali e delle specie di ambienti aperti d'alta quota, è possibile sovrapporre le informazioni relative alle due categorie di specie e ottenere una 'mappa' a scala regionale in grado di mostrare quali aree e settori del territorio lombardo siano essenziali per la conservazione delle une o delle altre specie e delle relative comunità.

Come si evince dalla Figura 3.5, i punti di sovrapposizione tra le aree indicate per la conservazione delle specie forestali e le aree indicate per la conservazione dell'avifauna d'alta quota sono molto scarsi e coincidono nella totalità dei casi con la fascia di transizione tra il bosco di conifere e le praterie d'alta quota. In questi ambiti, si riscontra la possibile continuità tra le distribuzioni di civetta nana e capogrosso, frequenti al margine delle foreste, e quelle di specie come spioncello, culbianco e codirosso spazzacamino, tipiche di pascoli e praterie alpine, con presenza potenziale anche di sordone e fringuello alpino ove la presenza di altri elementi (rocce, detriti, etc.) ne consenta l'insediamento.

In questo modo, è stato possibile individuare cartograficamente, con buona risoluzione, le aree di primaria importanza per la conservazione della biodiversità sulle Alpi lombarde in un contesto di cambiamento climatico con conseguente variazione nella distribuzione delle specie e degli habitat.

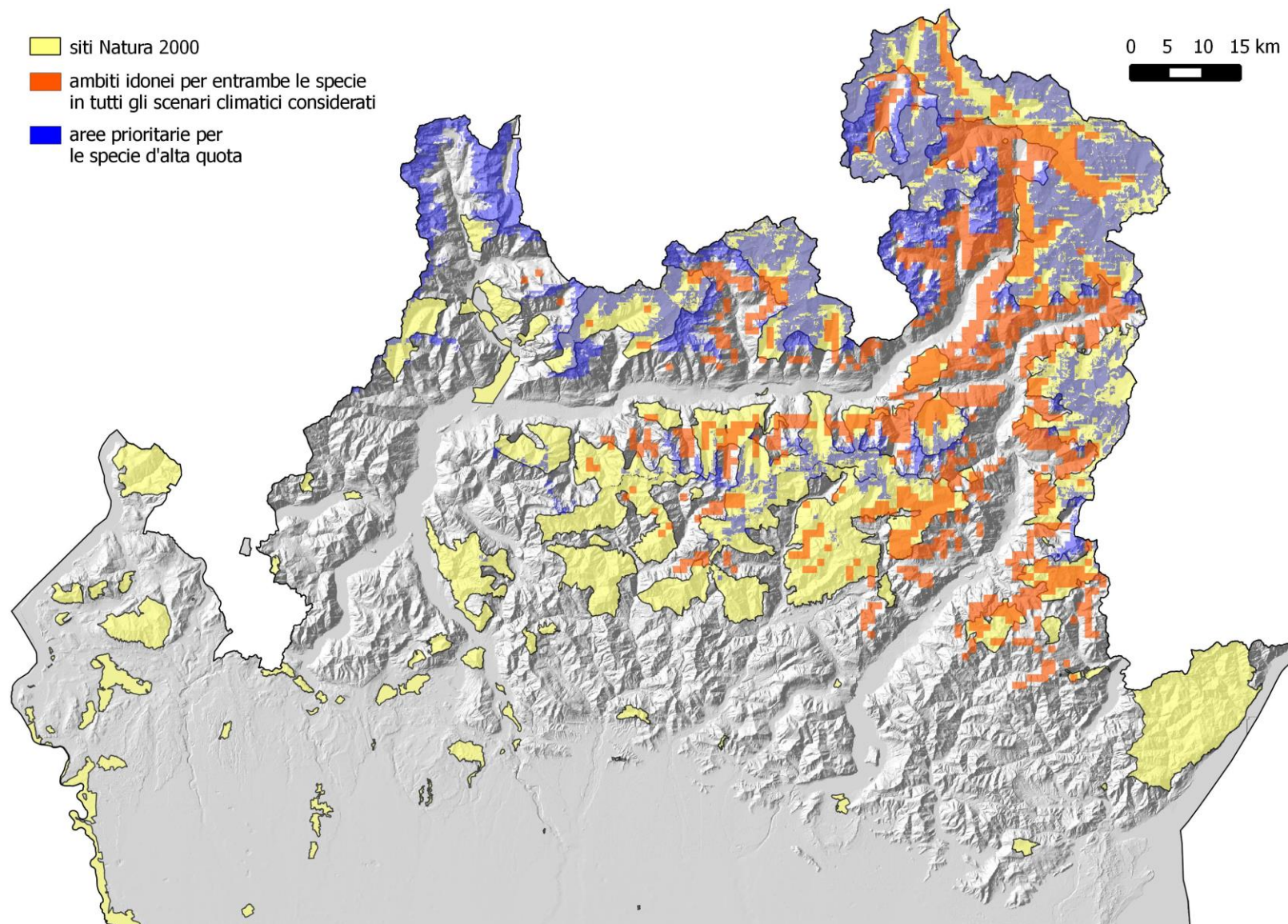


Figura 3.5. Siti prioritari per la conservazione dell'avifauna alpina in relazione al cambiamento climatico. In viola le aree prioritarie per la conservazione delle specie di ambienti aperti d'alta quota, in rosso per le specie forestali montane.

3.5 Implicazioni per i singoli siti

Le conseguenze per una corretta strategia di conservazione possono (e debbono) essere declinate anche a livello di singoli siti. La possibilità di valutare l'importanza futura di un sito per un gruppo di specie o per un altro, o di diverse porzioni dello stesso sito, costituisce un elemento di rilevante importanza per la pianificazione di misure e modalità di gestione funzionali a far fronte al cambiamento climatico, puntando alla conservazione delle condizioni idonee e degli habitat adatti alle specie minacciate nei siti che rimarranno climaticamente idonei a tali specie anche in futuro.

Nella sezione seguente, viene presentata una cartografia di dettaglio relativa a Siti di Importanza Comunitaria e Zone di Protezione Speciale dell'area alpina lombarda, finalizzata a mostrare le aree importanti per le specie forestali e quelle d'alta quota all'interno dei siti Natura 2000 e nelle aree ad essi contigue.

E' opportuno ricordare come la mancanza di aree prioritarie in un dato sito, sia esso un SIC o una ZPS, non costituisce un indice di scarsa importanza di tale sito, e non significa nemmeno che tale sito non sarà più importante per le specie target in futuro: semplicemente, non includerà verosimilmente aree che si manterranno idonee alla presenza di entrambe le specie di Strigiformi forestali (mentre potrebbe rimanere idoneo per una sola di queste specie, vedi Figure X-X) o aree che ospiteranno potenzialmente allo stesso tempo spioncello, culbianco, codirosso spazzacamino, sordone e/o fringuello alpino. Come esplicitato nella definizione delle priorità di conservazione (si ricorda che si sono individuate volutamente solo delle "priorità forti"), le aree prioritarie per la conservazione delle specie montane in un'ottica di cambiamenti climatici devono costruire la base, l'ossatura della strategia di conservazione della biodiversità alpina a fronte dei cambiamenti climatici, ma tale strategia non può e non deve esaurirsi alle sole aree indicate come prioritarie.

