

Citazione consigliata:

Brusa G., Cerabolini B.E.L., Corti A., De Molli C., 2016. Analisi della distribuzione potenziale di habitat terrestri in Lombardia. Università degli Studi dell'Insubria - Fondazione Lombardia per l'Ambiente, Osservatorio Regionale per la Biodiversità di Regione Lombardia.

Analisi della distribuzione potenziale di habitat terrestri in Lombardia

Introduzione

Il presente lavoro è finalizzato all'individuazione della distribuzione regionale di riferimento per gli habitat di interesse comunitario in vista del prossimo rapporto ex. art 17 della Direttiva 92/43/CEE. La distribuzione degli habitat a scala regionale è stabilita su base modellistica, con l'intento di valutarne la potenziale diffusione al di fuori dei Siti N2000 e quindi colmare, in prima approssimazione, le lacune conoscitive su un'ampia superficie del territorio regionale.

Di conseguenza, nel presente lavoro la distribuzione regionale di riferimento è intesa come la porzione di territorio regionale che ospita (generalmente nei Siti N2000 che dispongono di una cartografia degli habitat) o potenzialmente può ospitare (in genere esternamente ai Siti N2000) un determinato habitat di interesse comunitario. In termini pratici, la distribuzione regionale di riferimento per un habitat, può essere utile da definire per le seguenti necessità:

- esternamente ai Siti N2000, stabilire le aree in cui un habitat abbia la massima ragionevolezza di essere presente a livello regionale, permettendo così di stimare, in prima approssimazione, la superficie complessiva dell'habitat non inclusa nella RN2000;
- internamente ai Siti N2000 che non dispongono di una cartografia tematica, fornire un'indicazione degli habitat presenti e delle zone che potenzialmente potrebbero ospitare ciascun habitat, consentendo quindi di focalizzare prioritariamente in queste zone gli sforzi di indagine sul campo;
- internamente ai Siti N2000 che invece dispongono di una cartografia tematica, suggerire l'eventuale presenza di habitat sinora non riportati, nonché confermare i rapporti topografici tra quelli già segnalati.

Base di partenza per la definizione della distribuzione regionale di riferimento è l'attuale cartografia ufficiale degli habitat di interesse comunitario nei Siti N2000, assemblata dall'Università dell'Insubria per conto di Regione Lombardia. Questa cartografia è l'unica che in modo ufficiale stabilisce nel dettaglio la distribuzione reale attualmente conosciuta degli habitat su tutto il territorio regionale. Tuttavia, con il procedere dall'acquisizione di nuovi dati sulla distribuzione degli habitat (ad esempio, carte ufficiali degli habitat per Siti Natura 2000 che al momento ne sono sprovvisti, dati sui monitoraggi nei Siti, studi specialistici sulle comunità vegetali di riferimento per gli habitat), la base di conoscenza si può ampliare e perfezionare, permettendo così di affinare la distribuzione regionale di riferimento mediante la reiterazione della procedura descritta per il calcolo dei modelli.

Materiali e metodi

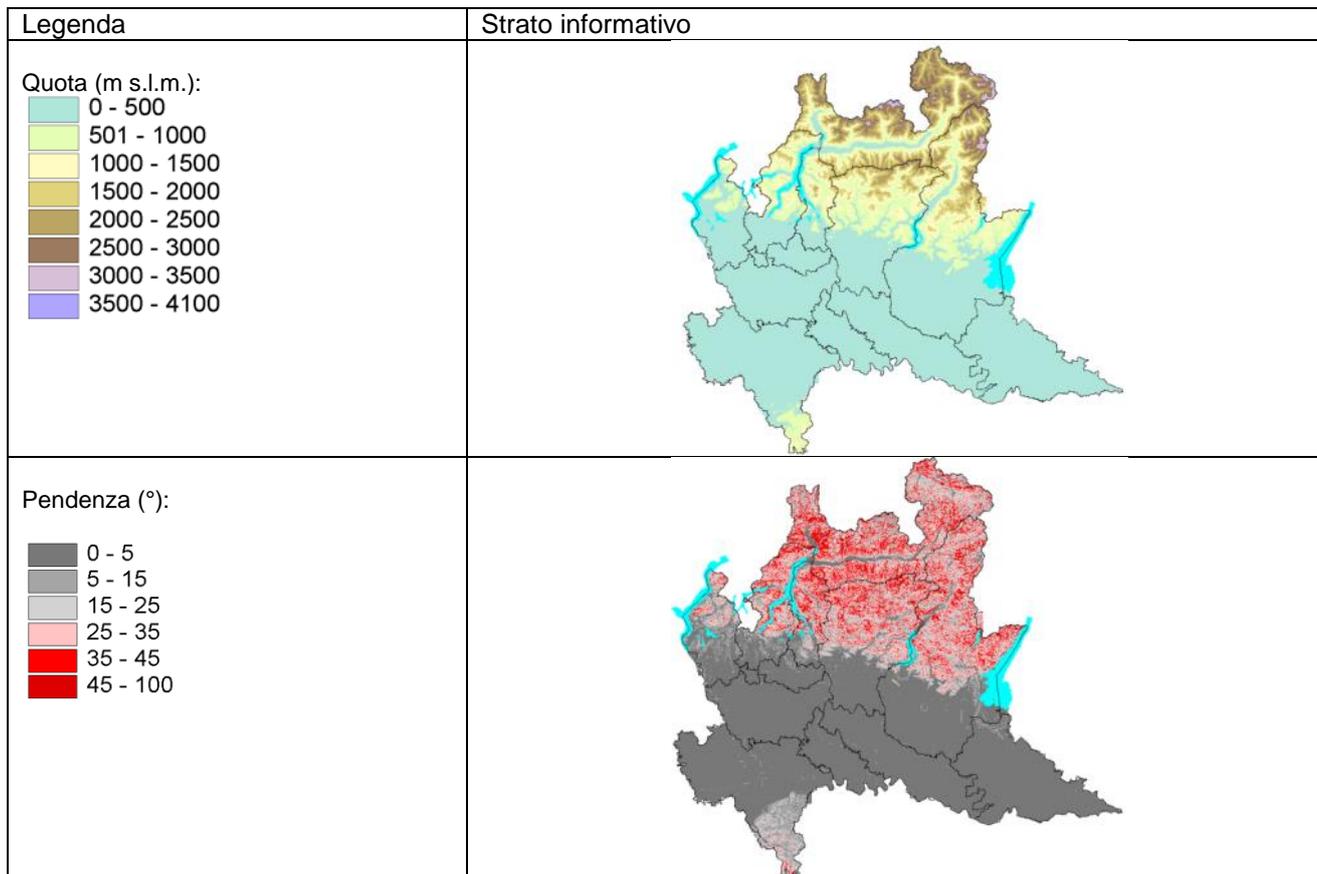
La distribuzione regionale di riferimento è stabilita con una procedura basata sul calcolo di modelli, utilizzando strati informativi ecologici di base disponibili attualmente per tutto il territorio regionale. Gli strati informativi considerati nel presente lavoro sono i seguenti (*Figura 1*):

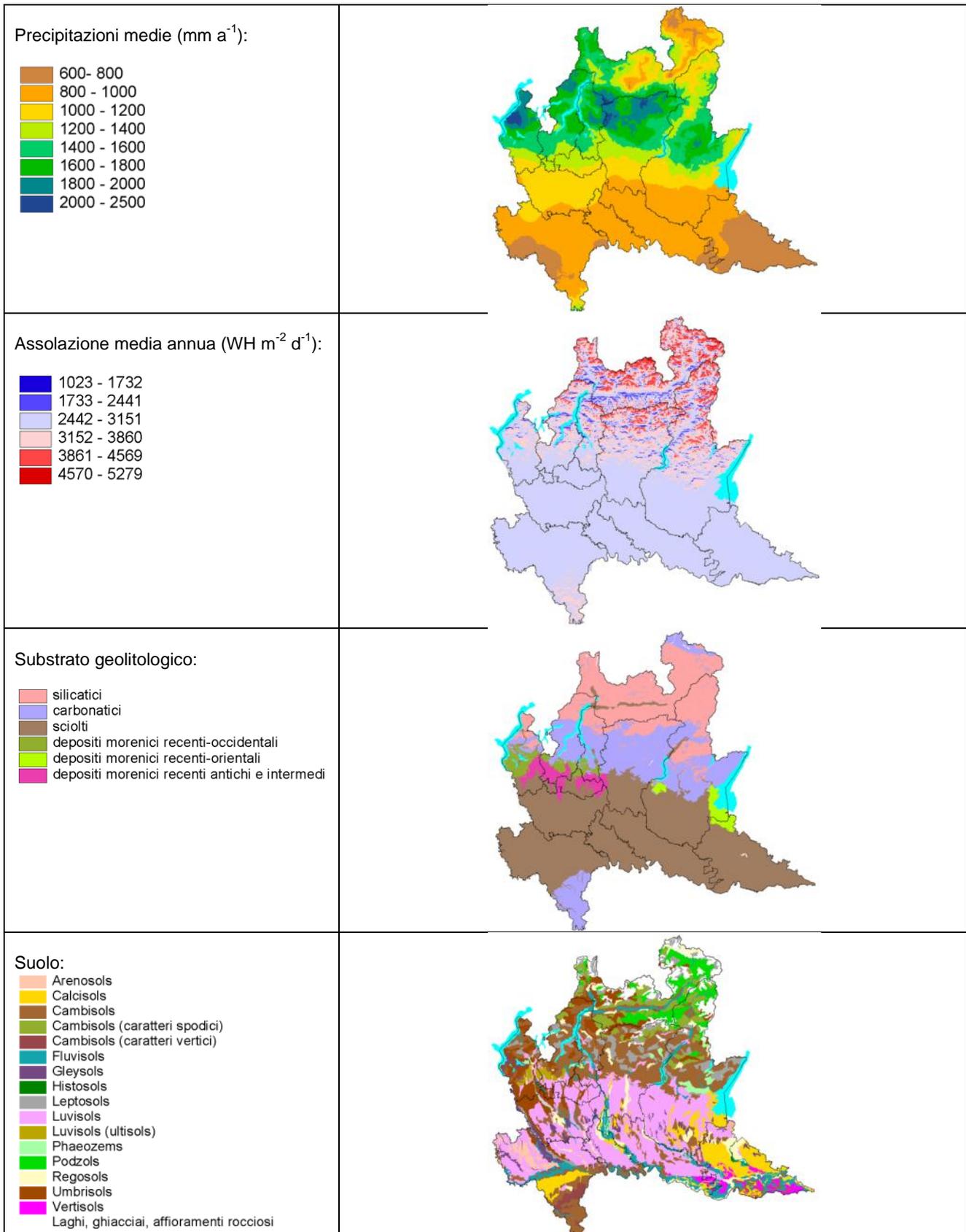
- quota (in m s.l.m.): derivata dal modello digitale del terreno (DTM); fonte: Geoportale della Lombardia, <http://www.cartografia.regione.lombardia.it/geoportale>;
- pendenza (°): calcolata partendo dal DTM;

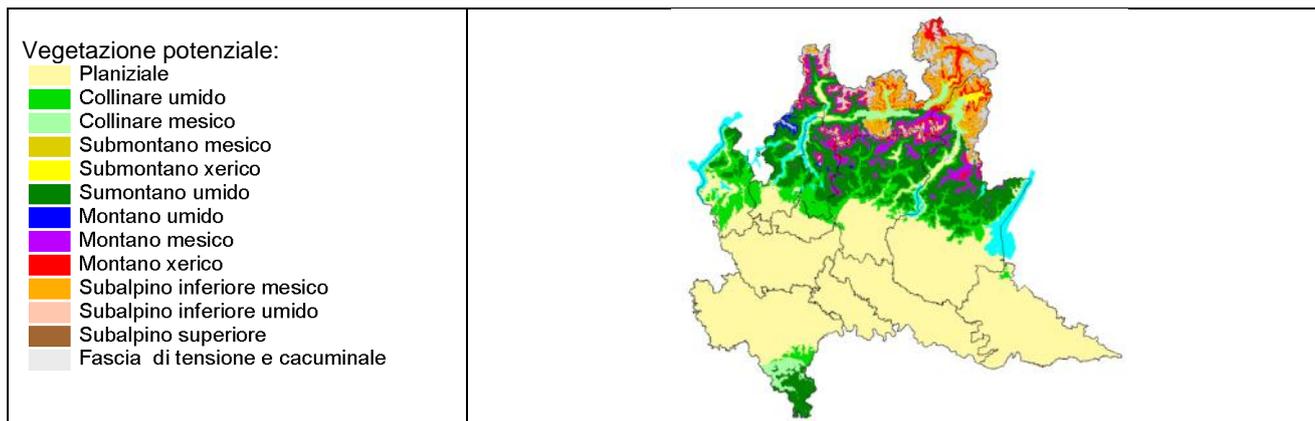
- precipitazioni medie (mm a⁻¹): calcolate su base modellistica (fonte: dati inediti Università degli Studi dell'Insubria);
- assolazione media annua (WH m⁻² d⁻¹): calcolata partendo dal DTM mediante il programma Solar Analyst (Fu & Rich, 2000);
- substrato geolitologico: derivato dalla Carta geologica della Lombardia alla scala 1:250.000; fonte: Geoportale della Lombardia, <http://www.cartografia.regione.lombardia.it/geoportale>); comprende sei categorie di substrati:
 - silicatici (gneiss, graniti, dioriti e gabbri, micascisti, ecc.);
 - carbonatici (calcari, dolomie, marne, ecc.);
 - sciolti (alluvionale, fluvio-glaciale, ecc.);
 - depositi di origine strettamente morenica, classificati in base all'antichità ed eventualmente al contesto geografico:
 - morenici recenti-occidentali;
 - morenici recenti-orientali;
 - morenici antichi e intermedi;
- suolo: derivato dalla Carta pedologica della Lombardia alla scala 1:250.000; fonte: Geoportale della Lombardia, <http://www.cartografia.regione.lombardia.it/geoportale>);
- vegetazione potenziale: derivata da un'analisi della distribuzione potenziale delle principali specie di interesse forestale (fonte: dati inediti Università degli Studi dell'Insubria).

Ai fini dell'elaborazione, tutti questi strati informativi sono trasformati in formato raster (risoluzione a 20 m), tra loro coregistrati e riferiti al sistema di coordinate UTM32-WGS84.

Figura 1. Rappresentazione a scala regionale degli strati informativi utilizzati per la modellizzazione della distribuzione degli habitat.







Al fine della modellizzazione, si è prestata attenzione ai seguenti aspetti preliminari per l'individuazione delle metodologie di analisi:

- poiché la differenza tra alcuni habitat è piuttosto labile sul piano ecologico (ad esempio, a livello di micro-scala), quantomeno sulla base della capacità discriminante degli strati informativi ecologici di base a disposizione (in genere disponibili solo sino al livello di meso-scala), nell'analisi appare più consono considerare assieme habitat tra loro ecologicamente molto simili, piuttosto che mantenerli separati nel calcolo di un modello. In quest'ultimo caso, si abbasserebbe notevolmente la capacità predittiva del modello stesso, valutata mediante la sensitivity (percentuale di effettivi positivi) e/o la specificity (percentuale di effettivi negativi) della matrice di confusione;
- nei modelli potrebbero comunque scaturire problemi di overfitting nel caso di habitat estremamente localizzati o con una distribuzione non perfettamente ancora conosciuta a livello regionale (cioè per habitat segnalati solo per alcune province o Siti Natura 2000, ovvero la cui distribuzione presenta ampie lacune territoriali). Per questi habitat, i cui dati sono quindi distribuiti disomogeneamente a livello regionale, sarebbe opportuno astenersi dal calcolo dei modelli;
- la distribuzione potenziale, così come elaborata sulla base del modello e quindi dei soli strati informativi ecologici di base, potrebbe includere aree in cui la presenza di un habitat è alquanto improbabile sulla base di considerazioni strettamente oggettive di natura tecnica e/o scientifica (es. presenza limitata alla sola regione biogeografica Alpina, consolidata certezza nell'assenza da alcuni ambiti amministrativi). In tal caso, prima di procedere alla definizione della distribuzione regionale di riferimento, è opportuno circoscrivere la distribuzione potenziale di un habitat introducendo dei limiti coerenti a queste considerazioni.

La metodologia di lavoro comprende quindi due principali ambienti software:

- Geographical Information System (GIS), per la gestione della cartografia tematica e degli strati informativi ecologici di base;
- programmi statistici, per l'elaborazione dei dati e per il calcolo dei modelli.

A fronte della disponibilità di programmi GIS sia proprietari che open source (QGis, Grass, ecc.), si vuole focalizzare l'attenzione sui programmi di statistica e più specificatamente sulla tecnica di calcolo dei modelli. Nel presente caso è stato impiegato il software R (R Development Core Team, 2006), che mette liberamente a disposizione un'ampia gamma di strumenti di analisi statistica. Per il calcolo dei modelli si suggerisce l'impiego dei classification tree (alberi di classificazione), una tecnica ricorsiva di partizionamento binario (Lausen & Schumacher, 1992; Hothorn & Lausen, 2003), applicata per cercare una relazione tra la variabile risposta (es. la distribuzione di un habitat) e le variabili predittive (es. gli strati informativi ecologici di base). Questa tecnica, resa disponibile nel pacchetto party, "A Laboratory for Recursive Partytioning", della piattaforma software R, permette l'identificazione di una soglia "di divisione" in una variabile predittiva e la valutazione del suo significato sulla variabile risposta, per mezzo di una procedura basata su test statistici. Si tratta di un ulteriore sviluppo dell'analisi mediante alberi di classificazione e di regressione, ma risolve due problemi fondamentali statistici degli approcci precedenti (Hothorn et

al., 2006): l'overfitting e il bias di selezione verso variabili con molte divisioni possibili o con valori mancanti. Rispetto ad altre tecniche di modellizzazione largamente impiegate in ecologia, come i Generalized Linear Models (GLM), non necessita di alcuna assunzione nella forma della distribuzione delle variabili. A dispetto di una elevata multicollinearità delle variabili predittive anche a bassi valori del coefficiente di correlazione r (Graham, 2003), la maggior parte dei risultati ottenuti con i GLM, dopo la rimozione di variabili tra loro fortemente correlate ($r > 0.70$), sono del tutto paragonabili a quelli di tecniche di partizionamento. In ecologia, gli alberi di classificazione sono quindi una delle migliori tecniche per conseguire previsioni efficaci nella modellistica che impiega come base di lavoro i GIS (Muñoz & Felicísimo, 2004).

Per il calcolo del modello, si è reso innanzitutto necessario individuare come variabile risposta un gruppo di habitat tra loro affini ecologicamente e/o fisionomicamente. Questa affinità è rivelata dal codice N2000 (ad esempio, il gruppo delle praterie naturali inizia con il codice 61, mentre quello delle praterie seminaturali con il codice 62). Il modello, elaborato con la tecnica classification tree, consiste in un dendrogramma con dicotomie imperniate su nodi di divisione (es. quota > 1400 m, litologia calcarea, precipitazioni annuali < 1250 mm) e quindi nodi terminali (costituiti da un grafico che consente di riconoscere quale habitat è stato selezionato sulla base dei nodi di divisione). Il modello consente quindi di ricavare la distribuzione potenziale di un singolo habitat, confrontando la sua distribuzione rispetto a quella degli altri habitat basandosi sugli strati informativi ecologici di base. Per passare alla distribuzione di riferimento, occorre infine individuare la relazione tra il gruppo di habitat e le categorie della carta tematica "Destinazione d'Uso dei Suoli Agricoli e Forestali" (DUSAF v. 4.0; fonte: Geoportale della Lombardia, <http://www.cartografia.regione.lombardia.it/geoportale>), disponibile in versioni aggiornate periodicamente da Regione Lombardia-ERSAF. La relazione tra un gruppo di habitat ed una categoria DUSAF è basata sulla miglior similitudine in termini ecologici e fisionomici. Ad esempio, le brughiere e gli arbusteti temperati (cod. Natura 4) sono riconducibili alla categoria cespuglieti (cod. DUSAF 3221). In genere, a una categoria DUSAF corrisponde un solo gruppo di habitat, mentre un habitat può ricadere in più categorie DUSAF (ad esempio, l'habitat 6210 "Formazioni erbose secche seminaturali e facies coperte da cespugli su substrato calcareo Festuco-Brometalia" può ricadere sia nella categoria DUSAF 231 "prati permanenti" che nella 321 "praterie naturali d'alta quota"). Con questa associazione, la distribuzione potenziale di un habitat può essere affinata e pertanto avvicinata ad una distribuzione maggiormente coerente alla realtà rispetto all'uso attuale del suolo; in tal modo, si ricava la distribuzione che nel presente documento viene qualificata come di riferimento per il territorio regionale. La relazione tra habitat di interesse comunitario è riportata nella *Tabella 1*.

Tabella 1. Corrispondenze tra habitat di interesse comunitario e categorie DUSAF (il simbolo "--" indica la mancanza di una corrispondenza). L'ultima colonna riporta la sigla del modello sviluppato nel presente lavoro (nc= modello non calcolato).

Cod. Habitat	Cod. DUSAF	Categoria DUSAF	Modello
2330	-	-	nc
3130	512	Bacini idrici	nc
3140	512	Bacini idrici	nc
3150	512	Bacini idrici	nc
3160	512	Bacini idrici	nc
3220	3222	Vegetazione dei greti	nc
3230	3113	Vegetazione dei greti	nc
3230	3222	Formazioni ripariali	nc
3240	3113	Vegetazione dei greti	nc
3240	3222	Formazioni ripariali	nc
3260	511	Alvei fluviali e corsi d'acqua artificiali	nc
3270	3222	Vegetazione dei greti	nc
3270	3223	Vegetazione degli argini sopraelevati	nc
4030	3221	Cespuglieti	A
4060	3221	Cespuglieti	A
4070*	3221	Cespuglieti	A

Cod. Habitat	Cod. DUSAF	Categoria DUSAF	Modello
4080	3221	Cespuglieti	A
6110*	-	-	nc
6150	321	Praterie naturali d'alta quota	C
6150	333	Vegetazione rada	C
6170	321	Praterie naturali d'alta quota	C
6170	333	Vegetazione rada	C
6210(*)	231	Prati permanenti	D
6210(*)	321	Praterie naturali d'alta quota	C
6210(*)	333	Vegetazione rada	C
6230*	321	Praterie naturali d'alta quota	C
6230*	333	Vegetazione rada	C
6240*	-	-	nc
6410	411	Vegetazione delle aree umide interne e delle torbiere	nc
6430	-	-	nc
6510	231	Prati permanenti	D
6520	231	Prati permanenti	D
7140	411	Vegetazione delle aree umide interne e delle torbiere	nc
7150	411	Vegetazione delle aree umide interne e delle torbiere	nc
7110*	411	Vegetazione delle aree umide interne e delle torbiere	nc
7210*	411	Vegetazione delle aree umide interne e delle torbiere	nc
7220*	-	-	nc
7230	411	Vegetazione delle aree umide interne e delle torbiere	nc
7240*	411	Vegetazione delle aree umide interne e delle torbiere	nc
8110	332	Accumuli detritici e affioramenti privi di vegetazione	B
8120	332	Accumuli detritici e affioramenti privi di vegetazione	B
8130	332	Accumuli detritici e affioramenti privi di vegetazione	B
8210	332	Accumuli detritici e affioramenti privi di vegetazione	B
8220	332	Accumuli detritici e affioramenti privi di vegetazione	B
8230	332	Accumuli detritici e affioramenti litoidi privi di vegetazione	nc
8240*	332	Accumuli detritici e affioramenti privi di vegetazione	nc
8310	-	-	nc
8340	335	Ghiacciai e nevi perenni	nc
9110	311	Boschi latifoglie	F
9110	313	Boschi misti di conifere e di latifoglie	F
9130	311	Boschi latifoglie	F
9130	313	Boschi misti di conifere e di latifoglie	F
9160	311	Boschi latifoglie	F
9160	313	Boschi misti di conifere e di latifoglie	F
9180*	311	Boschi latifoglie	F
9180*	313	Boschi misti di conifere e di latifoglie	F
9190	311	Boschi latifoglie	F
9190	313	Boschi misti di conifere e di latifoglie	F
91AA*	311	Boschi latifoglie	F
91AA*	313	Boschi misti di conifere e di latifoglie	F
91D0*	-	-	nc
91E0*	311	Boschi latifoglie	F
91E0*	3113	Formazioni ripariali	nc
91F0	311-3113	Boschi latifoglie	F
91F0	311-3113	Formazioni ripariali	nc
91L0	311	Boschi latifoglie	F
91L0	313	Boschi misti di conifere e di latifoglie	F
91K0	311	Boschi latifoglie	F
91K0	313	Boschi misti di conifere e di latifoglie	F
9210*	311	Boschi latifoglie	F
9260	3114	Castagneti da frutto	nc
9340	311	Boschi latifoglie	F
9340	313	Boschi misti di conifere e di latifoglie	F

Cod. Habitat	Cod. DUSAF	Categoria DUSAF	Modello
9410	312	Boschi di conifere	E
9420	312	Boschi di conifere	E
9430(*)	312	Boschi di conifere	E

Non sono stati calcolati modelli nei seguenti casi:

- habitat 2330: comprende le formazioni a *Corynephorus canescens*, habitat di recente segnalazione ed estremamente localizzato a livello regionale (parte centro-settentrionale della valle del F. Ticino e su alcuni dossi della Lomellina). Nell'ambito di un Action Plan su *Corynephorus canescens* è stato sviluppato un modello distributivo per la parte centro-settentrionale della valle del F. Ticino (Brusa, 2015);
- habitat con codice 3, codice 7, habitat 6410, 6430 e 91D0: comprendono tutti habitat relativi ad aree umide. Si rimanda al capitolo "Individuazione cartografica e verifica di zone umide già censite" per ulteriori chiarimenti;
- habitat 6110, 6240: si tratta di habitat ancora da verificare per i Siti N2000 presenti sul territorio regionale;
- habitat 8230, 8240: pur avendo una corrispondenza con un codice DUSAF (332), si tratta di habitat estremamente localizzati allo stato attuale delle conoscenze e pertanto non si hanno a disposizione dati sufficienti per una modellizzazione;
- habitat 8310, 8340: non sono caratterizzati da comunità vegetali particolari; la distribuzione a livello regionale può essere desunta da censimenti di grotte e ghiacciai realizzati da specialisti;
- habitat 3230, 3240, 91E0, 91F0: questi habitat in corrispondenza della categoria DUSAF 3222 (Formazioni ripariali) sono in maggior misura rappresentati con la metodologia riportata nel capitolo "Individuazione cartografica e verifica di zone umide già censite" a cui si rimanda per i dettagli;
- habitat 9260: presenta una corrispondenza diretta con la categoria DUSAF 3114 (Castagneti da frutto).

Per il calcolo dei modelli, si è applicata la seguente procedura:

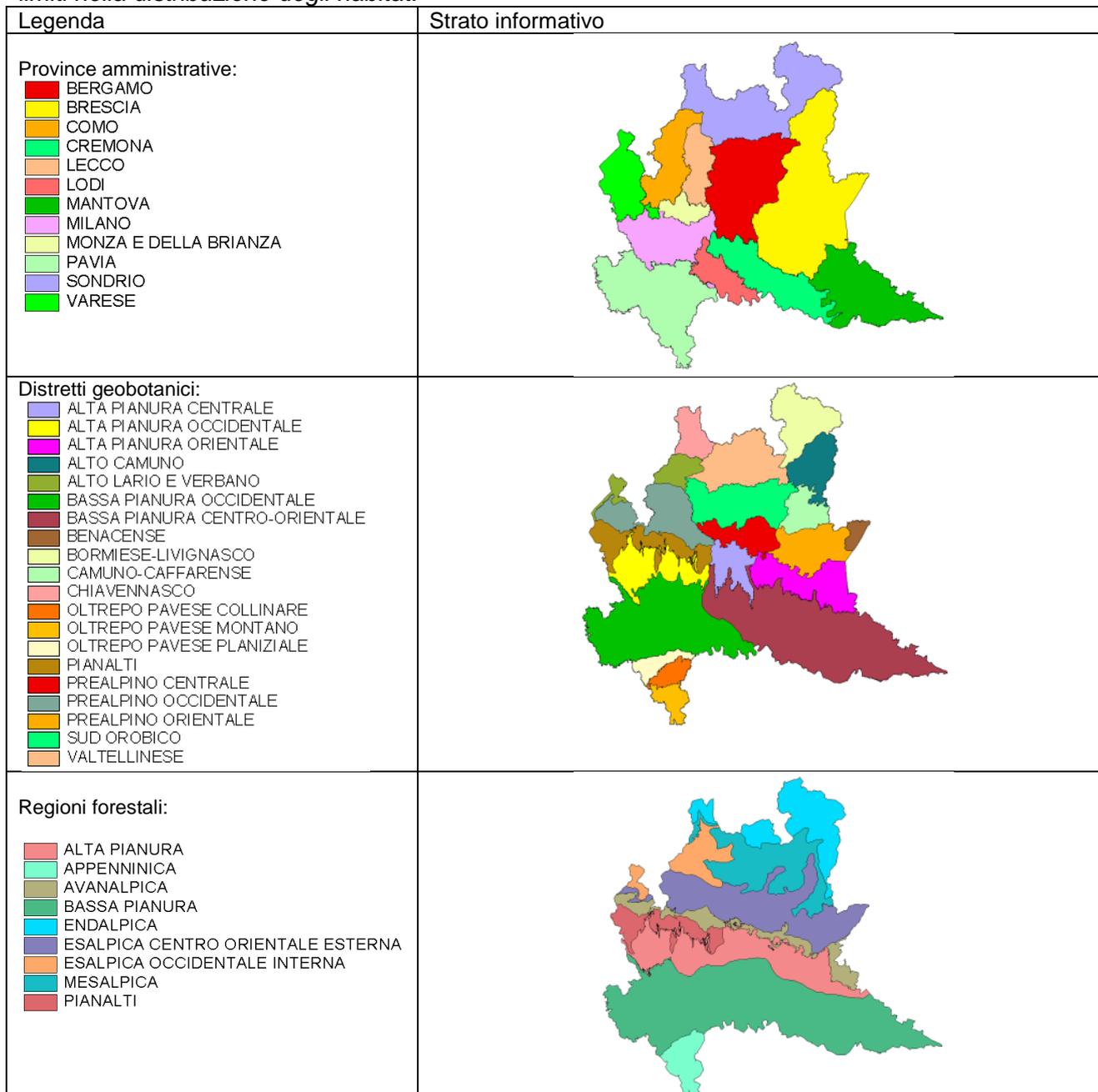
1. individuazione di un gruppo di habitat simili sotto il profilo ecologico e/o fisionomico;
2. definizione di una relazione tra il gruppo di habitat ed una pertinente categoria DUSAF;
3. per ciascun habitat del gruppo selezionato, generazione di mille punti casuali all'interno di tutti i poligoni che definiscono la distribuzione reale conosciuta dell'habitat stesso;
4. attribuzione a ciascun punto casuale dei valori degli strati informativi ecologici di base; questi ultimi sono stati scelti in relazione al tipo di habitat, anche per ottenere un modello più predittivo e/o di più facile interpretazione;
5. suddivisione dei punti casuali in due set: training (2/3 dei punti) e validation (1/3 dei punti);
6. calcolo nel pacchetto software R del modello sul training set con il metodo del classification tree, considerando gli habitat come variabile risposta;
7. impostazione della matrice di confusione sul training set, calcolando così la sensitivity e la specificity per una valutazione di un eventuale overfitting del modello;
8. traduzione del modello in un algoritmo facilmente interpretabile (chiave dicotomica);
9. in ambiente GIS, applicazione del modello utilizzando gli strati informativi di base, ricavando così la distribuzione potenziale (formato raster) di ciascun habitat nel gruppo analizzato;
10. imposti limiti nella distribuzione potenziale (limiti geografico-amministrativi, soglie di natura ecologico-biogeografica desunti da letteratura scientifica, ecc.);
11. impostazione della matrice di confusione sul validation set, calcolando così la sensitivity e la specificity del modello;
12. in ambiente GIS, intersecare la distribuzione potenziale di un habitat con la categoria DUSAF associata, ottenendo così la distribuzione regionale di riferimento (formato raster).

I limiti indicati al punto 10 sono stati ottenuti utilizzando i seguenti strati informativi (*Figura 2*):

- province amministrative (fonte: Geoportale della Lombardia, <http://www.cartografia.regione.lombardia.it/geoportale>);

- distretti geobotanici (fonte: rielaborazione di Università degli Studi dell'Insubria derivata da Andreis et al., 2005);
- regioni forestali (fonte: Del Favero, 2002).

Figura 2. Rappresentazione a scala regionale degli strati informativi utilizzati per l'imposizione di limiti nella distribuzione degli habitat.



Risultati e discussione

Sono stati sviluppati 6 modelli distributivi, di seguito illustrati. Si rimanda alla *Tabella 1* per le corrispondenze con gli habitat e le categorie DUSAF.

I modelli sono rappresentati graficamente utilizzando come sfondo il DTM, con indicazione dei principali laghi e corsi d'acqua. La distribuzione degli habitat è rappresentata con il colore rosso.

La distribuzione alla scala regionale, suddivisi per modello e habitat, è stata realizzata in formato raster georeferenziato (UTM fuso 32, datum WGS84). I raster realizzati sono allegati alla presente relazione.

Modello A: habitat degli arbusteti

Gli arbusteti comprendono i seguenti habitat di interesse comunitario:

- 4030 "Lande secche europee";
- 4060 "Lande alpine e boreali";
- 4070 "Boscaglie di *Pinus mugo* e *Rhododendron hirsutum* (*Mugo-Rhododendretum hirsuti*)";
- 4080 "Boscaglie subartiche di *Salix* spp."

La corrispondente categoria DUSAF per gli arbusteti è la seguente:

- 3221 "Cespuglieti".

La corrispondenza dei quattro habitat sopraelencati con questa categoria DUSAF non è esclusiva, in quanto alcuni "cespuglieti" appartenenti a determinati sintaxa (es. *Rhamno catharticae-Prunetea spinosae*, *Alnion viridis*) non rientrano in alcun habitat di interesse comunitario.

Nel calcolo del modello, sono stati considerati i seguenti strati informativi di base:

- quota;
- substrato geolitologico;
- assolazione media annua;
- precipitazioni medie;
- vegetazione potenziale.