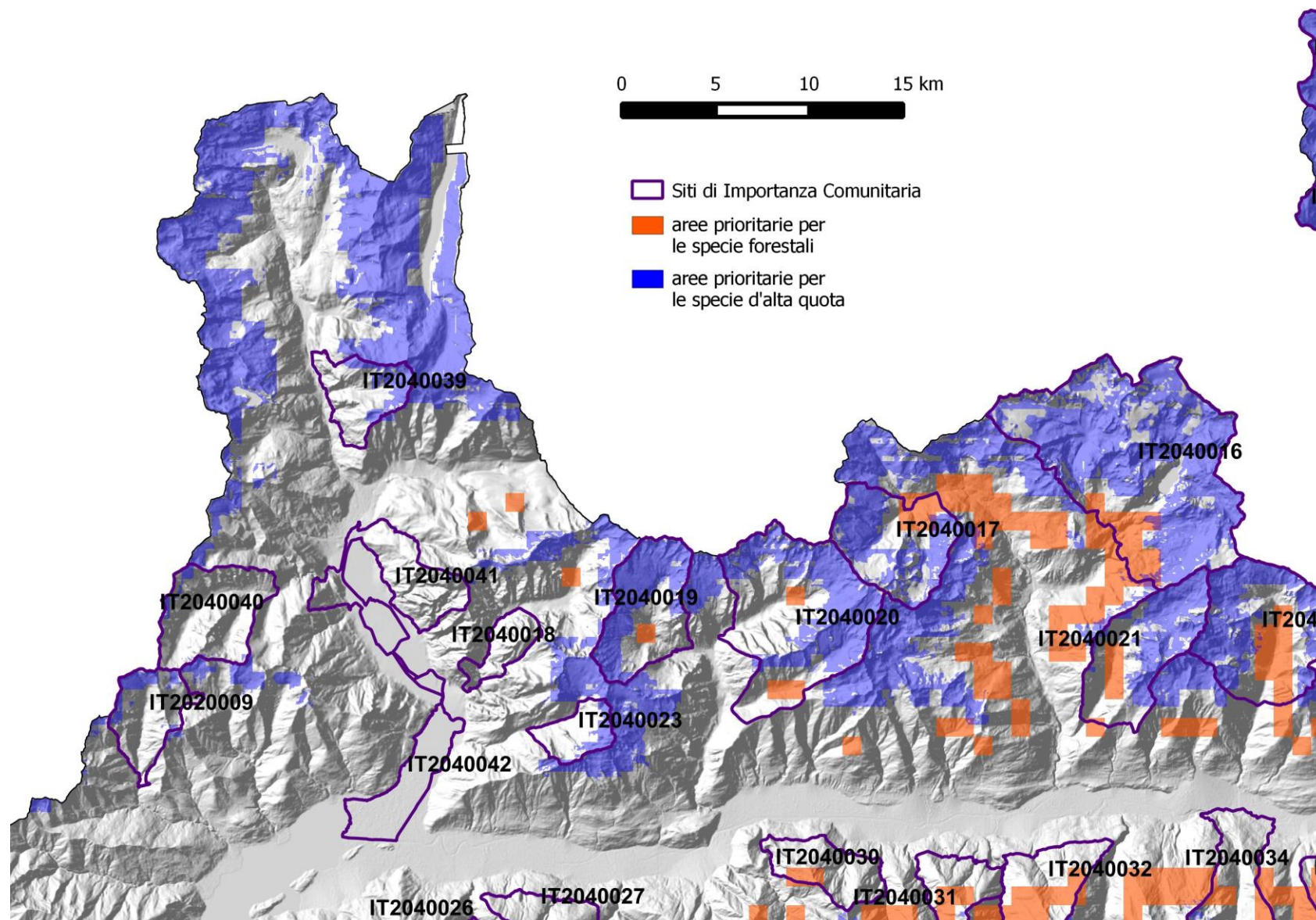


Figura 3.6. Siti prioritari in relazione alla distribuzione dei SIC: settore nord-occidentale.

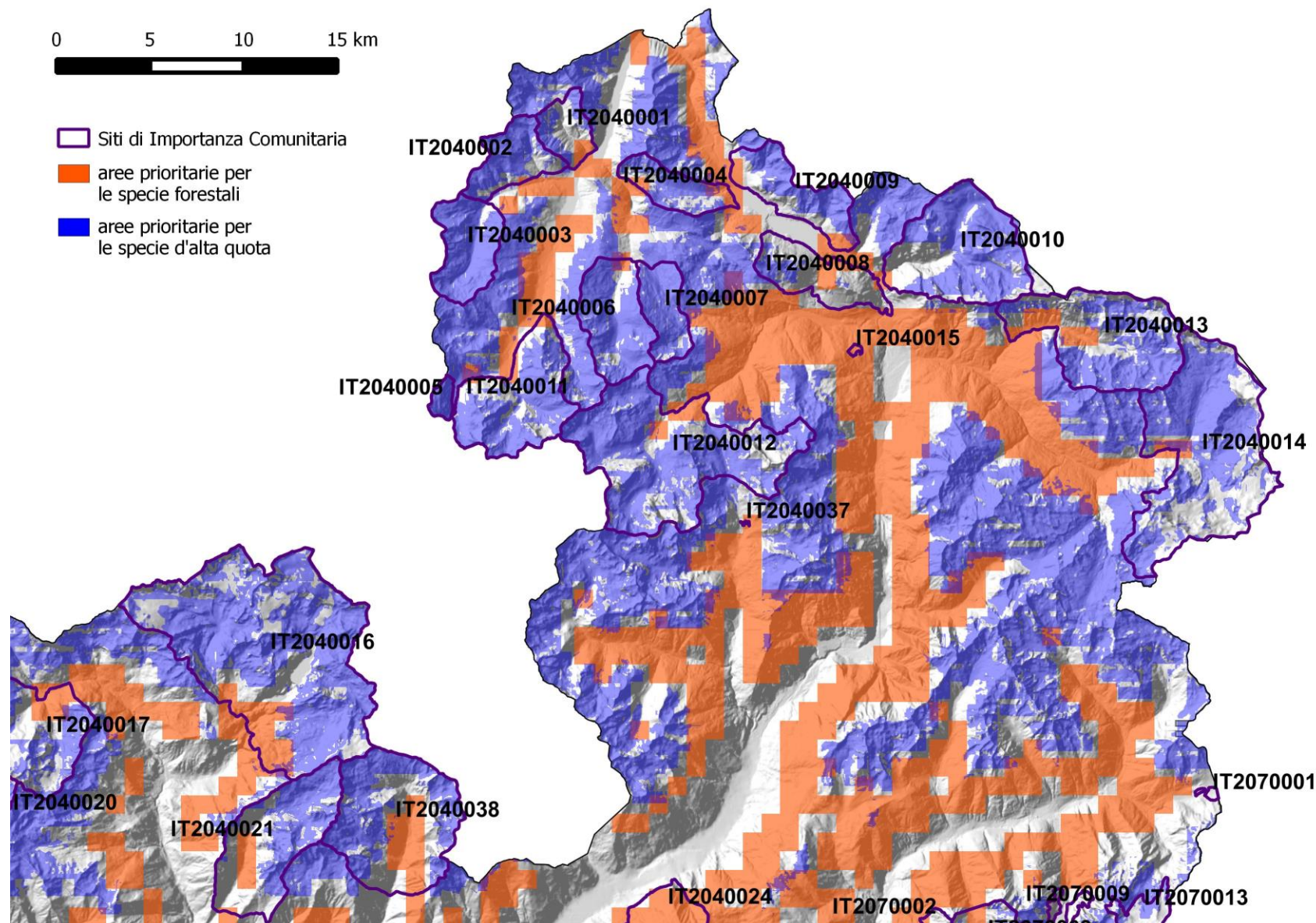


Figura 3.7. Siti prioritari in relazione alla distribuzione dei SIC: settore nord-orientale.

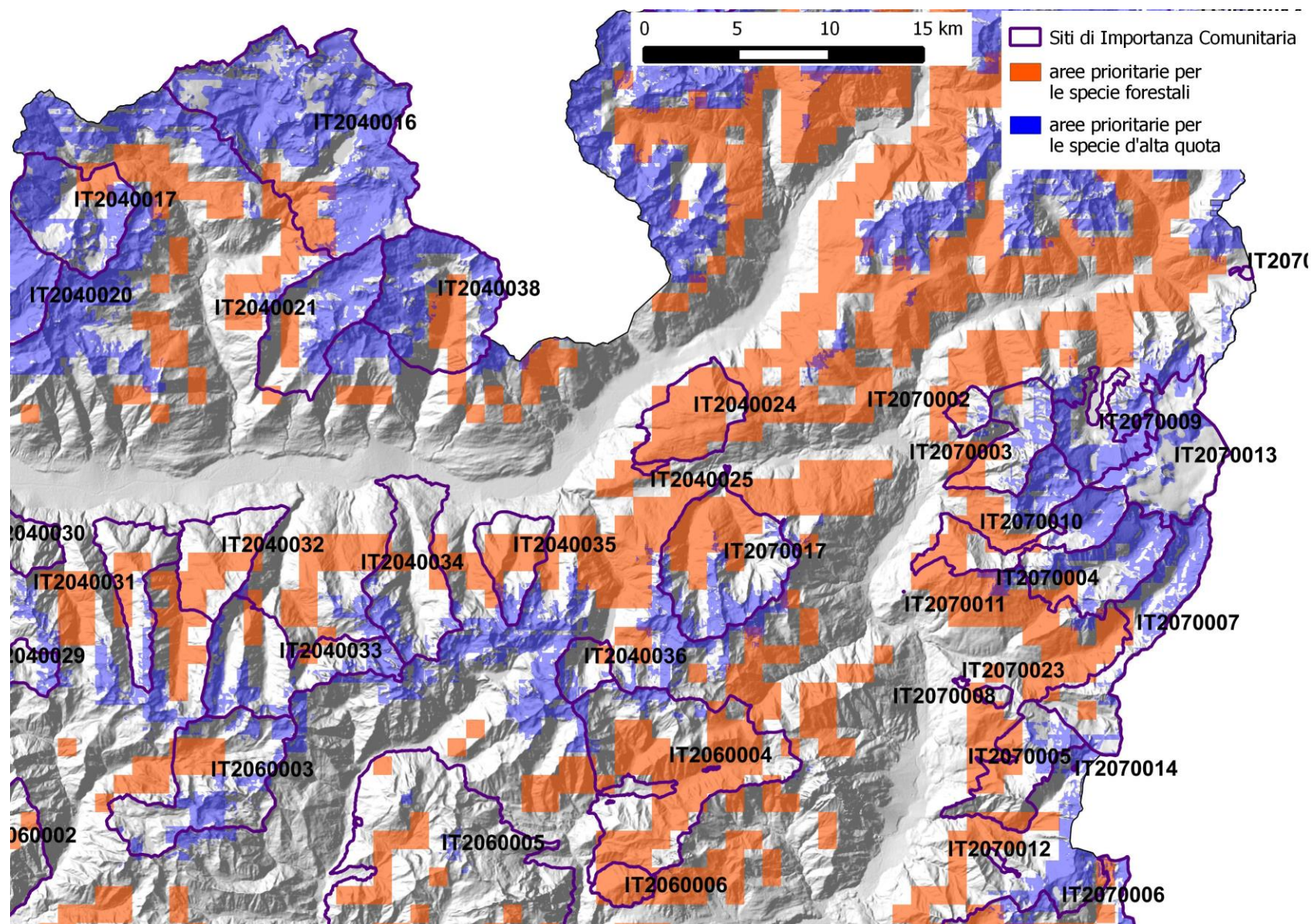


Figura 3.8. Siti prioritari in relazione alla distribuzione dei SIC: settore orientale.

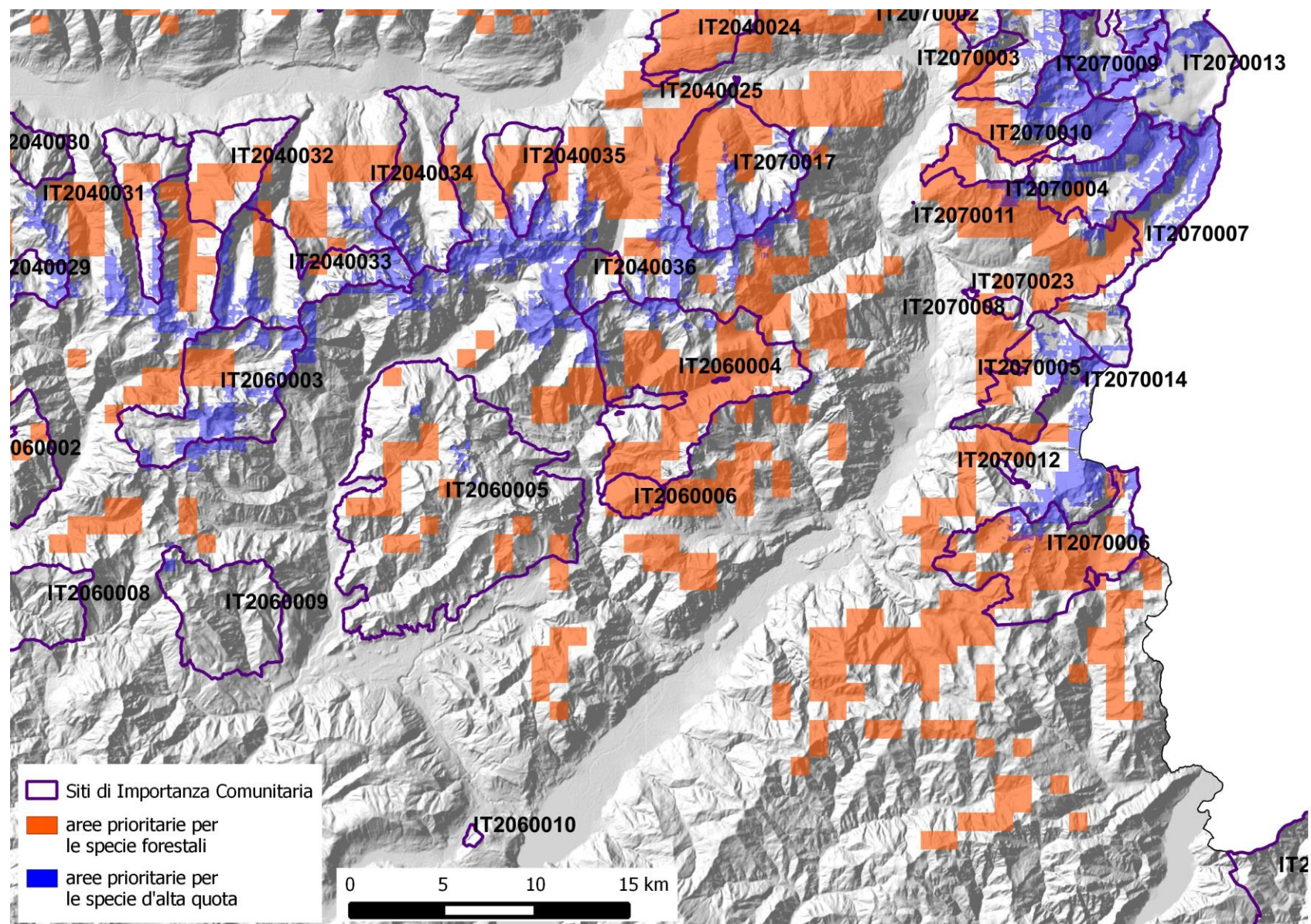


Figura 3.9. Siti prioritari in relazione alla distribuzione dei SIC: settore sud-orientale.

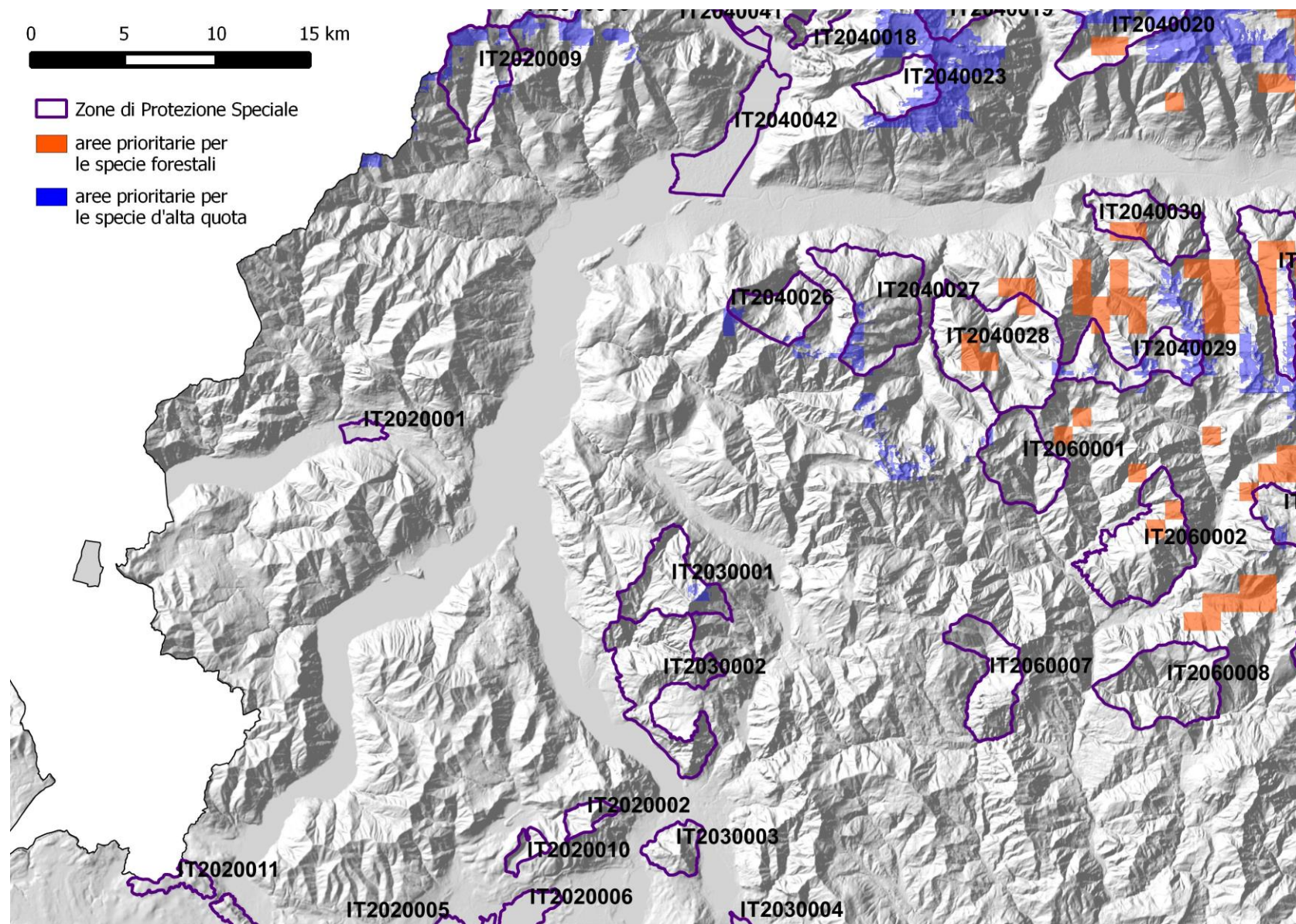


Figura 3.10. Siti prioritari in relazione alla distribuzione dei SIC: settore sud-occidentale.