Il modello calcolato sul training set con la tecnica degli alberi di classificazione è il seguente:

- 1) fasce: planiziale, collinare, submontana (umida) e montana (umida)
- 2) rocce carbonatiche → habitat 4070
- 2) altri substrati
- 3) quota ≤ 1640 m
- 4) assolazione ≤ 2992 WH m⁻² d⁻¹
- 5) quota ≤ 836 m → habitat 4030
- 5) quota > 836 m
- 6) precipitazioni ≤ 1799 mm a⁻¹ → habitat 4080
- 6) precipitazioni > 1799 mm a⁻¹ → habitat 4030
- 4) assolazione > 2992 WH m⁻² d⁻¹
- 7) quota ≤ 1453 m → habitat 4030
- 7) quota > 1453 m
- 8) assolazione ≤ 3614 WH m⁻² d⁻¹ → habitat 4070
- 8) assolazione > 3614 WH m⁻² d⁻¹ → habitat 4030
- 3) quota > 1640 m → habitat 4060
- 1) fasce: submontana (mesica e xerica), montana (mesica e xerica), subalpina e alpina
- 9) rocce carbonatiche → habitat 4070
- 9) rocce silicatiche
- 10) fascia montana (mesica)
- 11) quota ≤ 1890 m
- 12) assolazione ≤ 3186 WH m⁻² d⁻¹ → habitat 4080

- 12) assolazione > 3186 WH m⁻² d⁻¹
- 13) quota <= 1697 m → habitat 4030
- 13) quota > 1697 m → habitat 4060
- 11) quota > 1890 m → habitat 4060
- 10) altre fasce
- 14) fasce: submontana (mesica), montana (xerica), subalpina (inferiore umida) e alpina
- 15) quota <= 2505 m
- 16) assolazione <= 2840 WH m⁻² d⁻¹ → habitat 4080
- 16) assolazione > 2840 WH m⁻² d⁻¹
- 17) precipitazioni <= 862 mm a⁻¹ → habitat 4070
- 17) precipitazioni > 862 mm a⁻¹ → habitat 4060
- 15) quota > 2505 m → habitat 4080
- 14) fasce: submontana (xerica), subalpina (inferiore mesica, superiore)
- 18) precipitazioni <= 884 mm a⁻¹
- 19) quota <= 2131 m → habitat 4070
- 19) quota > 2131 m → habitat 4060
- 18) precipitazioni > 884 mm a⁻¹ → habitat 4060

La seguente tabella riporta i valori di sensitivity e specificity calcolati sul validation set per ciascun habitat secondo il modello sopra specificato:

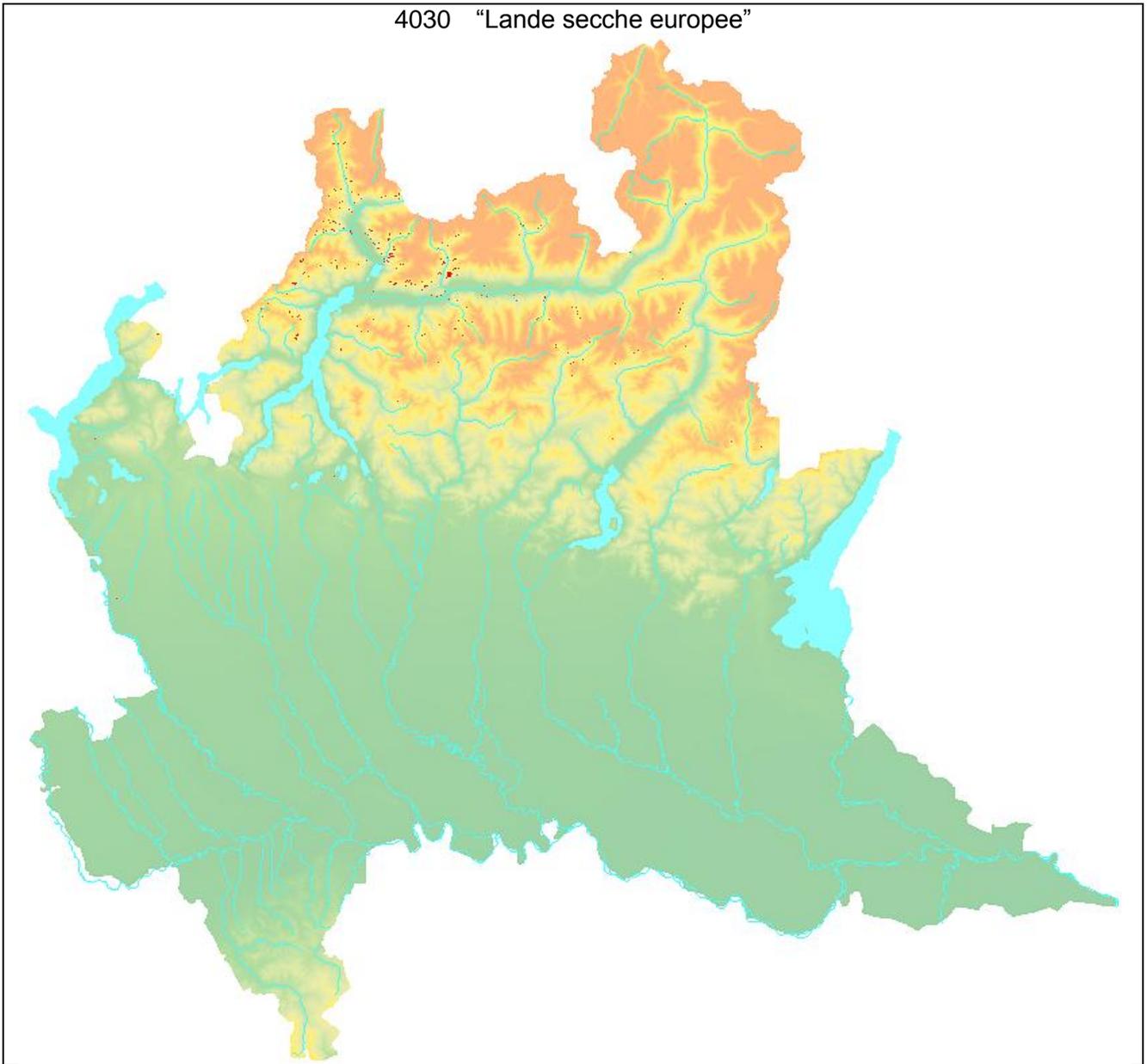
Habitat	sensitivity	specificity
4030	97.6	98.4
4060	79.3	85.8
4070	85.3	96.8
4080	65.8	95.0

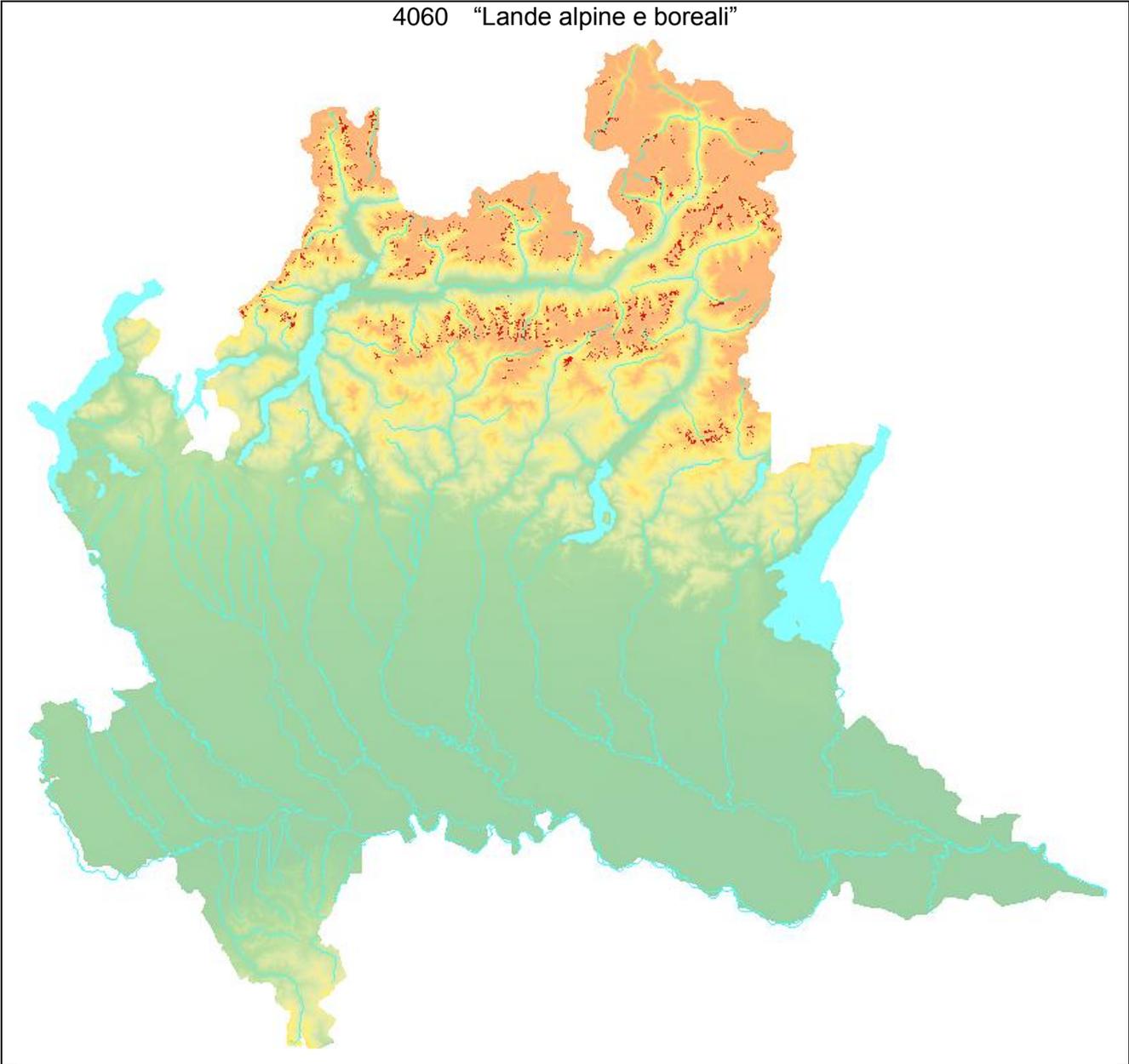
Infine, i modelli dei seguenti habitat sono stati filtrati:

- 4030: per ragioni bioclimatiche, escluse le aree nella bassa pianura;
- 4070: per ragioni biogeografiche, considerate unicamente le province di Como, Lecco, Sondrio, Bergamo e Brescia.

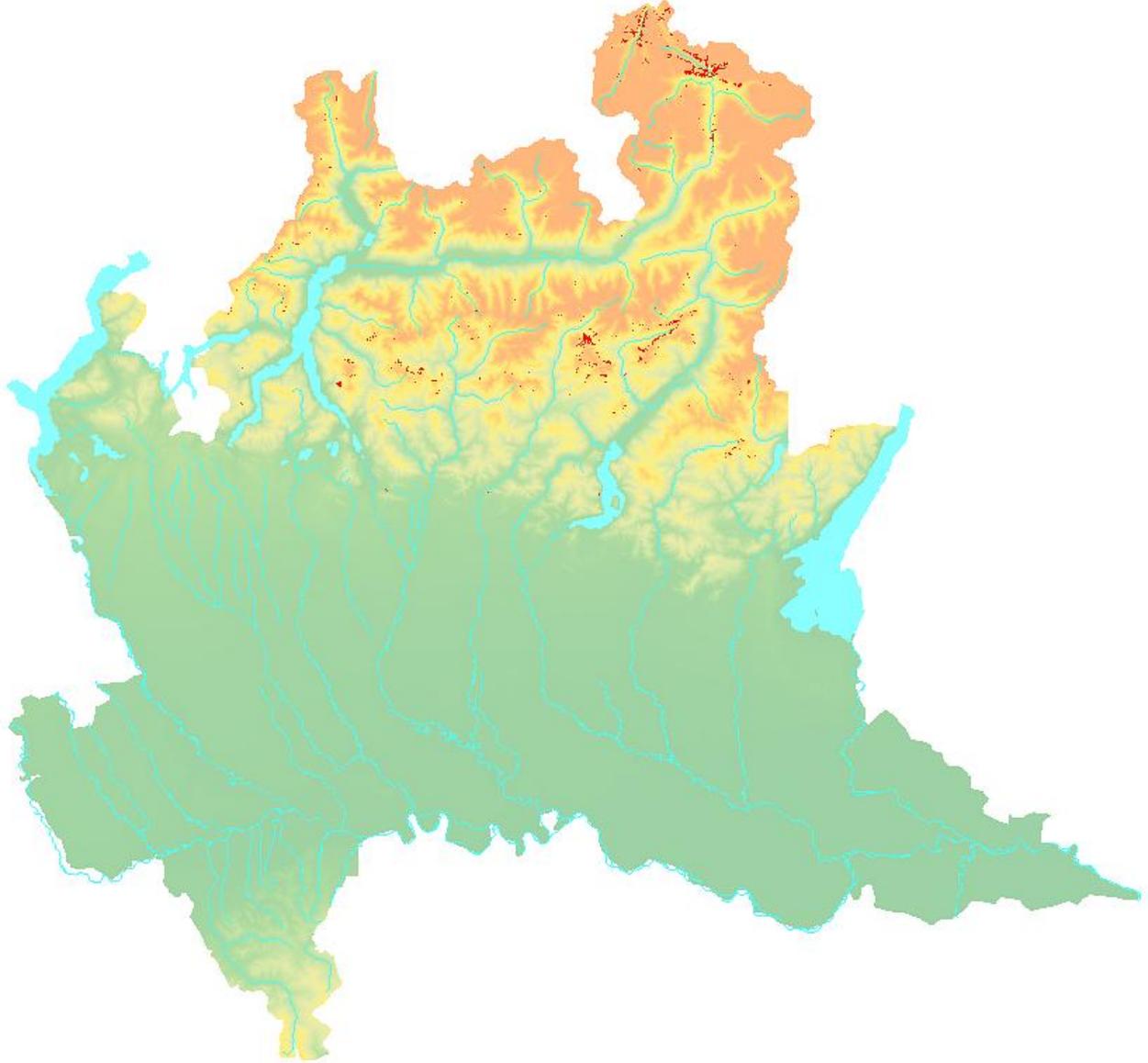
Applicando il modello alla corrispondente categoria DUSAF, sono state ricavate le seguenti mappe che mostrano la distribuzione potenziale degli habitat (aree evidenziate in rosso).

4030 "Lande secche europee"

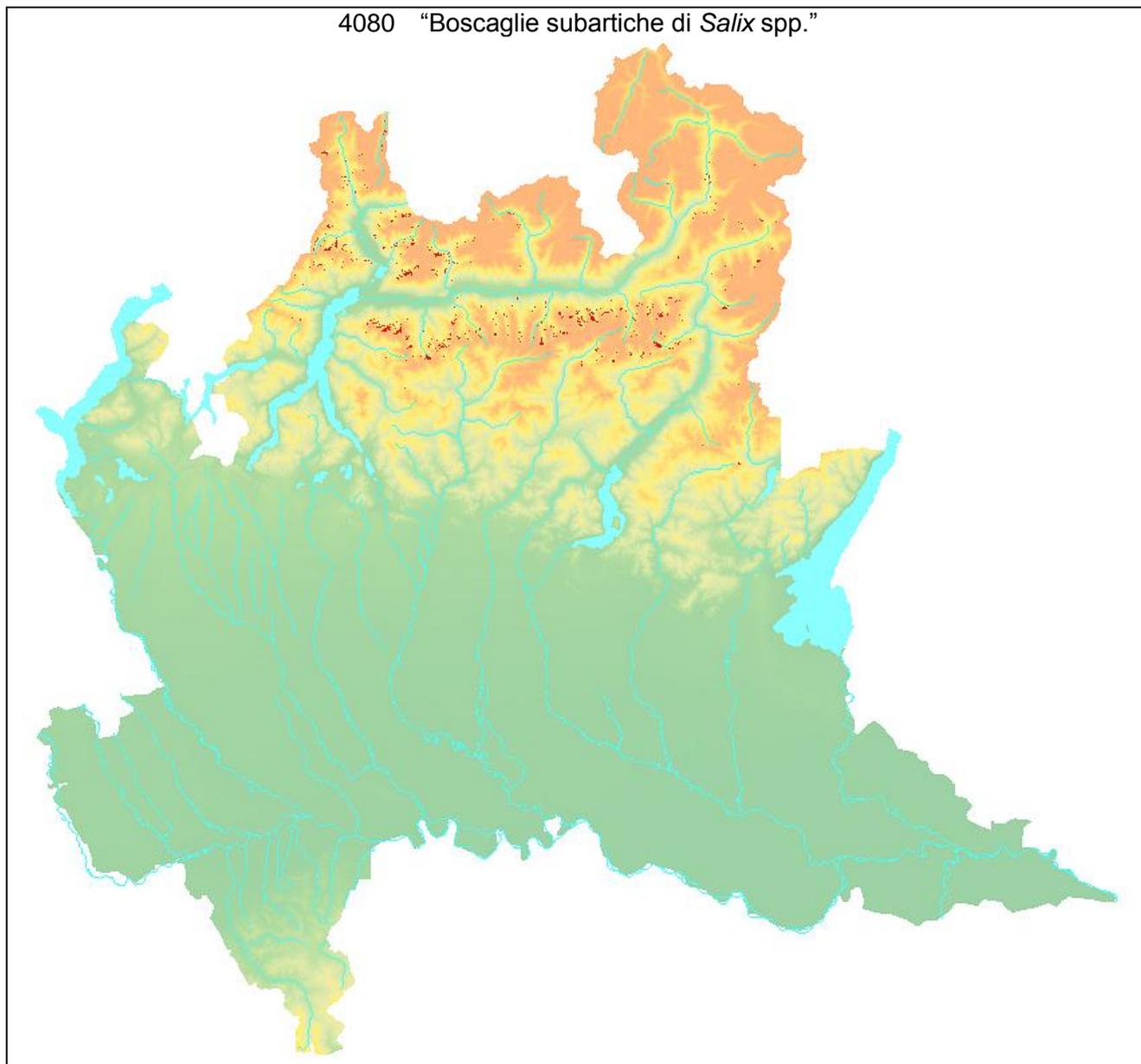




4070 "Boscaglie di *Pinus mugo* e *Rhododendron hirsutum* (Mugo-Rhododendretum hirsuti)"



4080 "Boscaglie subartiche di *Salix* spp."