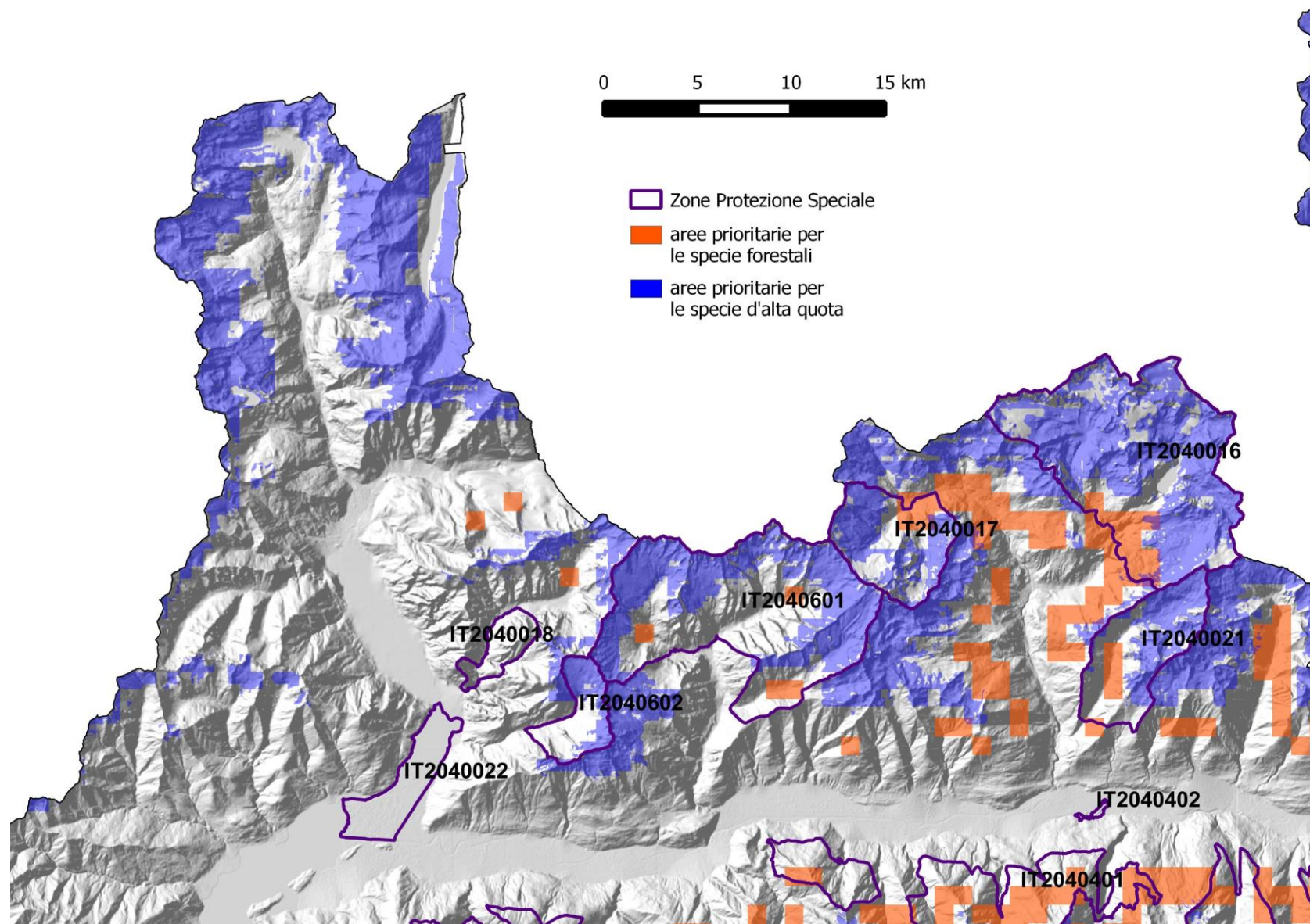


Figura 3.11. Siti prioritari in relazione alla distribuzione delle ZPS: settore nord-occidentale.

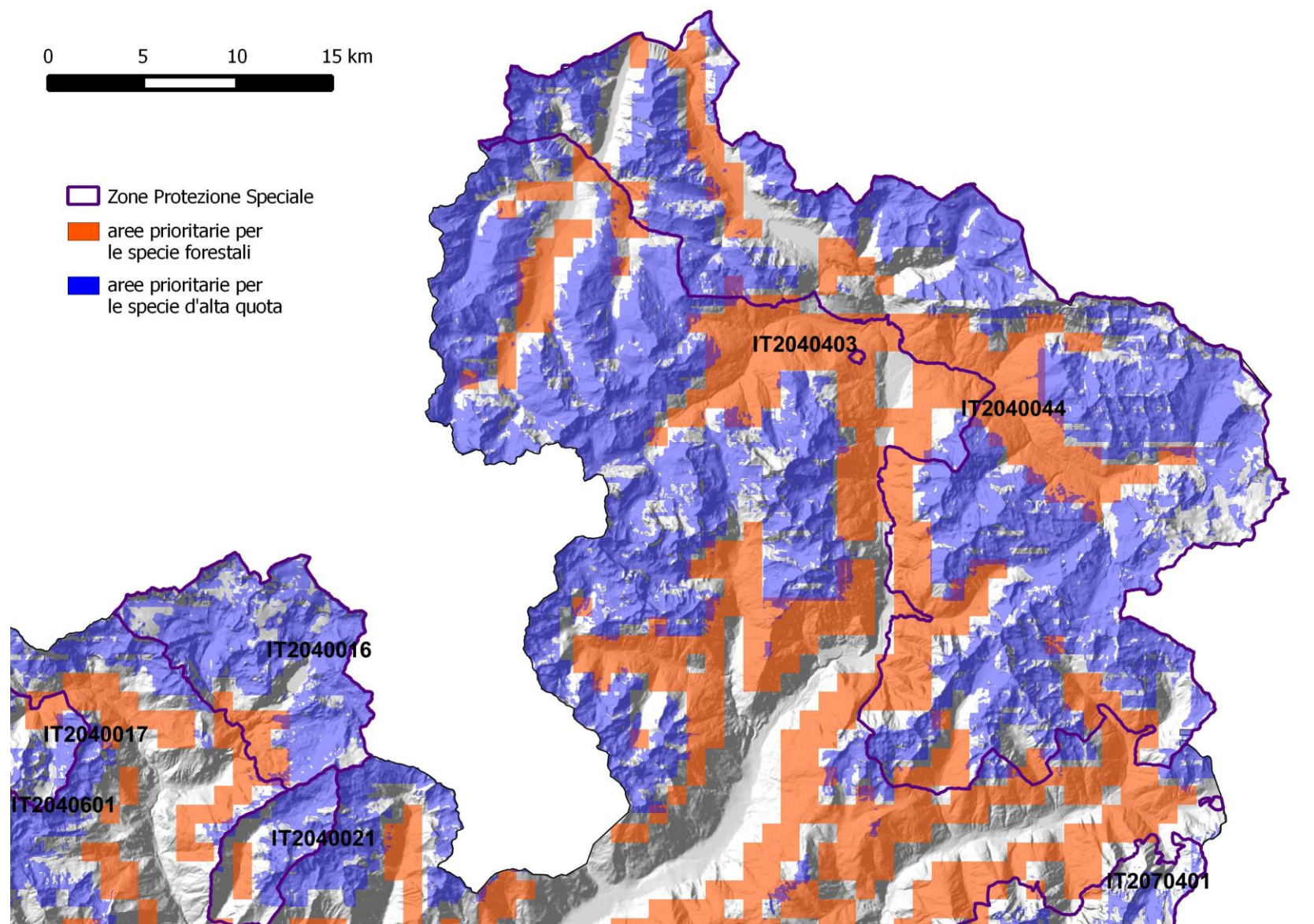


Figura 3.12. Siti prioritari in relazione alla distribuzione delle ZPS: settore nord-orientale.