Modello B: habitat comunitari dei ghiaioni e delle rupi

I ghiaioni e le rupi comprendono i seguenti habitat di interesse comunitario:

- 8110 “Ghiaioni silicei dei piani montano fino a nivale (*Androsacetalia alpinae* e *Galeopsietalia ladani*)”;
- 8120 “Ghiaioni calcarei e scisto-calcarei montani e alpini (*Thlaspietea rotundifolii*)”;
- 8130 “Ghiaioni del Mediterraneo occidentale e termofili”;
- 8210 “Pareti rocciose calcaree con vegetazione casmofitica”;
- 8220 “Pareti rocciose silicee con vegetazione casmofitica”.

L'habitat 8240* “Pavimenti calcarei” non è stato incluso nell'analisi in quanto presenta una distribuzione molto limitata a livello regionale. Per le stesse ragioni, non è stato incluso l'habitat 8230 “Rocce silicee con vegetazione pioniera del *Sedo-Scleranthion* o del *Sedo albi-Veronicion dillenii*”.

La corrispondente categoria DUSAF per i ghiaioni e le rupi è la seguente:

- 332 “Accumuli detritici e affioramenti litoidi privi di vegetazione”.

La corrispondenza dei quattro habitat sopra elencati con questa categoria DUSAF è sul piano teorico esclusiva, cioè non esistono altre comunità vegetali che possono occupare questa categoria DUSAF. Tuttavia occorre evidenziare che in assenza di piante, l'habitat di interesse comunitario non può essere ovviamente assegnato.

Nel calcolo del modello, sono stati considerati i seguenti strati informativi di base:

- quota;
- substrato geolitologico;
- pendenza;
- assolazione media annua;
- precipitazioni medie.

Il modello calcolato sul training set, con la tecnica degli alberi di classificazione, è il seguente:

- 1) rocce silicatiche
 - 2) precipitazioni $\leq 879 \text{ mm a}^{-1}$
 - 3) quota $\leq 2103 \text{ m}$ → habitat 8130
 - 3) quota $> 2103 \text{ m}$ → habitat 8220
 - 2) precipitazioni $> 879 \text{ mm a}^{-1}$
 - 4) pendenza $\leq 38^\circ$ → habitat 8110
 - 4) pendenza $> 38^\circ$ → habitat 8220
- 1) rocce carbonatiche
 - 5) quota $\leq 1950 \text{ m}$
 - 6) pendenza $\leq 40^\circ$
 - 7) precipitazioni $\leq 1815 \text{ mm a}^{-1}$
 - 8) assolazione $\leq 2385 \text{ WH m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ → habitat 8120
 - 8) assolazione $> 2385 \text{ WH m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ → habitat 8130
 - 7) precipitazioni $> 1815 \text{ mm a}^{-1}$ → habitat 8120
 - 6) pendenza $> 40^\circ$
 - 9) quota $\leq 1497 \text{ m}$ → habitat 8210
 - 9) quota $> 1497 \text{ m}$
 - 10) precipitazioni $\leq 1809 \text{ mm a}^{-1}$ → habitat 8130
 - 10) precipitazioni $> 1809 \text{ mm a}^{-1}$ → habitat 8210
 - 5) quota $> 1950 \text{ m}$
 - 11) pendenza $\leq 40^\circ$
 - 12) quota $\leq 2127 \text{ m}$
 - 13) precipitazioni $\leq 896 \text{ mm a}^{-1}$
 - 14) assolazione $\leq 3909 \text{ WH m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ → habitat 8120
 - 14) assolazione $> 3909 \text{ WH m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ → habitat 8130

- 13) precipitazioni > 896 mm a⁻¹ → habitat 8120
- 12) quota > 2127 m → habitat 8120
- 11) pendenza > 40° → habitat 8210

La seguente tabella riporta i valori di sensitivity e specificity calcolati sul validation set per ciascun habitat secondo il modello sopra specificato:

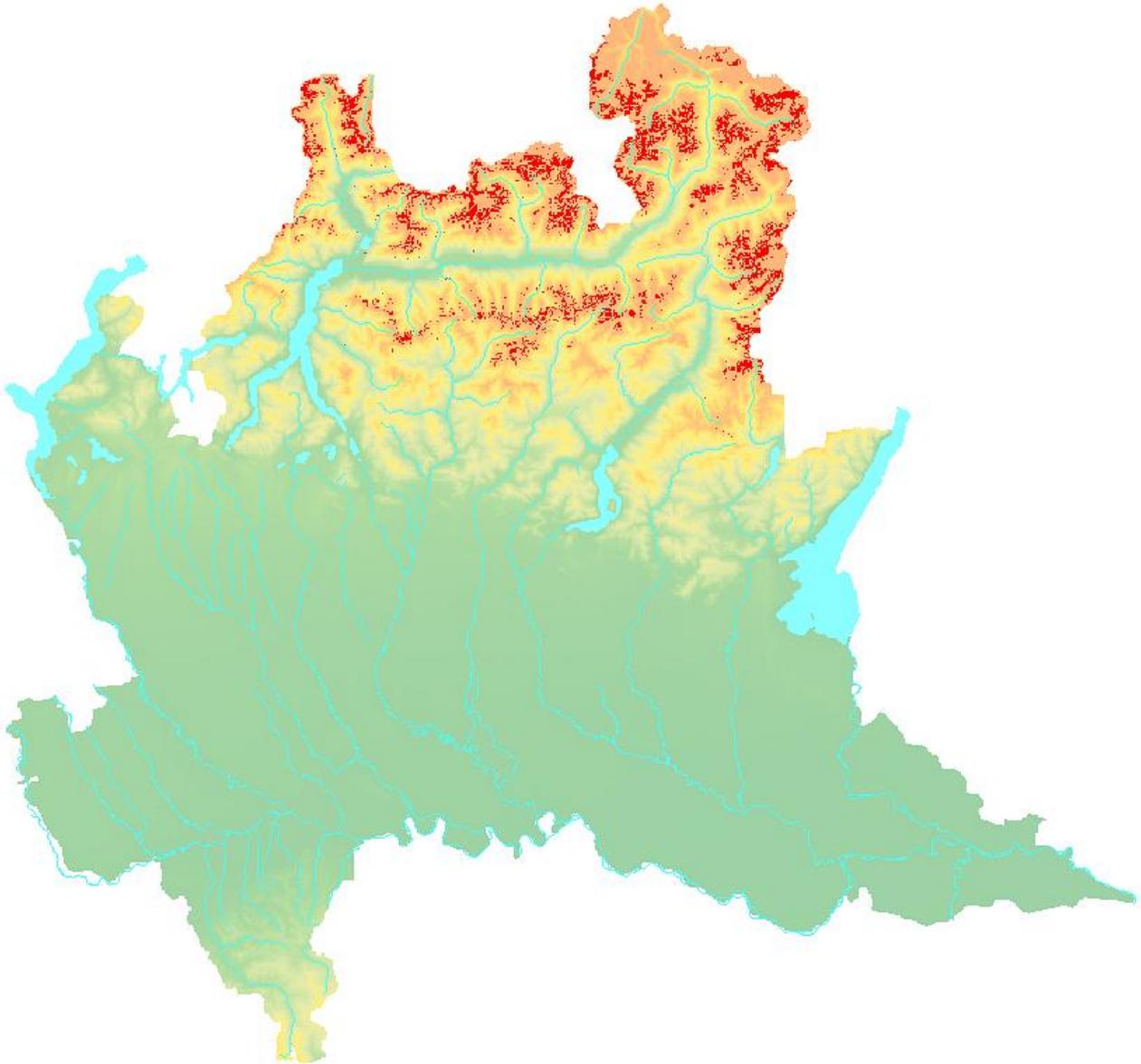
Habitat	sensitivity	specificity
8110	81.4	88.6
8120	36.3	94.4
8130	82.9	90.6
8210	65.5	87.1
8220	57.7	95.3

Infine, i modelli dei seguenti habitat sono stati filtrati:

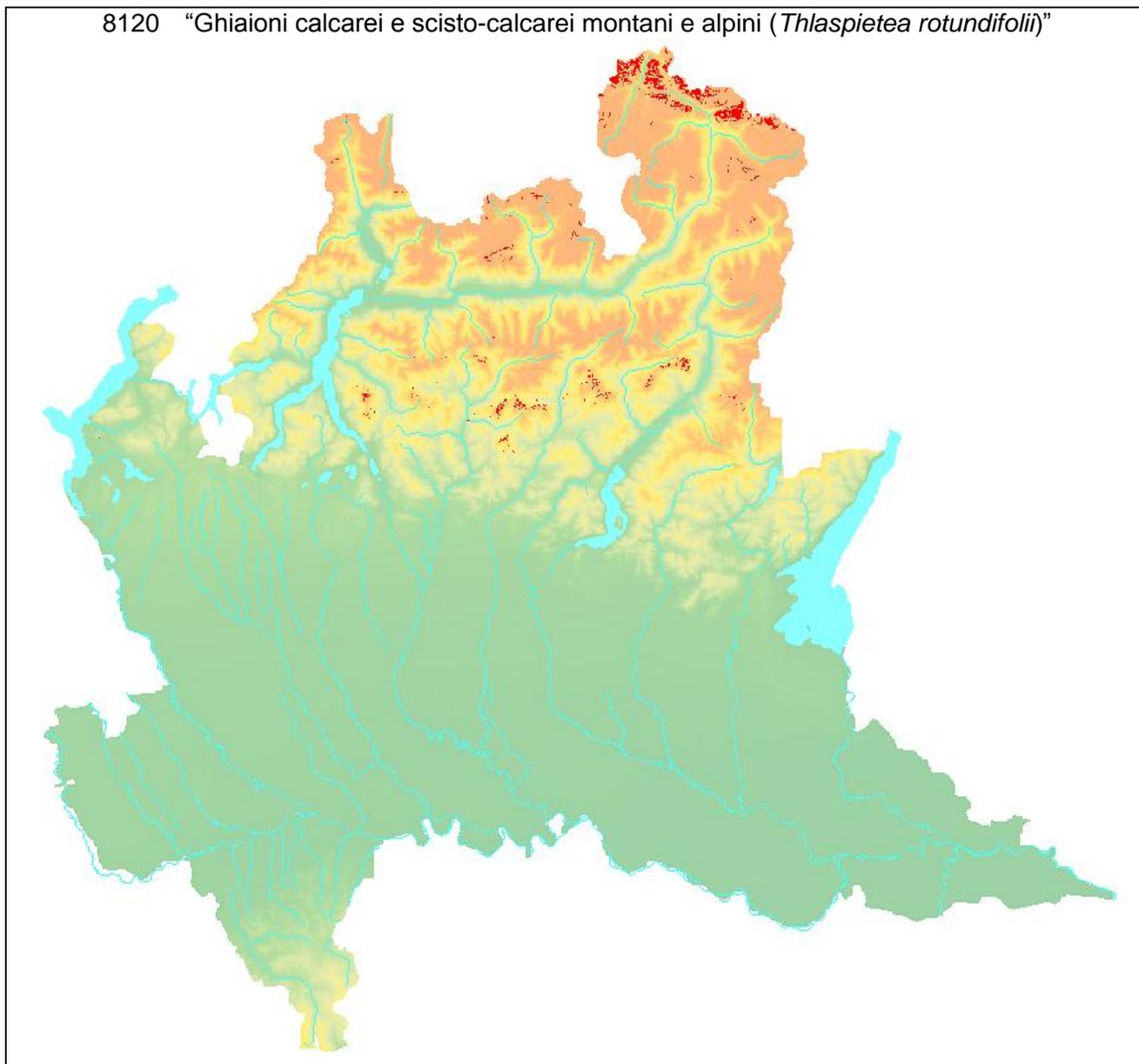
- 8130: escluse le aree nell'Oltrepò, per ragioni biogeografiche;
- 8220: escluse le aree nell'Oltrepò, per ragioni ecologiche.

Applicando il modello alla corrispondente categoria DUSAF, sono state ricavate le seguenti mappe che mostrano la distribuzione potenziale degli habitat (aree evidenziate in rosso).

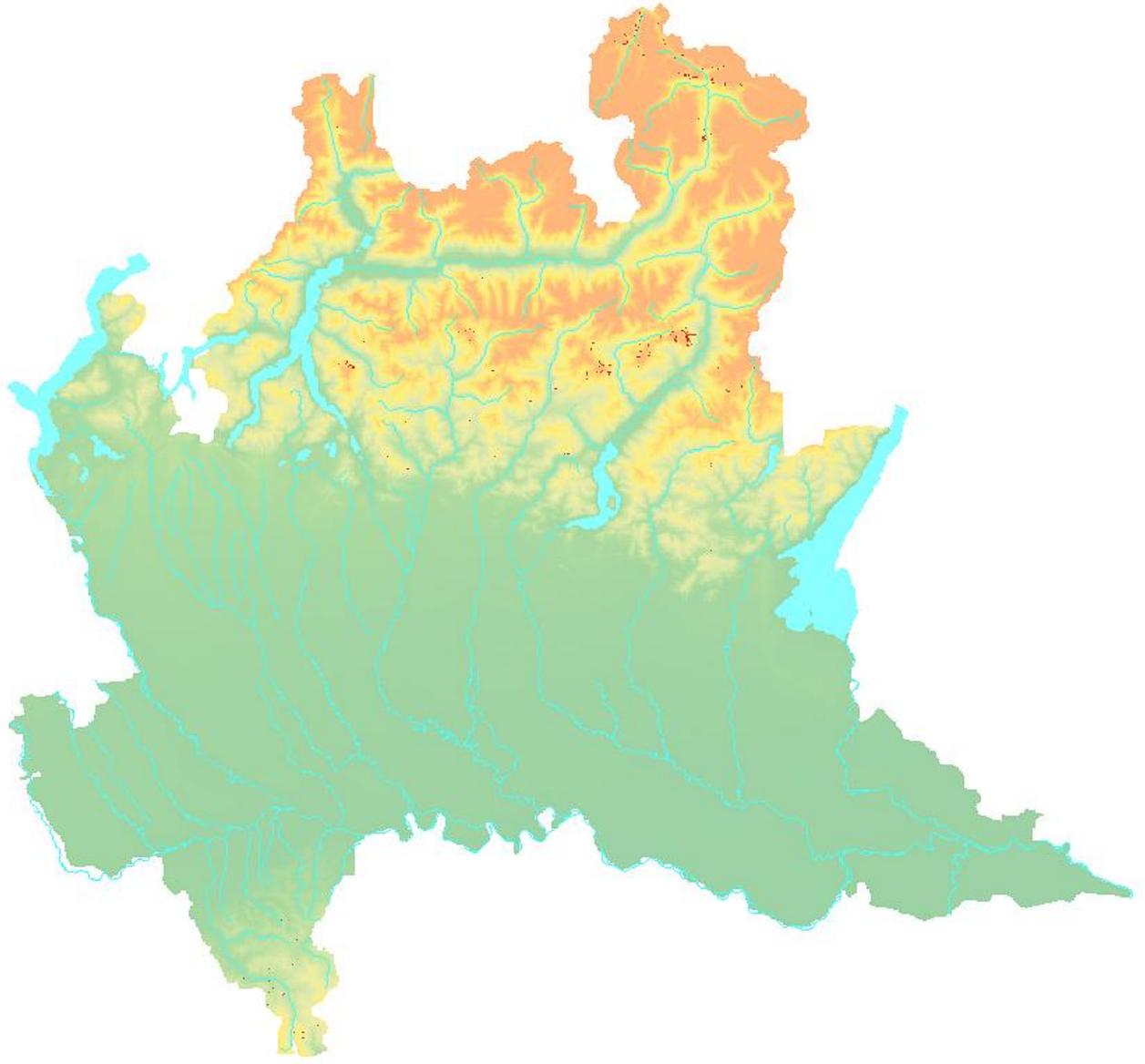
8110 "Ghiaioni silicei dei piani montano fino a nivale (*Androsacetalia alpinae* e *Galeopsietalia ladanii*)"