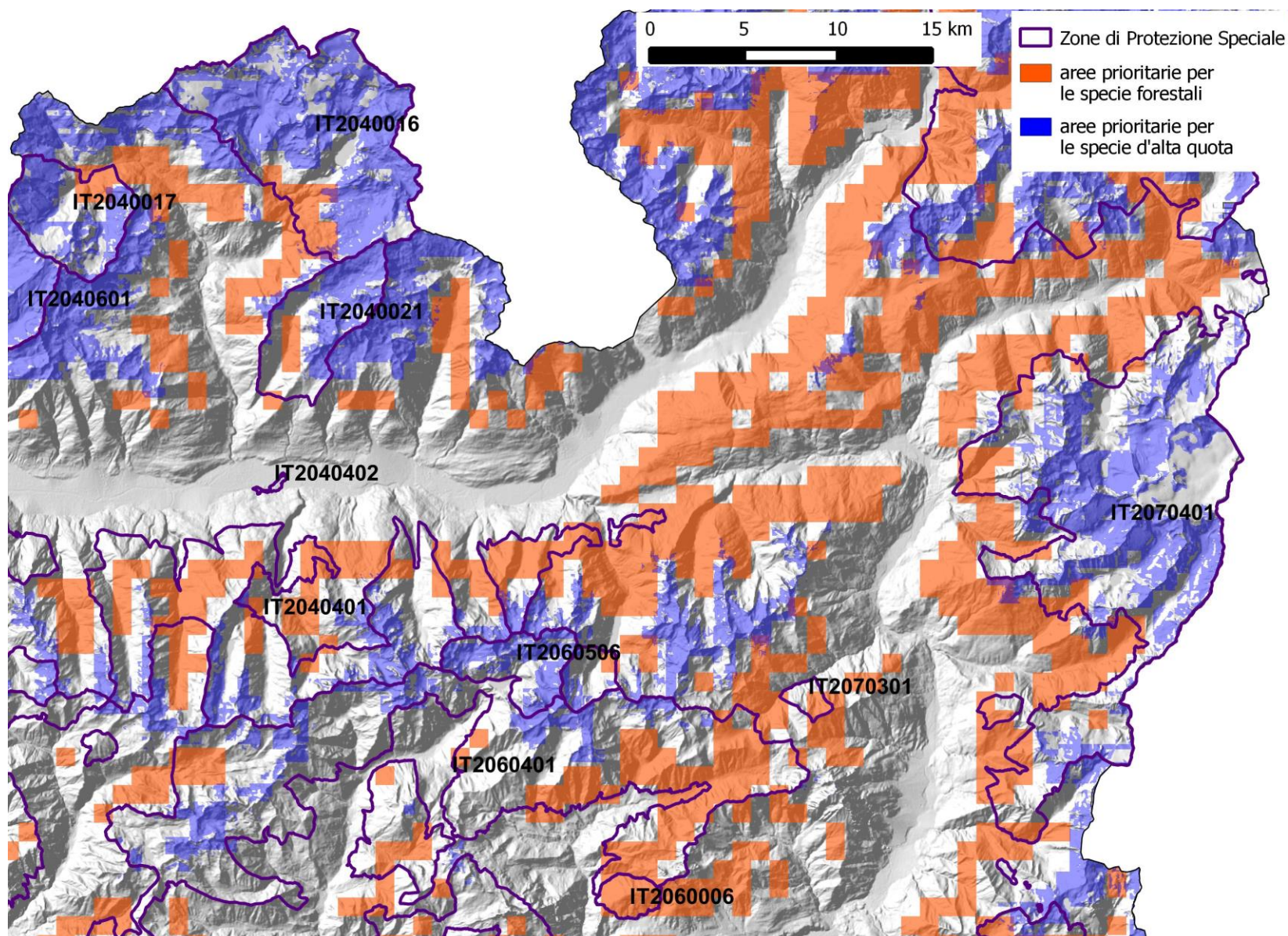


Figura 3.13. Siti prioritari in relazione alla distribuzione delle ZPS: settore orientale.

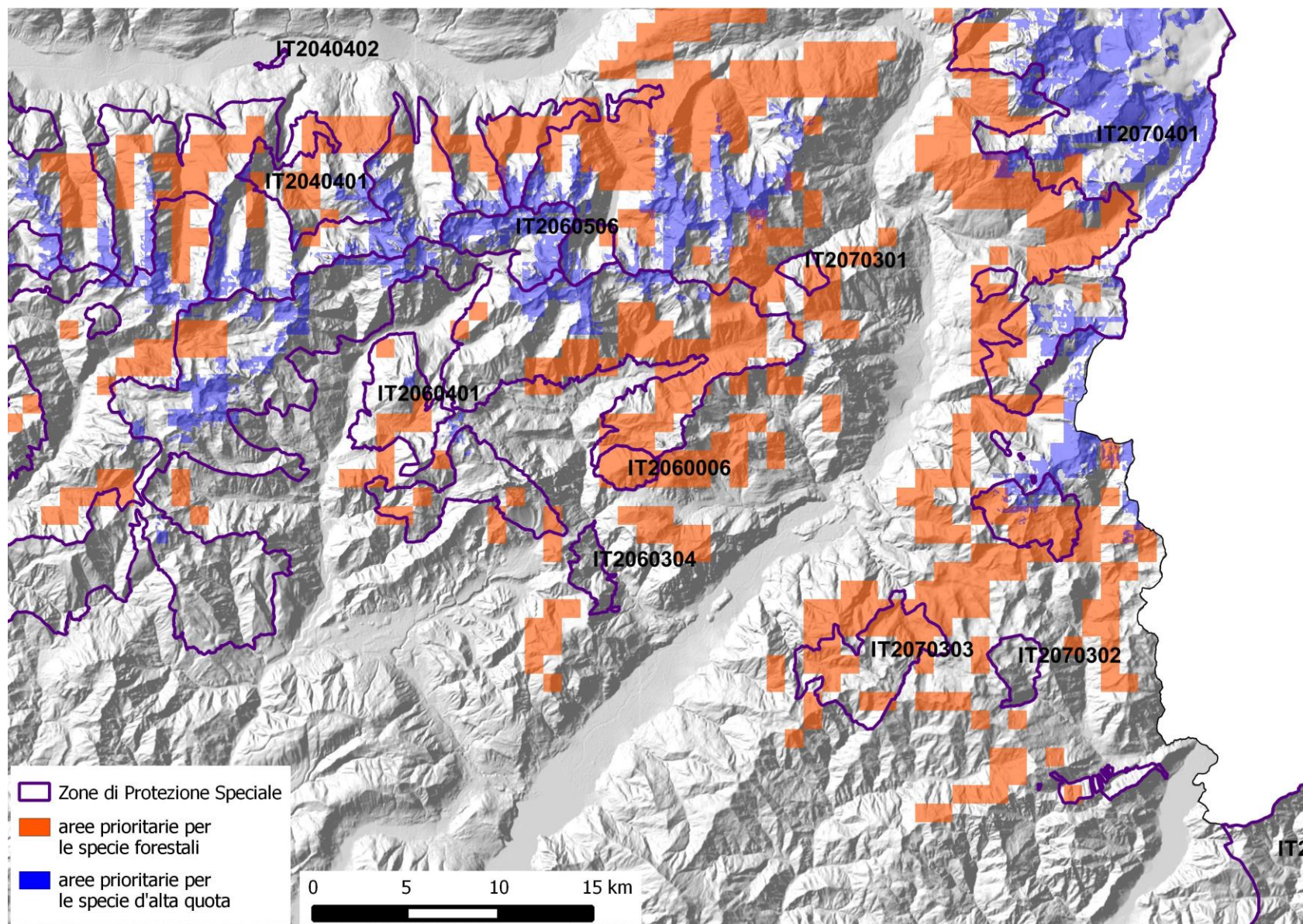


Figura 3.14. Siti prioritari in relazione alla distribuzione delle ZPS: settore sud-orientale.