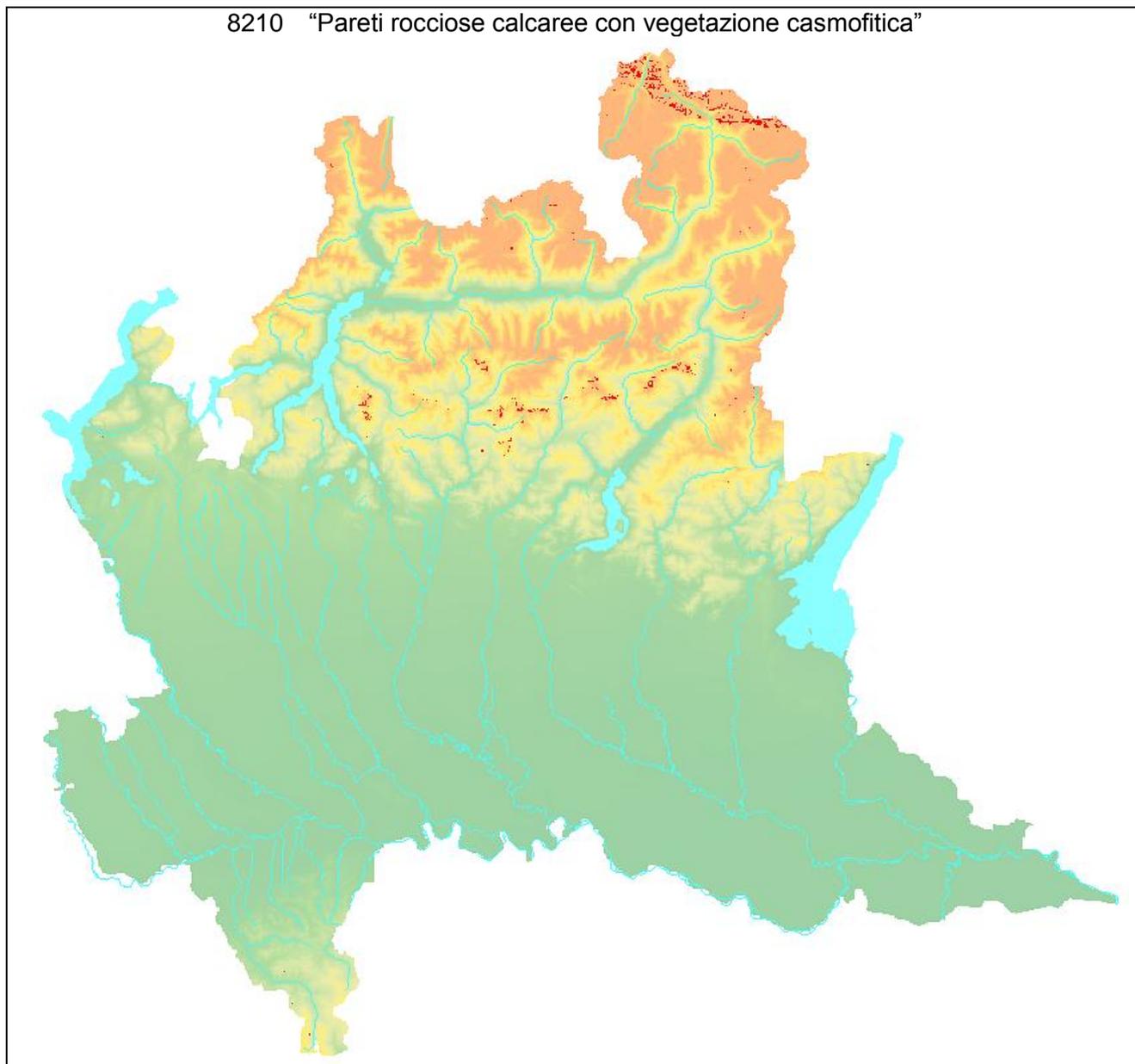
8120 "Ghiaioni calcarei e scisto-calcarei montani e alpini (*Thlaspietea rotundifolii*)"



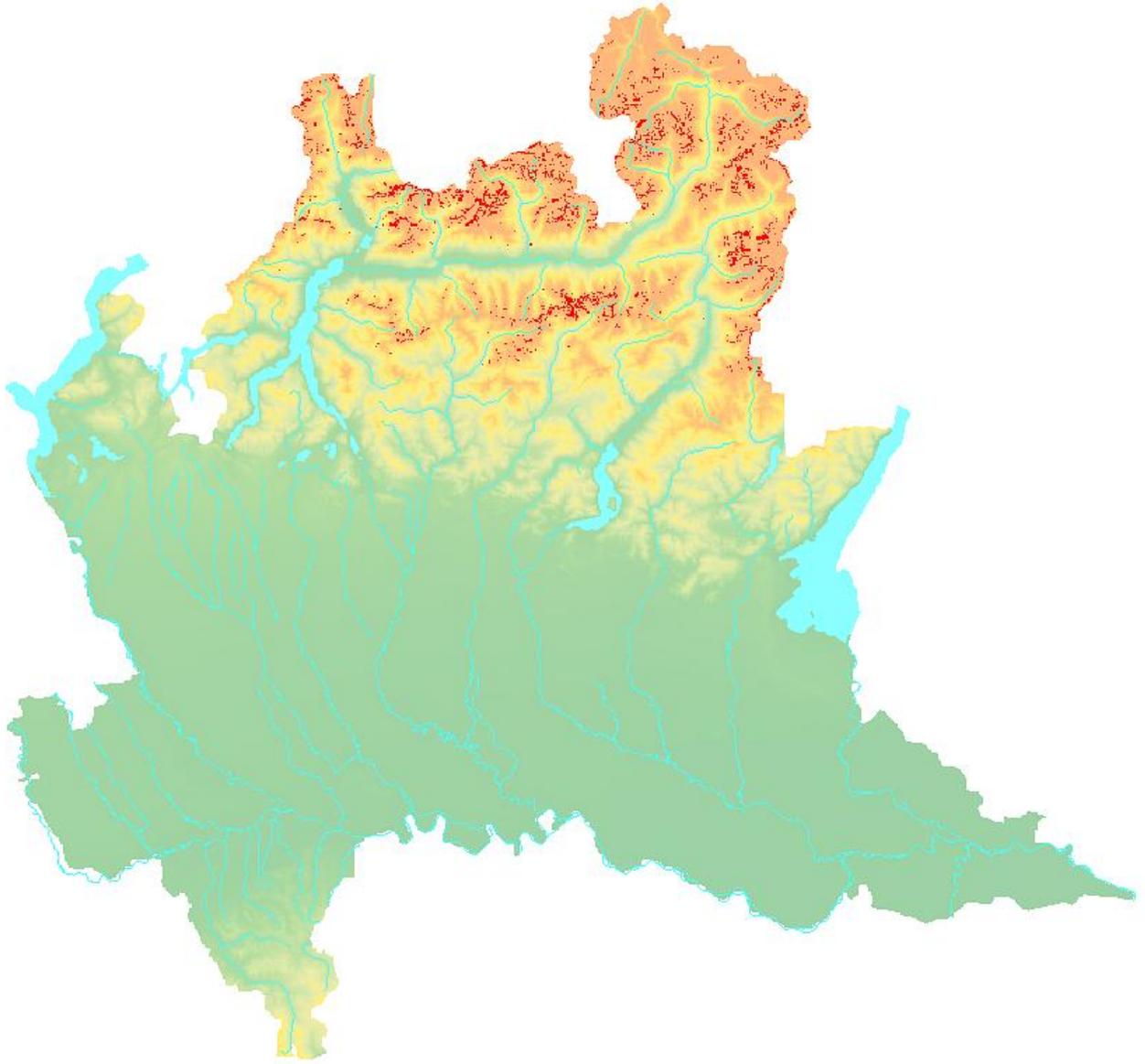
8130 "Ghiaioni del Mediterraneo occidentale e termofili"



8210 "Pareti rocciose calcaree con vegetazione casmofitica"



8220 "Pareti rocciose silicee con vegetazione casmofitica"



Modello C: habitat delle praterie di quota

(modello sviluppato nell'ambito del Progetto LIFE11NAT/IT/044 GESTIRE e presentato nella relazione AA.VV., 2014)

Le praterie di quota comprendono i seguenti habitat di interesse comunitario:

- 6150 "Formazioni erbose boreo-alpine silicicole";
- 6170 "Formazioni erbose calcicole alpine e subalpine";
- 6210 "Formazioni erbose secche seminaturali e facies coperte da cespugli su substrato calcareo (*Festuco-Brometalia*)";
- 6230 "Formazioni erbose a *Nardus*, ricche di specie, su substrato siliceo delle zone montane (e delle zone submontane dell'Europa continentale)".

L'habitat 6210 è stato incluso nel calcolo di questo modello, oltre che nel D, in quanto i prati magri risultano essere presenti anche nella fascia montana delle aree prealpine.

Le corrispondenti categorie DUSAF per le praterie di quota sono le seguenti:

- 321 "Praterie naturali d'alta quota";
- 333 "Vegetazione rada".

La corrispondenza dei quattro habitat sopraelencati con questa categoria DUSAF non è esclusiva, in quanto alcune praterie di quota presentano una scarsa diversità floristica (es. i nardeti poveri di specie) o appartengono a sintaxa (es. *Poion alpinae*) che non sono attribuibili ad alcun habitat di interesse comunitario.

Nel calcolo del modello sono stati considerati i seguenti strati informativi di base:

- quota;
- substrato geolitologico;
- assolazione media annua;
- precipitazioni medie.

Il modello calcolato sul training set, con la tecnica degli alberi di classificazione, è il seguente:

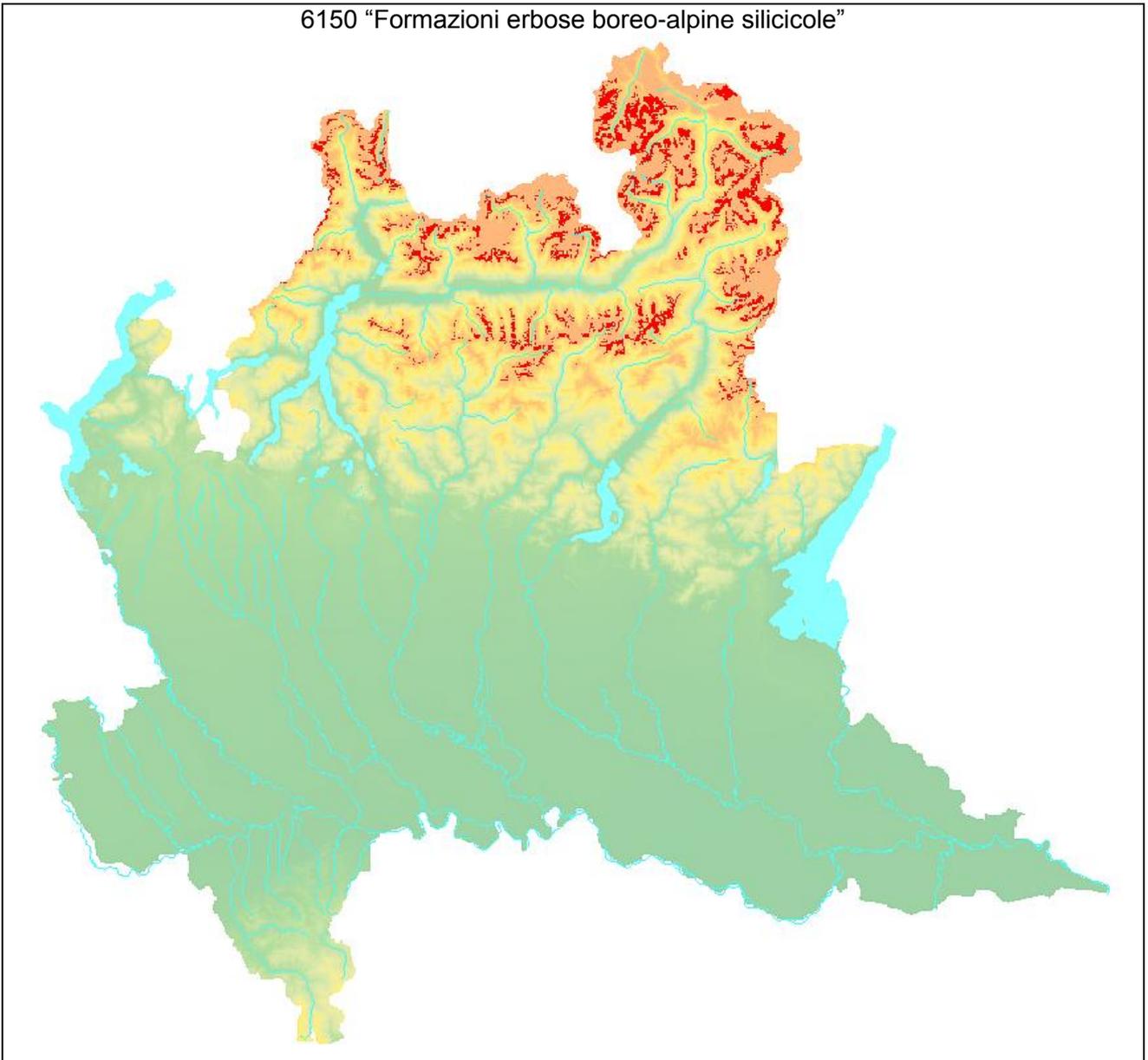
- 1) rocce silicatiche
 - 2) quota \leq 2185 m \rightarrow habitat 6230
 - 2) quota $>$ 2185 m \rightarrow habitat 6150
- 1) altri substrati
 - 3) quota \leq 1459 m \rightarrow habitat 6210
 - 3) quota $>$ 1459 m \rightarrow habitat 6170

La seguente tabella riporta i valori di sensitivity e specificity calcolati sul validation set per ciascun habitat secondo il modello sopra specificato:

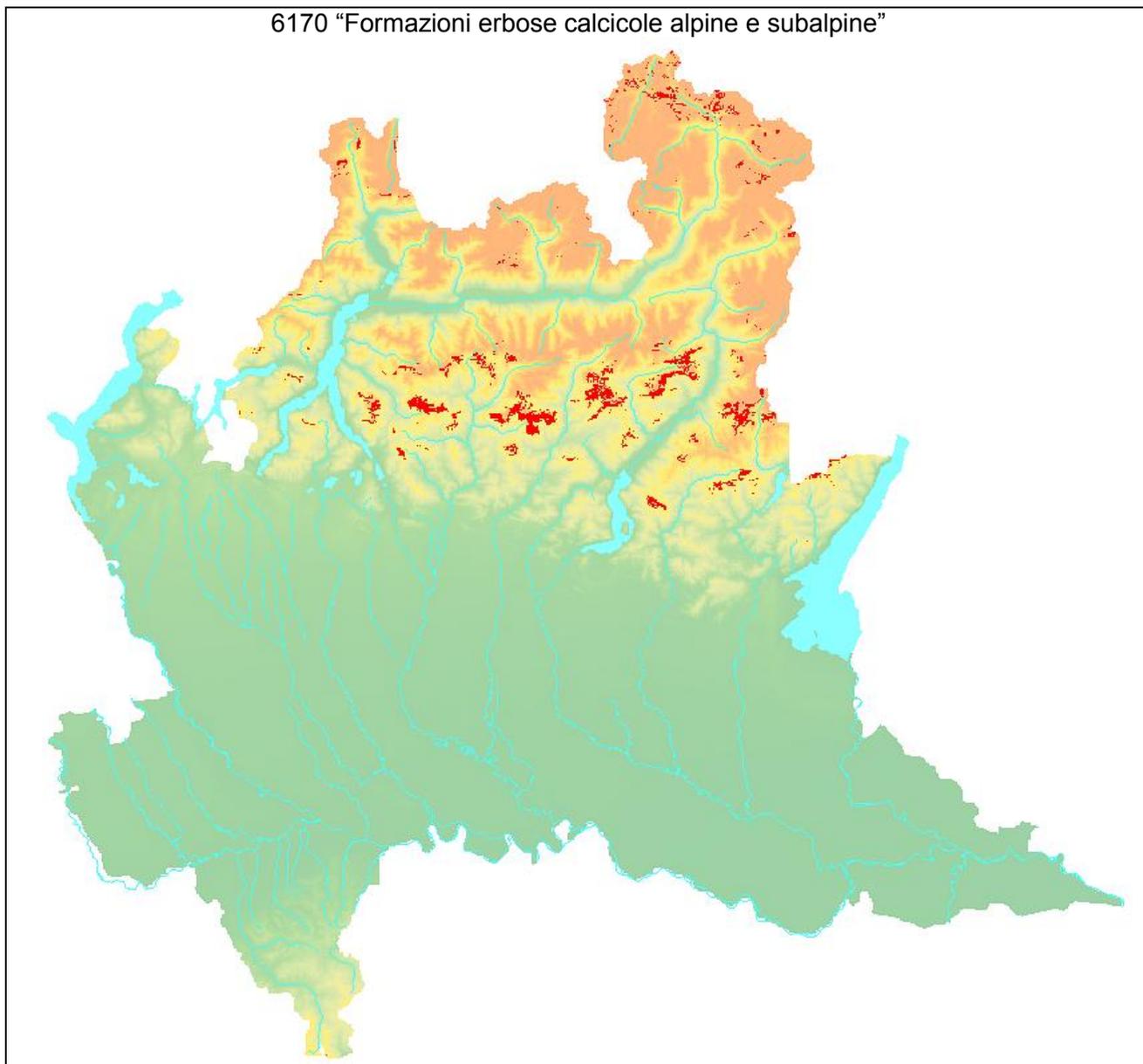
Habitat	sensitivity	specificity
6150	67.6	95.9
6170	81.4	94.5
6230	92.5	95.6
6210	83.5	89.0

Applicando il modello alle corrispondenti categorie DUSAF, sono state ricavate le seguenti mappe che mostrano la distribuzione potenziale degli habitat (aree evidenziate in rosso).

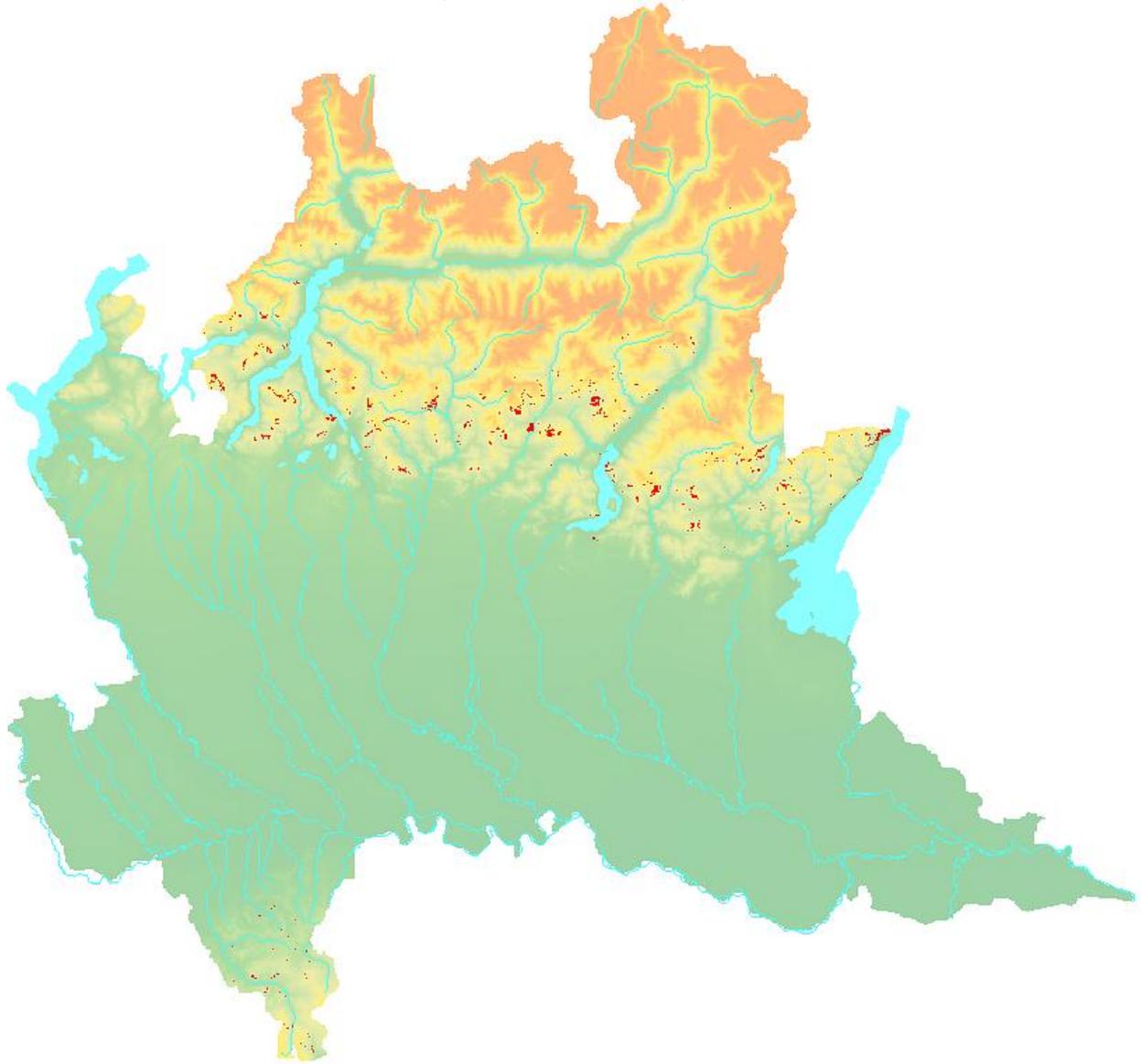
6150 "Formazioni erbose boreo-alpine silicicole"



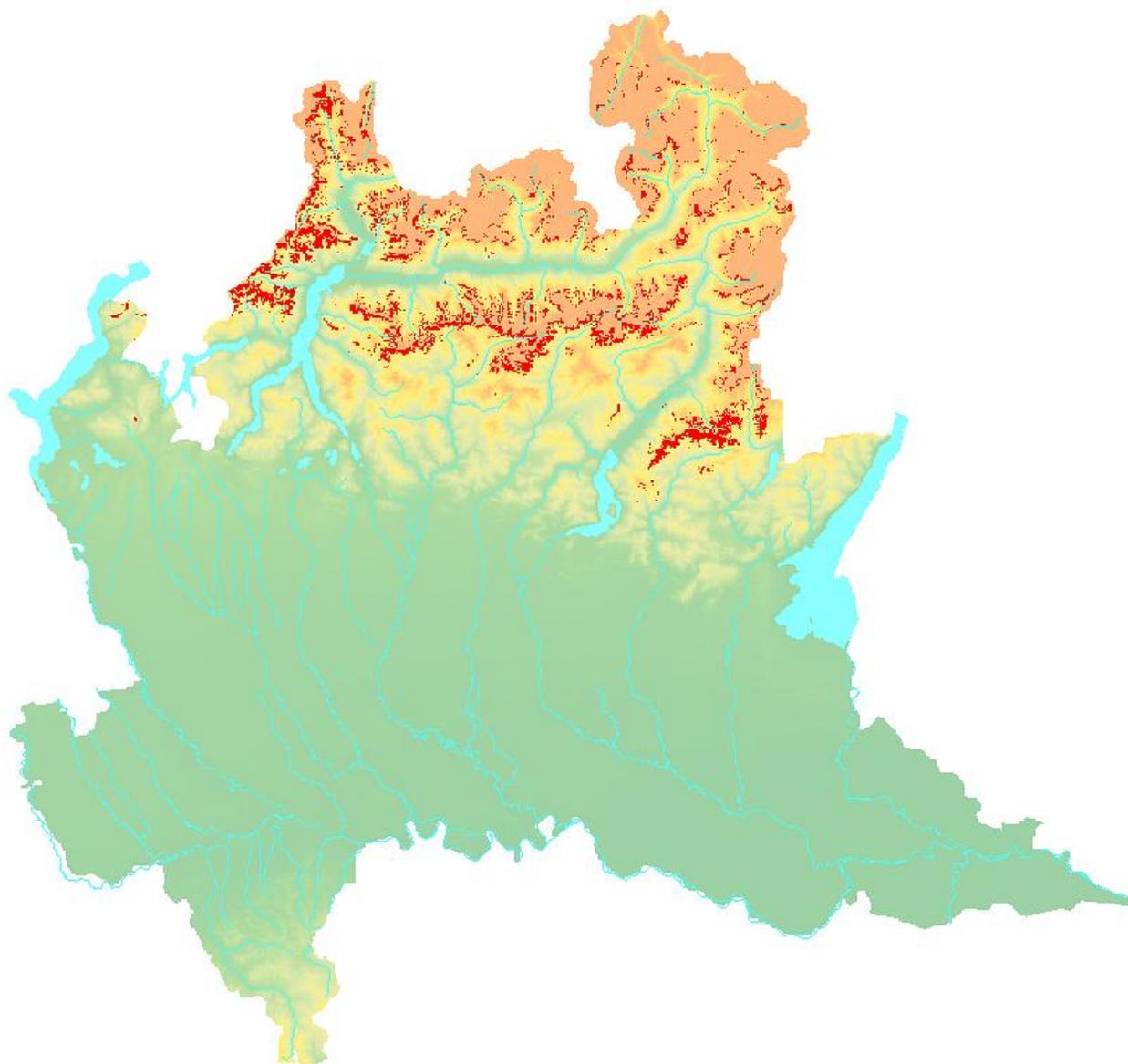
6170 "Formazioni erbose calcicole alpine e subalpine"



6210 "Formazioni erbose secche seminaturali e facies coperte da cespugli su substrato calcareo (Festuco-Brometalia)"



6230 "Formazioni erbose a Nardus, ricche di specie, su substrato siliceo delle zone montane (e delle zone submontane dell'Europa continentale)"



Modello D: habitat dei prati

I prati comprendono i seguenti habitat di interesse comunitario:

- 6210 “Formazioni erbose secche seminaturali e facies coperte da cespugli su substrato calcareo (*Festuco-Brometalia*)”;
- 6510 “Praterie magre da fieno a bassa altitudine (*Alopecurus pratensis*, *Sanguisorba officinalis*)”;
- 6520 “Praterie montane da fieno”.

L’habitat 6210 è stato incluso nel calcolo di questo modello, oltre che nel C, in quanto i prati magri risultano largamente sovrapposti in termini ecologici ai prati seminaturali (habitat 6510 e 6520), dai quali differiscono in genere per la scarsa o nulla concimazione.

La corrispondente categoria DUSAF per questi habitat è la seguente:

- 231 “Prati permanenti”.

La corrispondenza dei tre habitat sopraelencati con questa categoria DUSAF non è esclusiva, in quanto alcuni “prati permanenti” appartenenti a determinati sintaxa (es. *Cynosurion cristati*, *Lolio perennis-Plantaginion majoris*) non rientrano in alcun habitat di interesse comunitario.

Nel calcolo del modello, sono stati considerati i seguenti strati informativi di base:

- quota;
- substrato geolitologico;
- assolazione media annua;
- precipitazioni medie.

Il modello calcolato sul training set, con la tecnica degli alberi di classificazione, è il seguente:

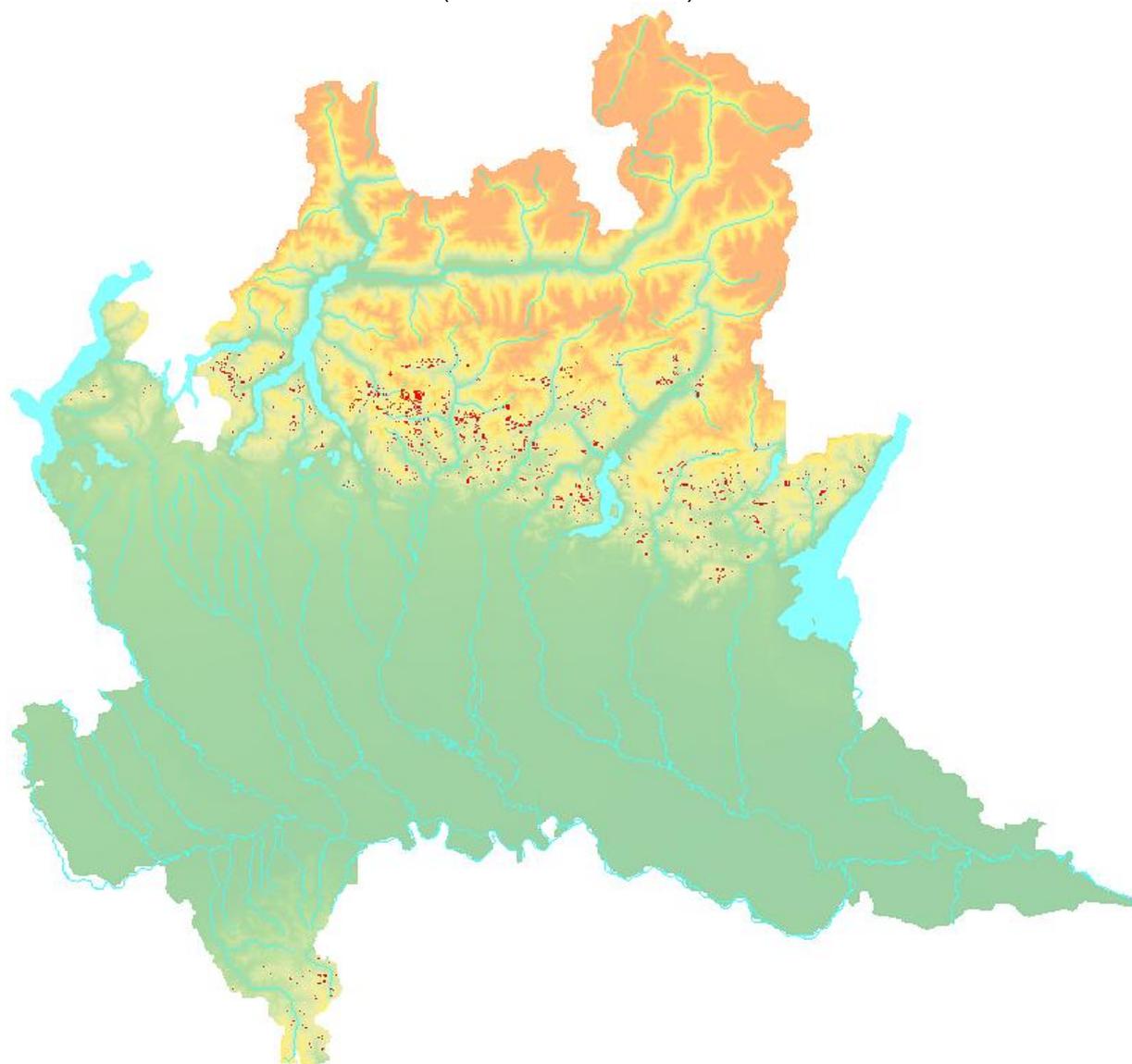
- 1) rocce silicee
 - 2) quota ≤ 854 m \rightarrow habitat 6510
 - 2) quota > 854 m \rightarrow habitat 6520
- 1) altri substrati
 - 3) quota ≤ 681 m \rightarrow habitat 6510
 - 3) quota > 681 m
 - 4) quota ≤ 934 m \rightarrow habitat 6210
 - 4) quota > 934 m
 - 5) precipitazioni ≤ 1809 mm a⁻¹ \rightarrow habitat 6520
 - 5) precipitazioni > 1809 mm a⁻¹ \rightarrow habitat 6210

La seguente tabella riporta i valori di sensitivity e specificity calcolati sul validation set per ciascun habitat secondo il modello sopra specificato:

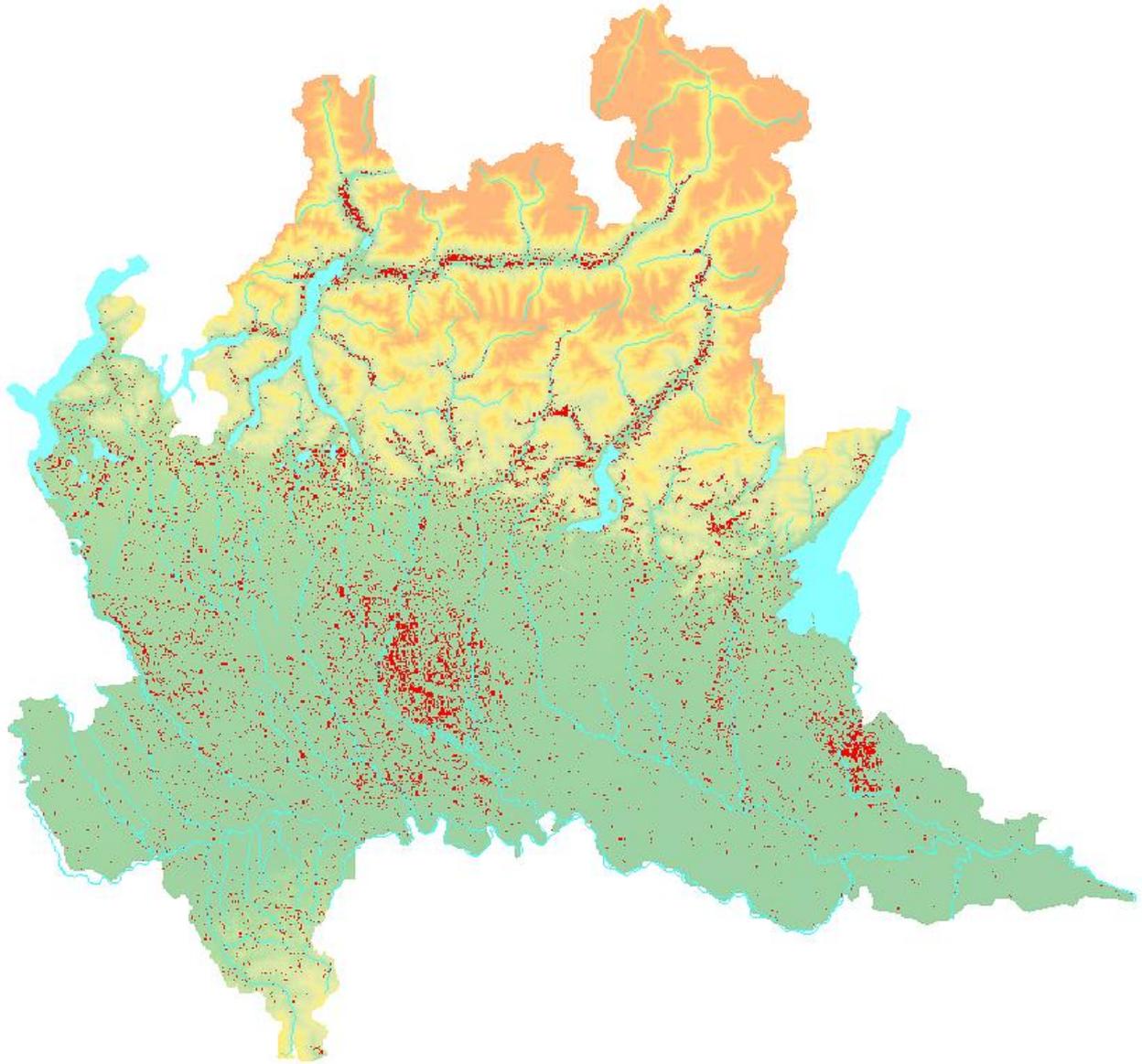
Habitat	sensitivity	specificity
6210	36.6	89.6
6510	79.3	77.6
6520	90.4	85.9

Applicando il modello alla corrispondente categoria DUSAF, sono state ricavate le seguenti mappe che mostrano la distribuzione potenziale degli habitat (aree evidenziate in rosso).