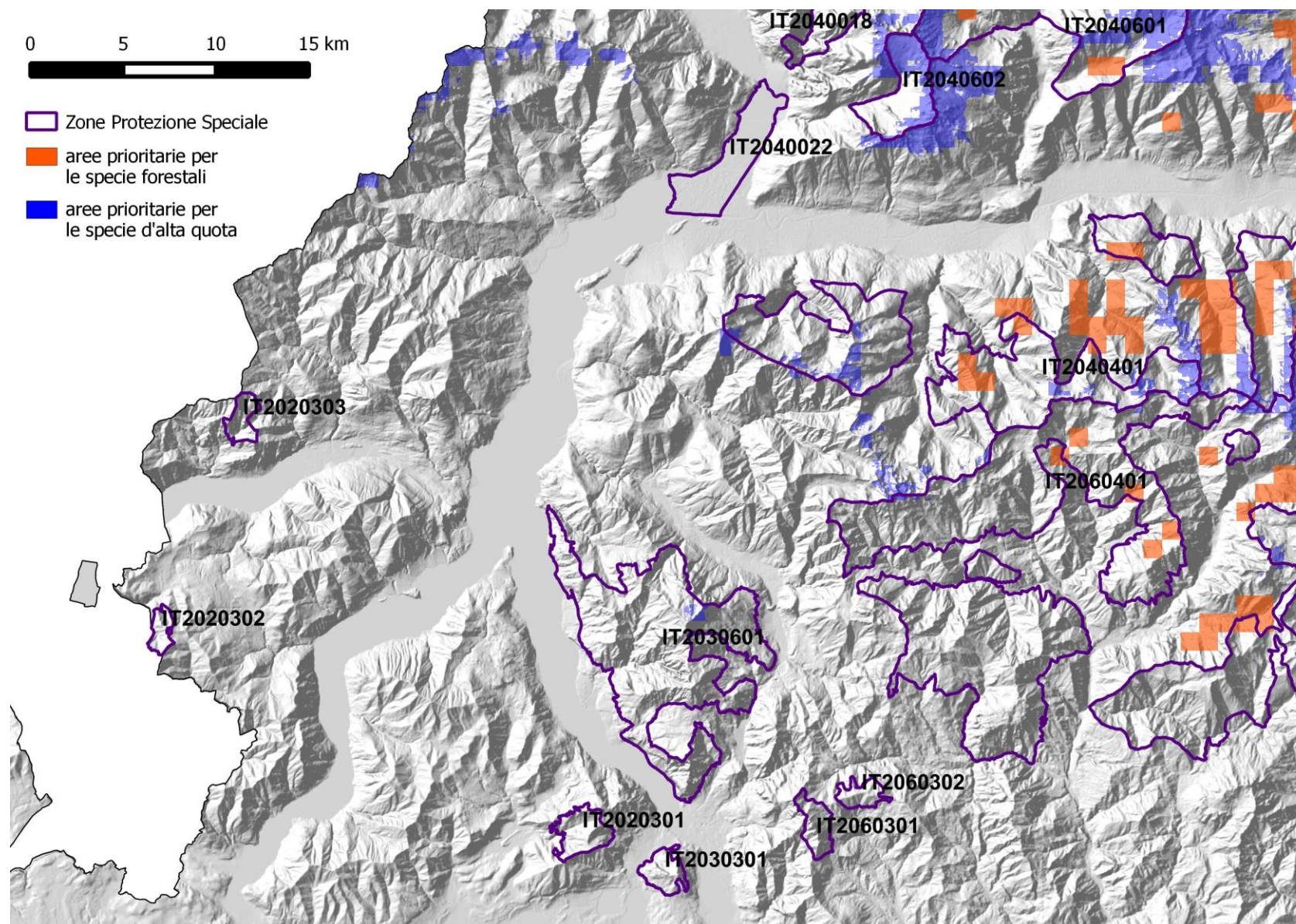


Figura 3.15. Siti prioritari in relazione alla distribuzione delle ZPS: settore sud-occidentale

4. Discussione

Il presente lavoro svolto nell'ambito dell'azione C.1 ha consentito di aggiungere o dettagliare alcune importanti indicazioni per la conservazione della biodiversità alpina potenzialmente minacciata dal cambiamento climatico, rispetto a quelle più generali e proposte a livello comunitario dalle linee guida su cambiamento climatico e Natura 2000 recentemente redatte dall'Unione Europea (EC 2013). Tali linee guida in particolare suggeriscono di:

1. ridurre le pressioni esistenti;
2. assicurare l'eterogeneità ambientale;
3. incrementare la connettività ecologica;
4. garantire condizioni abiotiche necessarie;
5. gestire gli impatti di eventi estremi;
6. attuare altre misure (pianificazione spaziale, politiche adeguate, spostamenti).

Le misure a scala di rete, in particolare, richiedono:

1. di migliorare la connettività sviluppando *stepping-stones* e corridoi;
2. l'implementazione di forme appropriate di gestione del paesaggio in senso più ampio rispetto ai siti della rete e lo sviluppo di un'infrastruttura verde;
3. l'implementazione di misure per ridurre l'effetto barriera di strade, ferrovie e altri ostacoli in fiumi e torrenti per facilitare la risposta spaziale delle specie al cambiamento climatico;
4. la creazione di nuove aree per minimizzare la presenza di spazi 'vuoti' nella rete.

Le analisi condotte nello sviluppo del presente lavoro hanno consentito di definire in maniera spazialmente esplicita quali siano le zone (entro e fuori Natura 2000) dove è necessario preservare la connessione ecologica e dove invece essa deve essere

L'importanza di mantenere e incrementare ove possibile la connettività ecologica è massima nell'ambito degli ecosistemi forestali, sia per le caratteristiche delle specie che li abitano, sia per il fatto che la configurazione spaziale propria degli ambienti alpini prevede tipicamente -in condizioni di impatto antropico nullo o scarso- una elevata continuità dei sistemi forestali, a fronte di una maggior frammentazione e di un certo grado di isolamento degli ambienti d'alta quota, che

mostrano continuità su vaste superfici solamente in contesti caratterizzati da un'altitudine molto elevata.

All'interno della fascia silvatica, civetta nana e civetta capogrosso possono essere utilizzate come 'specie bandiera' (*flagship species*) per indirizzare l'attenzione agli urgenti problemi posti dal cambiamento climatico sulle Alpi (Chamberlain et al. 2013), dal momento che esse sono specie in grado di esercitare un forte appeal sul largo pubblico (Brambilla et al. 2013b), sono associate ad alti livelli di diversità specifica (Sergio et al. 2005), e inoltre sono fortemente dipendenti dalla gestione e conservazione delle foreste (Gustin et al. 2009). In particolare, la civetta nana può essere considerata un buon indicatore, anche in prospettiva futura, dato che il 43% delle celle attualmente classificate come idonee per la specie, saranno idonee anche in futuro sia per la civetta nana che per la civetta capogrosso, qualunque sia il valore di RCP considerato (Brambilla et al. 2014).

5. Conclusioni

Il presente lavoro ha mostrato come i cambiamenti climatici impatteranno molto probabilmente in maniera significativa sulla distribuzione di specie di interesse comunitario e/o specie indicatrici, utilizzate come modello per approssimare la risposta delle comunità biologiche degli habitat da esse occupati. Nonostante la marcata contrazione di areale cui probabilmente andranno incontro queste specie, sia entro che fuori dai siti Natura 2000, la presenza di ambienti ancora fortunatamente estesi e, almeno in alcuni tratti, relativamente continui, consente di individuare delle aree che i) rimarranno idonee anche in futuro alle specie target, ii) rimarranno tra loro connesse, in assenza di alterazioni antropiche alla struttura dell'habitat. Queste aree si concentrano prevalentemente nel settore propriamente alpino della regione, mentre nel versante prealpino le popolazioni residue andranno incontro a maggior frammentazione e riduzione di areale, con aumento anche dell'isolamento di molte di esse.

Accanto alla mitigazione degli effetti 'diretti' del cambiamento climatico sulle specie ed habitat, da attuarsi a partire da quanto suggerito nel presente documento, sarà necessario prestare attenzione agli impatti 'indiretti' del cambiamento climatico, legati alla risposta antropica alle modifiche ambientali imposte dal cambiamento climatico stesso (Watson et al. 2013, Chapman et al. 2014, Watson 2014). La realizzazione di nuovi bacini idrici, lo spostamento verso quote maggiori di attività legate ad esempio agli sport invernali, la realizzazione di nuove opere di difesa contro il dissesto idro-geologico, potranno avere ulteriori impatti, non quantificabili in base agli effetti dei cambiamenti climatici 'diretti' sulle specie, ma dei quali tenere conto nelle strategie di pianificazione e di conservazione, dal momento che il relativo impatto potrebbe essere anche superiore a quello diretto dovuto alle variazioni del clima.