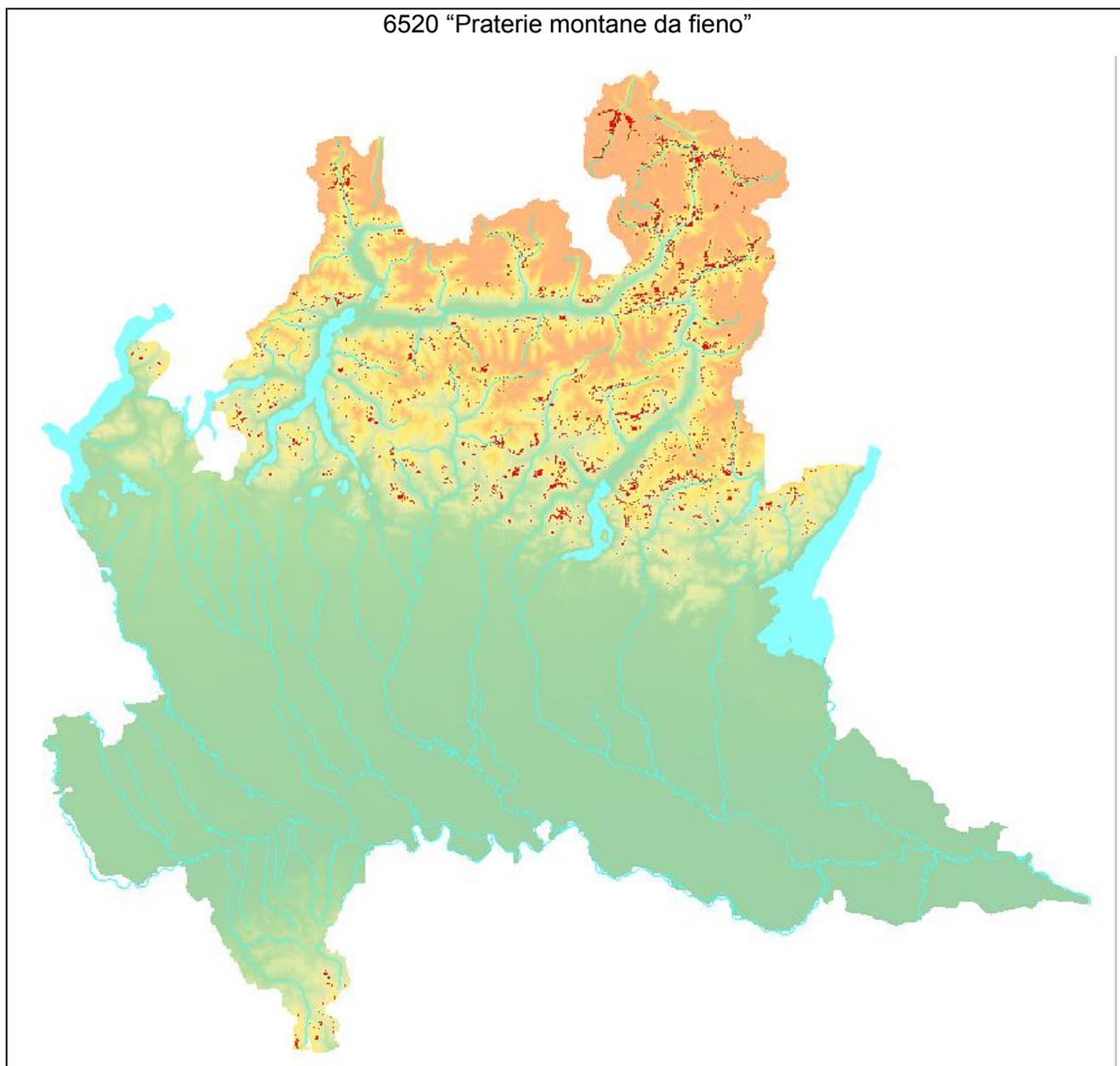
6210 "Formazioni erbose secche seminaturali e facies coperte da cespugli su substrato calcareo (*Festuco-Brometalia*)"



6510 "Praterie magre da fieno a bassa altitudine (*Alopecurus pratensis*, *Sanguisorba officinalis*)



6520 "Praterie montane da fieno"



Modello E: habitat dei boschi di conifere

I boschi di conifere comprendono i seguenti habitat di interesse comunitario:

- 9410 Foreste acidofile montane e alpine di *Picea* (*Vaccinio-Piceetea*);
- 9420 Foreste alpine di *Larix decidua* e/o *Pinus cembra*.

L'habitat 9430 "Foreste montane e subalpine di *Pinus uncinata*" non è stato incluso nell'analisi in quanto presenta una distribuzione estremamente limitata a livello regionale.

La corrispondente categoria DUSAF per questi boschi è la seguente:

- 312 "Boschi di conifere".

La corrispondenza dei due habitat sopra elencati con questa categoria DUSAF non è esclusiva, in quanto altre formazioni di conifere (es. pinete di pino silvestre) possono rientrare in questa categoria DUSAF ma non sono considerate habitat di interesse comunitario.

Nel calcolo del modello, sono stati considerati i seguenti strati informativi di base:

- quota;
- substrato geolitologico;
- suolo;
- assolazione media annua;
- precipitazioni medie.

Il modello calcolato sul training set, con la tecnica degli alberi di classificazione, è il seguente:

- 1) quota ≤ 1435 m \rightarrow habitat 9410
- 1) quota > 1435 m
- 8) quota ≤ 1703 m
 - 4) suoli: Leptosols, Podzols, Umbrisols \rightarrow habitat 9420
 - 4) altri suoli \rightarrow habitat 9410
- 8) quota > 1703 m
- 9) quota ≤ 1834 m
 - 10) precipitazioni ≤ 1459 mm a⁻¹
 - 11) assolazione ≤ 3364 WH m⁻² d⁻¹ \rightarrow habitat 9420
 - 11) assolazione > 3364 WH m⁻² d⁻¹ \rightarrow habitat 9410
 - 10) precipitazioni > 1459 mm a⁻¹ \rightarrow habitat 9420
- 9) quota > 1834 m \rightarrow habitat 9420

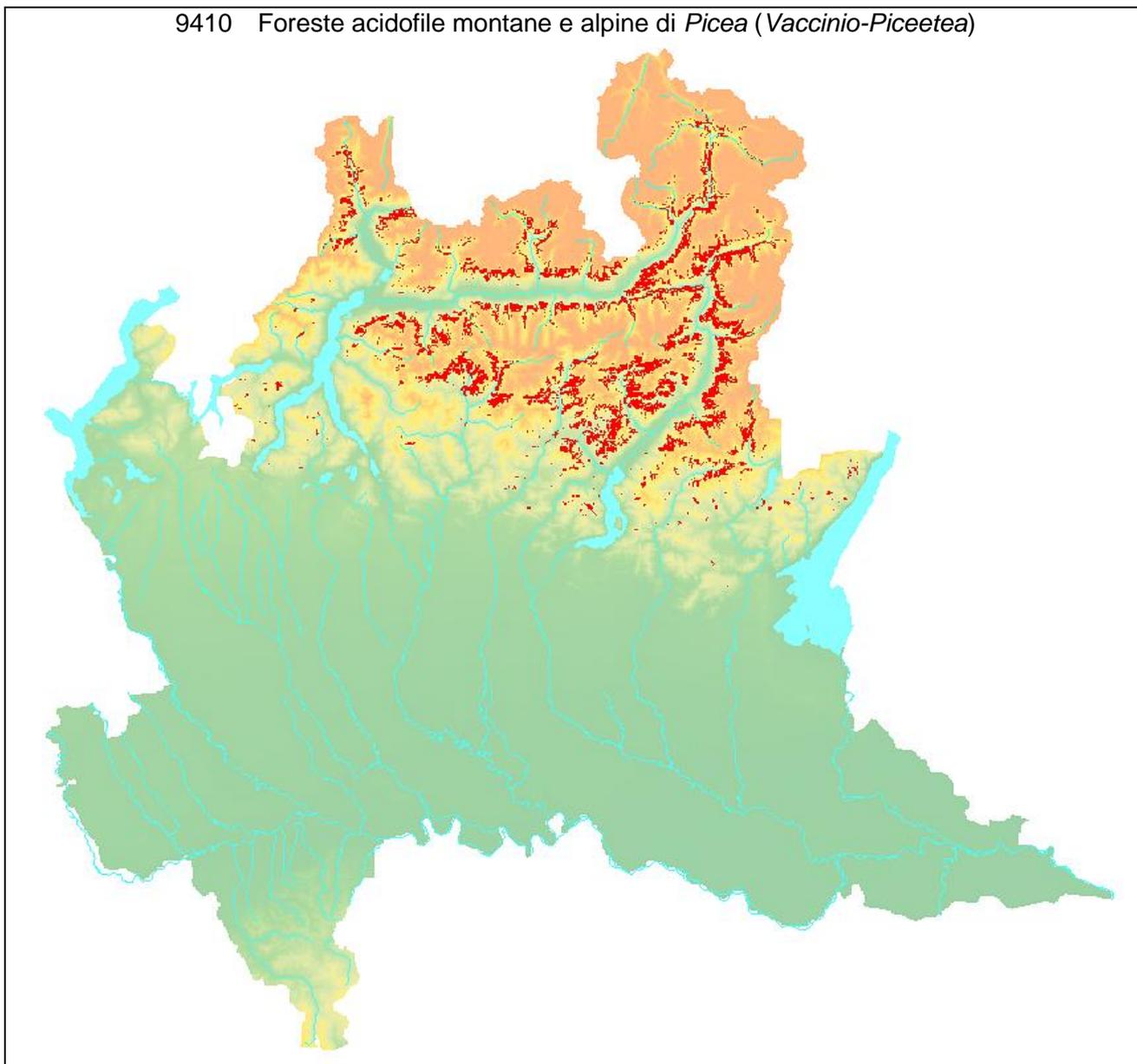
La seguente tabella riporta i valori di sensitivity e specificity calcolati sul validation set per ciascun habitat secondo il modello sopra specificato:

Habitat	sensitivity	specificity
9410	79.3	71.8
9420	71.8	79.3

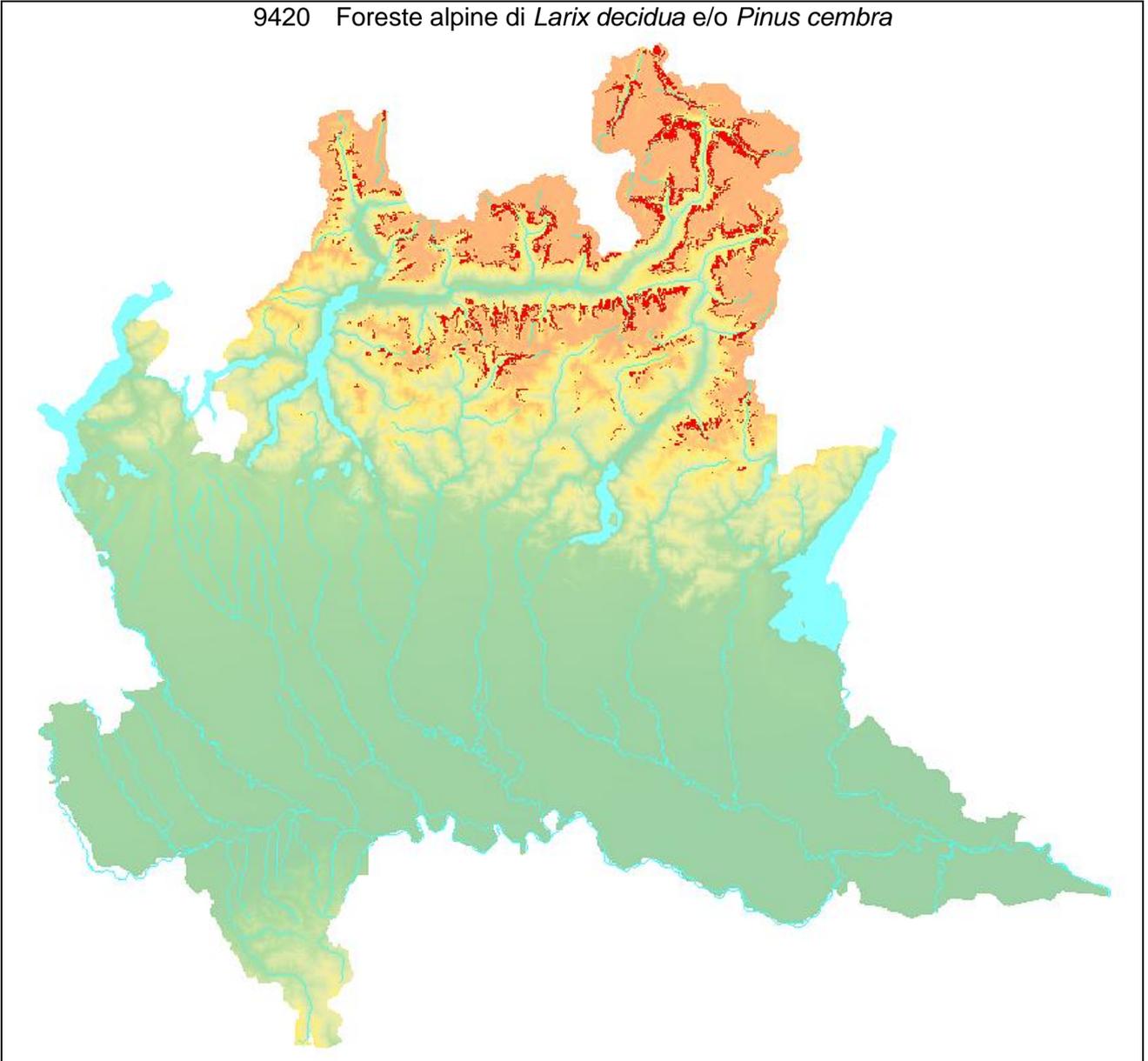
Per entrambi i modelli, sono state mantenute unicamente le aree che ricadevano nelle regioni forestali esalpica, mesalpica ed endalpica (Del Favero, 2002).

Applicando il modello alla corrispondente categoria DUSAF, sono state ricavate le seguenti mappe che mostrano la distribuzione potenziale degli habitat (aree evidenziate in rosso).

9410 Foreste acidofile montane e alpine di *Picea* (*Vaccinio-Piceetea*)



9420 Foreste alpine di *Larix decidua* e/o *Pinus cembra*



Modello F: habitat dei boschi di latifoglie (non ripariali)

Gli habitat relativi ai boschi di latifoglie (non ripariali) sono stati riuniti nei seguenti tre gruppi:

- 9a boschi alluvionali, comprendenti:
 - 91E0 Foreste alluvionali di *Alnus glutinosa* e *Fraxinus excelsior* (Alno-Padion, Alnion incanae, Salicion albae);
 - 91F0 Foreste miste riparie di grandi fiumi a *Quercus robur*, *Ulmus laevis* e *Ulmus minor*, *Fraxinus excelsior* o *F. angustifolia* (Ulmenion minoris);
- 9f boschi montani, comprendenti:
 - 9110 Faggeti del Luzulo-Fagetum;
 - 9130 Faggeti dell'Asperulo-Fagetum;
 - 9180 Foreste di versanti, ghiaioni e valloni del Tilio-Acerion;
 - 91K0 Foreste illiriche di *Fagus sylvatica* (Aremonio-Fagion);
 - 9210* Faggeti degli Appennini con *Taxus* e *Ilex*;
- 9q boschi pianiziali (non alluvionali) e collinari, comprendenti:
 - 9160 Querceti di farnia o rovere subatlantici e dell'Europa centrale del Carpinion betuli;
 - 9190 Vecchi querceti acidofili delle pianure sabbiose con *Quercus robur*;
 - 91AA Boschi orientali di quercia bianca;
 - 91L0 Querceti di rovere illirici (Erythronio-Carpinion);
 - 9340 Foreste di *Quercus ilex* e *Quercus rotundifolia*.

L'habitat 9260 "Boschi di *Castanea sativa*" è in genere un habitat boschivo di origine strettamente antropica che trova una corrispondenza nella categoria DUSAF (3114); pertanto, non è stato considerato nel calcolo di questo modello.

La corrispondente categoria DUSAF per questi boschi è la seguente:

- 311 "Boschi latifoglie";
- 313 "Boschi misti di conifere e di latifoglie".

L'assegnazione della categoria DUSAF 313 a questo gruppo di habitat relativi ai boschi di latifoglie è dettata dall'ampia diffusione delle conifere, provocata dall'uomo, in aree di stretta pertinenza delle latifoglie. Inoltre, i consorzi misti latifoglie-conifera sono in generale attribuibili ad habitat di boschi di latifoglie.

La corrispondenza dei tre gruppi di habitat sopra elencati con queste categorie DUSAF non è esclusiva, in quanto la presenza di numerosi boschi di specie forestali esotiche (es. *Prunus serotina*, *Quercus rubra*, *Robinia pseudoacacia*) rientrano tra queste categorie DUSAF ma non possono, in genere, essere considerati come habitat di interesse comunitario.

Nel calcolo del modello, sono stati considerati i seguenti strati informativi di base:

- quota;
- precipitazioni medie;
- assolazione media annua;
- substrato geolitologico;
- vegetazione potenziale.

Il modello, calcolato sul training set con la tecnica degli alberi di classificazione, è il seguente:

- 1) depositi sciolti → habitat 9a
- 1) altri substrati
- 2) quota <= 690 m
- 3) depositi morenici recenti, rocce silicatiche
- 4) fasce: pianiziale, collinare (mesico), submontano (mesico), submontano (umido)
- 5) quota <= 530 m → habitat 9a
- 5) quota > 530m → habitat 9f
- 4) fascia collinare (umida)

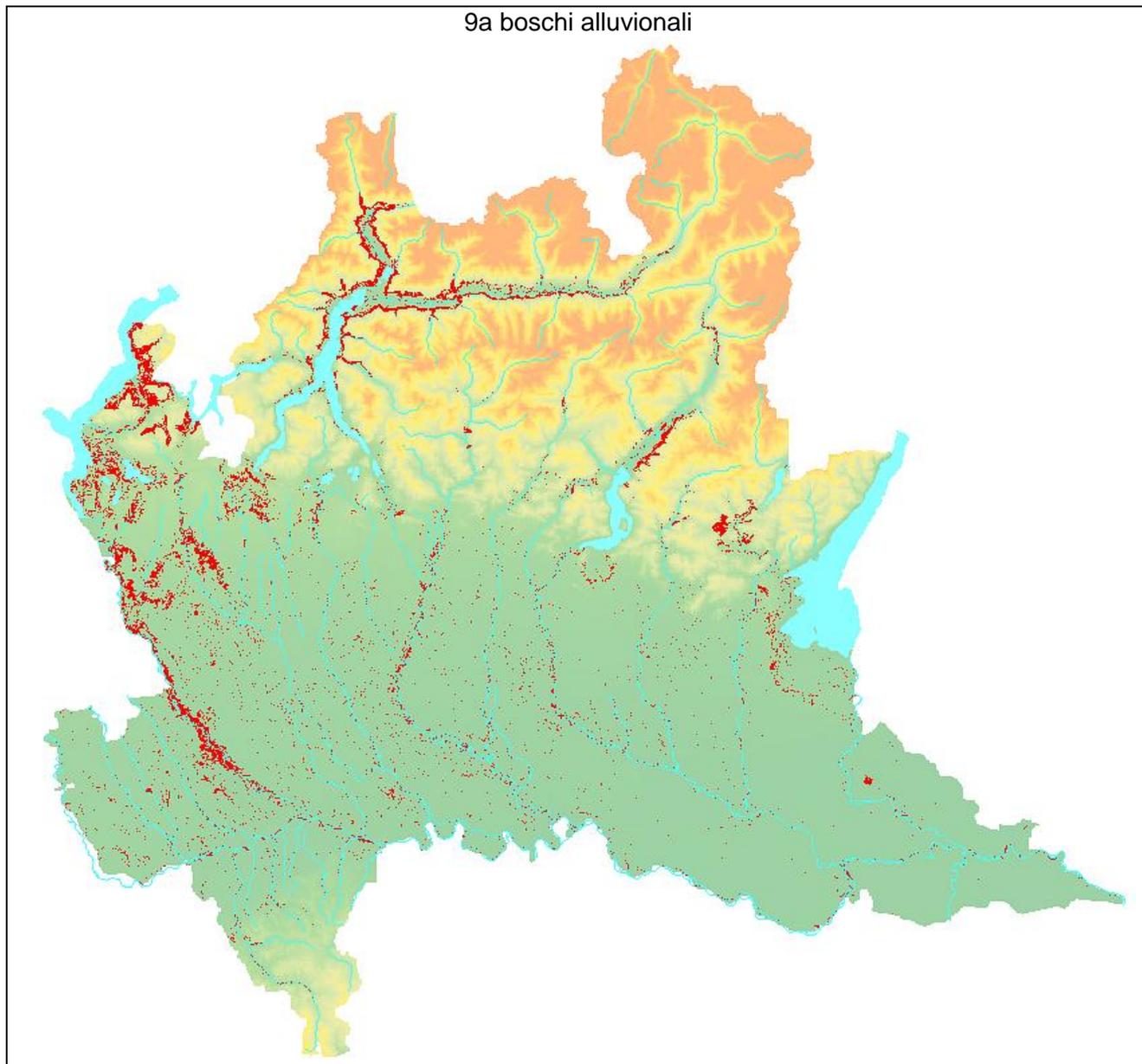
- 6) rocce silicatiche → habitat 9a
- 6) depositi morenici recenti → habitat 9q
- 3) depositi morenici antichi e intermedi, rocce carbonatiche
 - 7) precipitazioni $\leq 1453 \text{ mm a}^{-1}$ → habitat 9q
 - 7) precipitazioni $> 1453 \text{ mm a}^{-1}$
 - 8) fascia planiziale → habitat 9a
 - 8) fasce: collinare (umida), submontana (umida) → habitat 9q
- 2) quota $> 690 \text{ m}$
- 9) quota $\leq 965 \text{ m}$
 - 10) rocce silicatiche → habitat 9f
 - 10) depositi morenici recenti (occidentali), rocce carbonatiche
 - 11) precipitazioni $\leq 1482 \text{ mm a}^{-1}$ → habitat 9q
 - 11) precipitazioni $> 1482 \text{ mm a}^{-1}$ → habitat 9f
- 9) quota $> 965 \text{ m}$ → habitat 9f

La seguente tabella riporta i valori di sensitivity e specificity calcolati sul validation set per ciascun habitat secondo il modello sopra specificato:

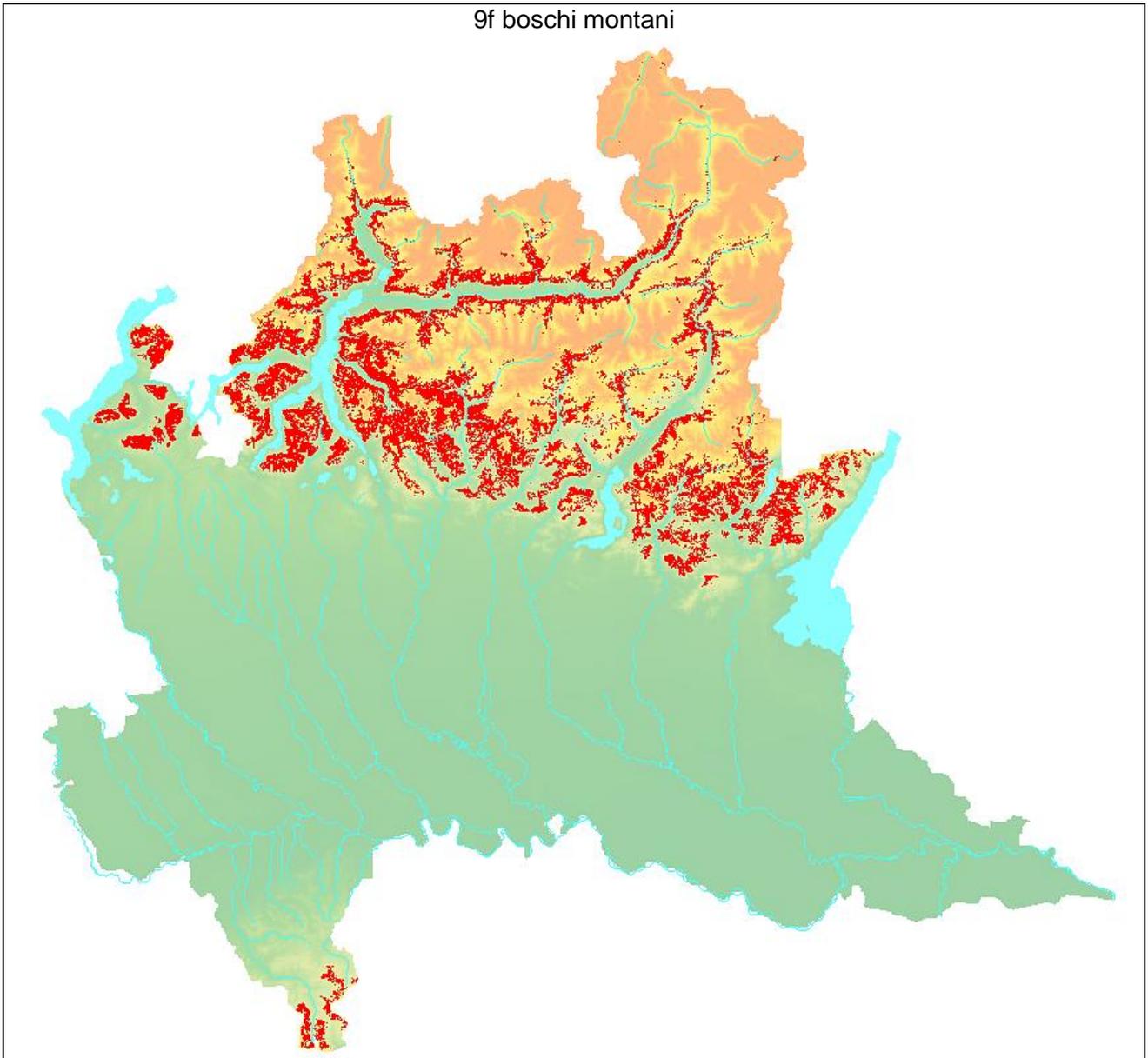
Habitat	sensitivity	specificity
9a	90.7	87.5
9f	84.7	95.5
9q	73.9	91.6

Applicando il modello alle corrispondenti categorie DUSAF, sono state ricavate le seguenti mappe che mostrano la distribuzione potenziale degli habitat (aree evidenziate in rosso).

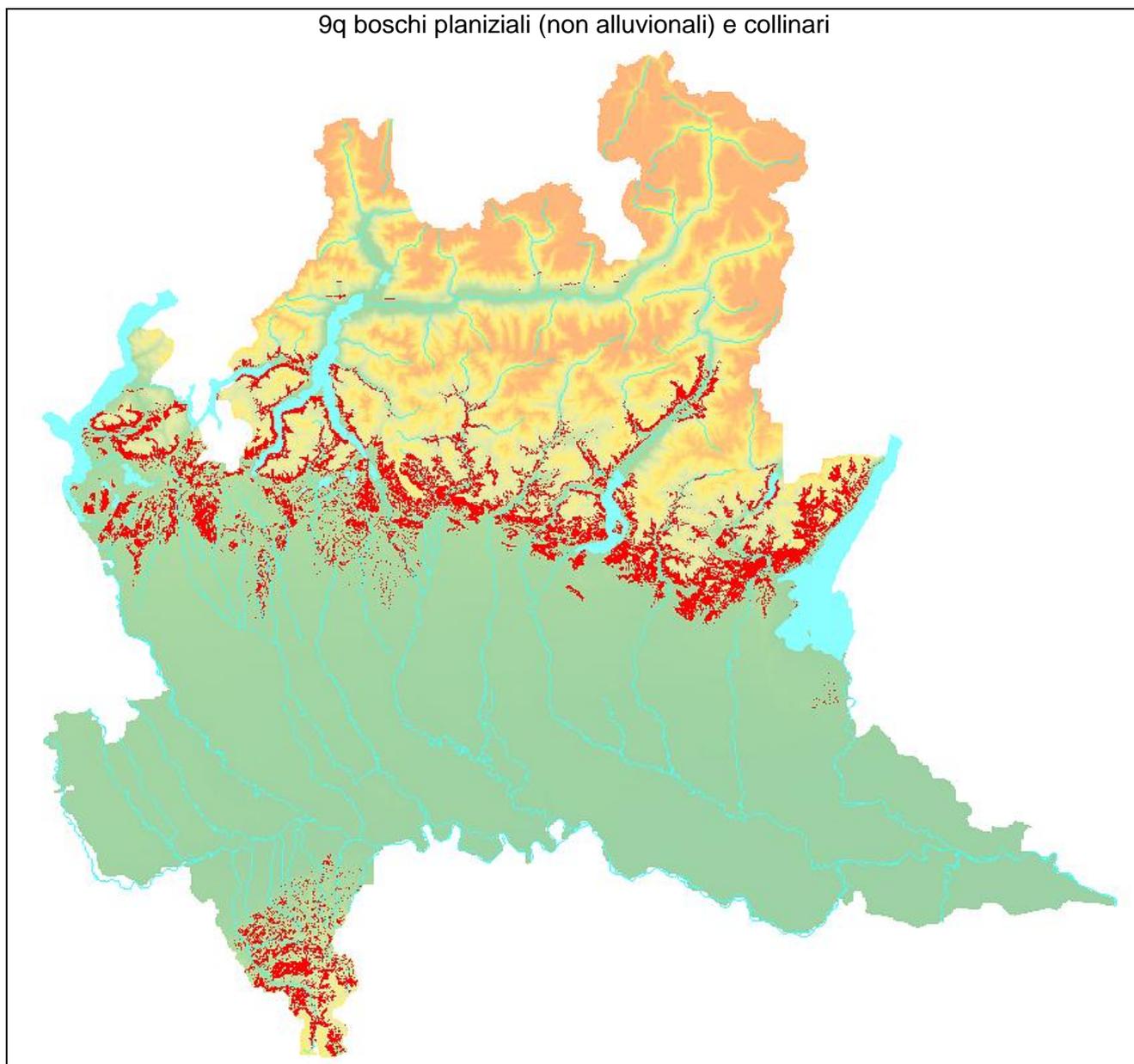
9a boschi alluvionali



9f boschi montani



9q boschi planiziali (non alluvionali) e collinari



Conclusioni

Nel presente lavoro, sono stati realizzati i seguenti prodotti:

- sei modelli che individuano la distribuzione regionale di riferimento per singoli habitat o gruppi di habitat;
- ventuno raster georeferenziati con la distribuzione regionale di riferimento.

I raster sono allegati alla presente relazione.

I modelli di distribuzione realizzati rappresentano le aree dove risulta più probabile l'esistenza di un habitat e quindi consentono di ottimizzare le ricerche in campo. I modelli di distribuzione potenziale ricavati devono essere quindi verificati mediante fotointerpretazione di ortofoto digitali e soprattutto mediante sopralluoghi in campo. Soltanto con il rilevamento floristico-vegetazionale è infatti possibile stabilire con assoluta certezza il tipo di habitat, in particolare per alcuni che presentano una caratterizzazione floristico-vegetazionale basata su dati quantitativi (ricchezza in specie, nulla o scarsa presenza di specie esotiche, dominanza di specie tipiche, ecc.).

Bibliografia citata

- AA.VV., 2014. Formulazione del programma di monitoraggio scientifico della rete Azione D1. Progetto LIFE GESTIRE. ERSAF e Università degli Studi dell'Insubria-Dipartimento di Scienze Teoriche e Applicate.
- Andreis C., Verde S., Armiraglio S., Caccianiga M., Cerabolini B., 2005. Elementi per la suddivisione della Lombardia in distretti geobotanici. *Inf. Bot. It.*, 37: 466-467.
- Brusa G., 2015. Interventi di riqualificazione dell'Habitat 4030 "Lande secche europee" nel SIC IT2010012 "Brughiera del Dosso". Parco Ticino, non pubbl.
- Chevan A., Sutherland M., 1991. Hierarchical Partitioning. *The American Statistician* 45: 90–96.
- Del Favero R. (a cura di), 2002. I tipi forestali della Lombardia. ERSAF - Regione Lombardia. Cierre Edizioni.
- Fu P., Rich P.M., 2000. The Solar Analyst 1.0. User Manual. Helios Environmental Modeling Institute, Vermont.
- Graham M.H., 2003. Confronting multicollinearity in ecological multiple regression. *Ecology* 84: 2809-2815.
- Hothorn T., Hornik K., Zeileis A., 2006. Unbiased recursive partitioning: a conditional inference framework. *Journal of Computational and Graphical Statistics* 15: 651–674.
- Hothorn T., Lausen B., 2003. On the exact distribution of maximally selected rank statistics. *Computational Statistics & Data Analysis* 43: 121–137.
- Lausen B., Schumacher M., 1992. Maximally Selected Rank Statistics. *Biometrics* 48: 73-85.
- Muñoz J., Felicísimo A.M., 2004. Comparison of statistical methods commonly used in predictive modelling. *Journal of Vegetation Science* 15: 285-292.
- R Development Core Team, 2006. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Wien.
- Ritschard G. 2006. Computing and using the deviance with classification trees. In: Rizzi A. and Vichi M. (eds.). *Compstat 2006 - Proceedings in Computational Statistics - 17th Symposium Held in Rome, Italy*. Physica-Verlag HD, New York, 55-66.