In conclusione, mantenere le principali connessioni (vedi documento dedicato alla RER) e preservare le aree che rimarranno idonee è fondamentale per la conservazione delle specie alpine. In generale, anche nei siti non inclusi tra quelli 'prioritari' (che, si ricorda, sono tali in quanto idonei anche in futuro alla presenza di tutte/molte delle specie target), ridurre le pressioni sulle specie e sugli habitat e

favorire la diversificazione strutturale, così come la connettività ecologica entro ed extra sito, rappresentano misure necessarie per cercare di ridurre gli impatti derivanti dal cambiamento climatico (EC 2013).

Bibliografia citata e consultata

- Alagador D, Cerdeira JO, Araújo MB (2014) Shifting protected areas: scheduling spatial priorities under climate change. *J Appl Ecol* 51:703-713
- Araújo MB, Alagador D, Cabeza M, Nogués-Bravo D, Thuiller W (2011) Climate change threatens European conservation areas. *Ecol Lett* 17:484-492
- Araújo MB, Lobo JM, Moreno JC (2007) The effectiveness of Iberian protected areas in conserving terrestrial biodiversity. *Conserv Biol* 21:1423-1432
- Arlettaz, R., Patthey, P., & Braunisch, V. (2013). Impacts of Outdoor Winter Recreation on Alpine Wildlife and Mitigation Approaches: A Case Study of the Black Grouse. In: C. Rixen & A. Rolando (Éd.), *The Impacts of Skiing and Related Winter Recreational Activities on Mountain Environments*, 137-154.
- Baldwin RA (2009) Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy* 11:854-869
- Barbet-Massin M, Thuiller W, Jiguet F (2010) How much do we overestimate future local extinction rates when restricting the range of occurrence data in climate suitability models? *Ecography* 33:878-886
- Behringer J, Buerki R, Fuhrer J (2000) Participatory integrated assessment of adaptation to climate change in Alpine tourism and mountain agriculture. *Integrated Assessment*, 1(4), 331-338.
- Bellard C, Bertelsmeier C, Leadley P, Thuiller W, Courchamp F (2012) Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecol Lett* 15:365-377
- Böhm R, Auer I, Brunetti M, Maugeri M, Nanni T, Schöner W (2001) Regional temperature variability in the European Alps; 1769-1998 from homogenized instrumental time series. *Int J Climatol* 21:1779-1801
- Brambilla M, Bassi E, Bergero V, Casale F, Chemollo M, Falco R, Longoni V, Saporetti F, Viganò E, Vitulano S (2013a) Modelling distribution and potential overlap between Boreal Owl *Aegolius funereus* and Black Woodpecker *Dryocopus martius*: implications for management and monitoring plans. *Bird Conserv Internatn* 23:502-511

- Brambilla M, Bergero V, Bassi E, Falco R (2015) Current and future effectiveness of Natura 2000 network in the central Alps for the conservation of mountain forest owl species in a warming climate. *European Journal of Wildlife Research* 61: 35-44.
- Brambilla M, Casale F, Bergero V, Bogliani G, Crovetto GM, Falco R, Roati M, Negri I (2010) Glorious past, uncertain present, bad future? Assessing effects of land-use changes on habitat suitability for a threatened farmland bird species. *Biol Conserv* 143:2770-2778
- Brambilla M, Casale F, Crovetto GM, Falco R, Bergero V (eds) (2012b) Piano di monitoraggio dei Vertebrati terrestri di interesse comunitario (Direttive 2009/147/EC e 92/43/CEE) in Lombardia. Fondazione Lombardia per l'Ambiente e Regione Lombardia, Milano
- Brambilla M, Falco R, Negri I (2012a) A spatially explicit assessment of within-season changes in environmental suitability for farmland birds along an altitudinal gradient. *Anim Conserv* 15:638-647
- Brambilla M, Ficetola GF (2012) Species distribution models as a tool to estimate reproductive parameters: a case study with a passerine bird species. *J. Anim Ecol* 81:781-787
- Brambilla M, Gobbi M (2014) A century of chasing the ice: delayed colonisation of ice-free sites by ground beetles along glacier forelands in the Alps. *Ecography* 37:33-42
- Brambilla M, Gustin M, Celada C (2013b) Species appeal predicts conservation status. *Biol Conserv* 160:209-213
- Braunisch, V., Coppes, J., Arlettaz, R., Suchant, R., Schmid, H., & Bollmann, K. (2013). Selecting from correlated climate variables: a major source of uncertainty for predicting species distributions under climate change. *Ecography*, 36(9), 971-983.
- Braunisch, V., Patthey, P., & Arlettaz, R. (2011). Spatially explicit modeling of conflict zones between wildlife and snow sports: prioritizing areas for winter refuges. *Ecological Applications*, 21(3), 955-967.

- Brunetti M, Lentini G, Maugeri M, Nanni T, Auer I, Böhm R, Schöener W (2009) Climate variability and change in the Greater Alpine Region over the last two centuries based on multi-variable analysis. *Int J Climatol* 29:2197–2225
- Caprio, E., Chamberlain, D. E., Isaia, M., & Rolando, A. (2011). Landscape changes caused by high altitude ski-pistes affect bird species richness and distribution in the Alps. *Biological Conservation*, 144(12), 2958-2967.
- Carnaval AC, Hickerson MJ, Haddad CFB, Rodrigues MT, Moritz C (2009) Stability Predicts Genetic Diversity in the Brazilian Atlantic Forest Hotspot. *Science* 323:785–789
- Chamberlain DE, Negro M, Caprio E, Rolando A (2013) Assessing the sensitivity of alpine birds to potential future changes in habitat and climate to inform management strategies. *Biol Conserv* 167:127-135
- Chapman, S., Mustin, K., Renwick, A. R., Segan, D. B., Hole, D. G., Pearson, R. G., & Watson, J. E. (2014). Publishing trends on climate change vulnerability in the conservation literature reveal a predominant focus on direct impacts and long time-scales. *Diversity and Distributions*, 20(10), 1221-1228.
- Chen I-C, Hill JK, Ohlemuller R, Roy DB, Thomas CD (2011) Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science* 333:1024-1026
- Vos C., Bouwma I., Verdonchot P., Geertsema W., van Riel M. 2013. Supplement to Managing climate change for the Natura 2000 network. Assessment of the vulnerability of Natura 2000 species and habitats for climate change: species and habitat types most at risk. Overall approach and the result of the analyses.
- Coppola E, Giorgi F (2010) An assessment of temperature and precipitation change projections over Italy from recent global and regional climate model simulations. *Int J Climatol* 30:11-32
- Cramp S (1985) *The birds of the Western Palearctic*, Volume IV. Oxford University Press, Oxford
- Dawson TP, Jackson ST, House JI, Prentice IC, Mace GM (2011) Beyond Predictions: Biodiversity Conservation in a Changing Climate. *Science* 332:53–58

- Devictor V, van Swaay C, Brereton T et al. 2012 Differences in the climatic debts of birds and butterflies at a continental scale. *Nature Climate Change* 2:121-124
- Diffenbaugh NS, Field CB (2013) Changes in ecologically critical terrestrial climate conditions. *Science* 341:486-492
- Dimitrakopoulos PG, Memtsas D, Troumbis AY (2004) Questioning the effectiveness of the Natura 2000 Special Areas of Conservation strategy: the case of Crete. *Global Ecol Biogeogr* 13:199-207
- Dirnböck T, Essl F, Babitsch W (2011) Disproportional risk for habitat loss of high-altitude endemic species under climate change. *Global Change Biol* 17:990-996
- Disch D., Reppe S., Liebing A. 2007. Climate change in the Alps Facts - Impacts - Adaptation. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU)
- Elith J, Graham CH, Anderson RP et al. (2006) Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29:129-151
- Elith J, Phillips SJ, Hastie T, Dudík, M Chee YE, Yates CJ (2011) A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17:43-57
- Engler JO, Rödder D, Stiels D, Förchler MI (2014) Suitable, reachable but not colonised: seasonal niche duality in an endemic mountainous songbird. *J Ornithol* 155: 657-669
- ERSAF (2013) Rapporto sullo stato delle foreste in Lombardia al 31 dicembre 2012. ERSAF, Regione Lombardia. http://www.ersaf.lombardia.it/upload/ersaf/gestionedocumentale/RAPPORTO_S TATO_FORESTE_2012_784_16743.pdf
- Essl F, Staudinger M, Stöhr O, Schratt-Ehrendorfer L, Rabitsch W, Niklfeld H (2009) Distribution patterns, range size and niche breadth of Austrian endemic plants. *Biol Conserv* 142:2547-2558
- European Commission. 2013. Guidelines on Climate Change and Natura 2000.
- Gualdi S et al. (2013) Future climate projections. In *Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean* (pp 53-118). Springer Netherlands

Gustin M, Brambilla M, Celada C (2009) Valutazione dello stato di conservazione dell'avifauna italiana. Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare & LIPU/BirdLife Italia, Roma

Gustin, M., Brambilla, M., Celada, C. (eds.) (2010) Valutazione dello Stato di Conservazione dell'avifauna italiana. Volume II. Passeriformes. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Lega Italiana Protezione Uccelli (LIPU), Roma.

Hannah L, Midgley G, Andelman S, Araujo M, Hughes G, Martinez-Meyer E, Pearson R, Williams P (2007) Protected area needs in a changing climate. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5:131–138

Hansen L, Hoffman J, Drews C, Mielbrecht E (2010) Designing Climate-Smart Conservation: Guidance and Case Studies. *Conserv Biol* 24:63–69

Harsch MA, Hulme PE, McGlone MS, Duncan RP (2009) Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming. *Ecol Lett* 12:1040–1049

Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A (2005) Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int J Climatol* 25:1965–1978

Jetz W, Wilcove DS, Dobson AP (2007) Projected impacts of climate and land-use change on the global diversity of birds. *PLoS Biol* 6:e157

Johnston A, Ausden M, Dodd AM et al. (2013) Observed and predicted effects of climate change on species abundance in protected areas. *Nature Climate Change* 3:1055–1061

Kujala H, Araújo MB, Thuiller W, Cabeza M (2011) Misleading results from conventional gap analysis—Messages from the warming north. *Biol Conserv* 144: 2450–2458

Laiolo P, Dondero F, Ciliento E, Rolando A (2004) Consequences of pastoral abandonment for the structure and diversity of the alpine avifauna. *J Appl Ecol* 41:294–304

Liechti F, Guélat J, Komenda-Zehnder S (2013) Modelling the spatial concentrations of bird migration to assess conflicts with wind turbines. *Biological Conservation* 162: 24–32.

- Liu C, Berry PM, Dawson TP, Pearson RG (2005) Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography* 28:385–393
- Liu C, White M, Newell G (2013). Selecting thresholds for the prediction of species occurrence with presence-only data. *J Biogeogr* 40:778–789
- Lobo JM, Jiménez-Valverde A, Real R (2008) AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecol Biogeogr* 17:145–151
- Mantyka-Pringle CS, Martin TG, Rhodes JR (2012) Interactions between climate and habitat loss effects on biodiversity: a systematic review and meta-analysis. *Global Change Biol* 18:1239–1252
- Martin K (2001) Wildlife in alpine and sub-alpine habitats. In: *Wildlife-Habitat Relationships in Oregon and Washington*. Johnson, D.H., O'Neil, T.A. (eds.); Oregon State University Press, Corvallis, OR, pp. 285–310.
- Moss RH et al. (2010) The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463: 747–756
- Parmesan C, Yohe G (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421:37–42
- Paterson JS, Araujo MB, Berry PM, Piper JM, Rounsevell MD (2008) Mitigation, adaptation, and the threat to biodiversity. *Conservation Biology*, 22: 1352–1355
- Patthey P, Wirthner S, Signorell N, Arlettaz R (2008) Impact of outdoor winter sports on the abundance of a key indicator species of alpine ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 45: 1704–1711
- Pearson RG, Raxworthy CJ, Nakamura M, Peterson AT (2007) Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *J Biogeogr* 34:102–117
- Pedrini P, Caldonazzi M, Zanghellini S (eds) (2005) *Atlante degli uccelli nidificanti e svernanti in provincia di Trento*. Museo Tridentino di Scienze Naturali, Trento
- Pereira HM, Leadley PW, Proenca V et al. (2010) Scenarios for Global Biodiversity in the 21st Century. *Science* 330:1496–1501
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE (2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol Model* 190:231–259

Pozzi A. 2009. The Effect of Climate Change on Alpine destinations in Lombardy. IREALP. available at <http://www.climalptour.eu/>

Regione Lomabardia, ERSAF (2014) DUSAF 4.0.
<https://www.dati.lombardia.it/Territorio/Uso-del-suolo-DUSAF-4-0-Anno-2012/2ze8-fyd2>

Reif J, Flousek J (2012) The role of species' ecological traits in climatically driven altitudinal range shifts of central European birds. *Oikos* 121:1053–1060

Rolando A, Caprio E, Rinaldi E, Ellena I (2007) The impact of high-altitude ski-runs on alpine grassland bird communities. *J Appl Ecol* 44:210–219

Rolando A, Caprio E, Negro M. The Effect of Ski-Pistes on Birds and Mammals. In Rixen C & Rolando A (2013) *The Impacts of Skiing and Related Winter Recreational Activities on Mountain Environments*. Bentham.

Rolando A, Laiolo P, Carisio L (2003) Urbanization and the flexibility of the foraging ecology of the Alpine Chough *Pyrrhocorax graculus* in winter. *Revue d'écologie*, 58(3), 337-352.

Rubio-Salcedo M, Martínez I, Carreño F, Escudero A (2013) Poor effectiveness of the Natura 2000 network protecting Mediterranean lichen species. *J Nat Conserv* 21:1-9.

Maiorano L, Falcucci A, Garton EO, Boitani L (2007) Contribution of the Natura 2000 Network to Biodiversity Conservation in Italy. *Conserv Biol* 21:1433-1444

Saino N, Canova L (1988) Codirosso spazzacamino *Phoenicurus ochruros*. In: *Atlante degli uccelli sulle Alpe italiane*. IV. *Rivista italiana di ornitologia* 58: 11-13.

Sekercioglu CH, Schneider SH, Fay JP, Loarie SR (2008) Climate change, elevational range shifts and bird extinctions. *Conserv Biol* 22:140–150

Sergio F, Newton I, Marchesi L (2005) Top predators and biodiversity *Nature* 436:192

Settele J et al (2008) *Climate Risk Atlas of European Butterflies*. Pensoft, Sofia

Shurulinkov P, Ralev A, Daskalova G, Chakarov N (2007) Distribution, numbers and habitat of Pigmy Owl, *Glaucidium passerinum* in Rhodopes Mts (S Bulgaria). *Acrocephalus* 28:159-163

Sotgiu M, Dutto A (2007) Censimento Impianti abbandonati - Lombardia. Montagnard 18. Available at

http://www.zainoinspalla.it/varie/censimento_impianti_abbandonati_lombardia.pdf

Spina F, Volponi S (2008) Atlante della Migrazione degli Uccelli in Italia. 1. non-Passeriformi. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA)

Turner WR, Bradley BA, Estes LD, Hole DG, Oppenheimer M, Wilcove DS (2010) Climate change: helping nature survive the human response. *Conservation Letters* 3: 304-312

Uhlmann B, Goyette S, Beniston M (2009) Sensitivity analysis of snow patterns in Swiss ski resorts to shifts in temperature, precipitation and humidity under conditions of climate change. *International Journal of Climatology*, 29(8), 1048-1055

van Vuuren DP et al. (2011) The representative concentration pathways: an overview. *Clim. Change* 109:5-31

Vigorita V, Cucè L (eds) (2008) La fauna selvatica in Lombardia. Rapporto 2008 su distribuzione, abbondanza e stato di conservazione di uccelli e mammiferi. Regione Lombardia

Viterbi R, Cerrato C, Bassano B, Bionda R, von Hardenberg A, Provenziale A, Bogliani G (2013) Patterns of biodiversity in the northwestern Italian Alps: a multi-taxa approach. *Commun Ecol* 14:18-30

Vrezec A, Tome D (2004) Habitat selection and patterns of distribution in a hierarchic forest owl guild. *Ornis Fennica* 81:109-118

Walther GR, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee TJ, Fromentin JM, Hoegh-Guldberg O, Bairlein F (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416:389-395

Watson JE (2014) Human Responses to Climate Change will Seriously Impact Biodiversity Conservation: It's Time We Start Planning for Them. *Conservation Letters* 7: 1-2

Watson JE, & Segan DB (2013) Accommodating the human response for realistic adaptation planning: response to Gillson et al. *Trends in Ecology and Evolution* 28: 573-574

Wenger SJ, Isaak DJ, Luce CH et al. (2011) Flow regime, temperature, and biotic interactions drive differential declines of trout species under climate change. PNAS 108: 14175-14180

Wisz MS, Hijmans RJ, Peterson AT, Graham CH, Guisan A, NPSDW Group (2008) Effects of sample size on the performance of species distribution models. Divers Distrib 14:763-773